



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2013 00643

(22) Data de depozit: 28.08.2013

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

(71) Solicitant:  
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE  
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU  
FIZICA LASERILOR, PLASMEI ȘI  
RADIĂȚIEI, 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;  
• PISO MARIUS IOAN,  
BD. MAREȘAL AVERESCU NR. 5, BL. 3,  
AP. 25, SC. B, BUCUREȘTI, B, RO;  
• STOICAN OVIDIU-SORIN,  
STR. FIZICIENILOR NR. 6, BL. 4, SC. 2,  
ET. 2, AP. 26, MĂGURELE, IF, RO;  
• MARGHITU OCTAV, STR CIHOSCHI  
NR.13 AP.22 SECT.1, BUCUREȘTI, B, RO;

• DABU RĂZVAN-VICTOR-ANTON,  
BD. BANUL MANTA NR. 12, BL. 26, SC. B,  
ET. 2, AP. 50, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B,  
RO;  
• SURMEIAN AGAVNI, SR. PRIBEAGULUI  
NR. 1, BL. 25, SC. B, AP. 37, SECTOR 5,  
BUCUREȘTI, B, RO;  
• JULEA ANDREEA-MARIA,  
STR. FIZICIENILOR NR. 21, BL. M1, AP. 3,  
MĂGURELE, IF, RO;  
• MIHALCEA BOGDAN-VASILE,  
STR. CÂMPIA LIBERTĂȚII NR. 14,  
BRAGADIRU, IF, RO;  
• GROZA ANDREEA-LILIANA,  
STR. STÂNJENEILOR NR. 4, BL. 62, SC. 1,  
ET. 8, AP. 52, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B,  
RO;  
• DISPLASU CONSTANTIN,  
STR. NERVA TRAIAN NR. 1, BL. K6, SC. 1,  
AP. 22, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO;  
• MORJAN ION, STR.CĂRAMIDARII DE  
JOS NR.1, BL.76, SC.B, ET.8, AP.79,  
SECTOR 4, BUCUREȘTI, B, RO

(54) **PROCEDEU DE TESTARE PENTRU COMPONENTE ȘI  
SISTEME COMPLEXE ÎN FLUXURI PULSATE ȘI  
SINCRONIZATE DE PARTICULE ACCELERATE LASER**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu pentru testarea componentelor, circuitelor și echipamentelor complexe, prin determinarea efectului pe care îl are asupra caracteristicilor și parametrilor de funcționare, precum și, dacă este cazul, asupra programului care controlează funcționarea acestora, cu un flux extern de particule, care poate fi însoțit de un flux de radiație X sau gamma, având diferite energii și intensități. Procedeu conform invenției constă în utilizarea unor acceleratoare laser-plasmă separate, plasate în diverse poziții și la diferite distanțe față de sistemul testat, care generează pachete de particule accelerate, simultan sau cu un anumit decalaj în timp, intensitatea instantanee a fluxurilor pulsate de particule accelerate sincronizate putând fi mult mai mare decât în cazul acceleratoarelor convenționale, asigurând astfel posibilitatea apariției de defecte multiple, induse pe durate de timp de interes pentru testarea sistemelor complexe și a programelor care le controlează funcționarea.

Revendicări: 10  
Figuri: 4

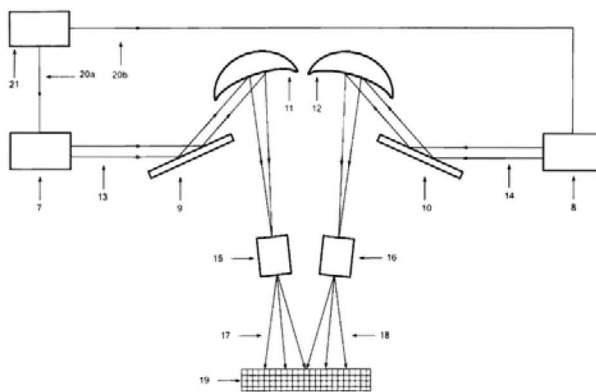


Fig. 2

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).



30

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. <u>a 2013 00643</u>
Data depozit <u>28-08-2013</u>

## DESCRIEREA INVENȚIEI:

### **PROCEDEU DE TESTARE PENTRU COMPONENTE ȘI SISTEME COMPLEXE ÎN FLUXURI PULSATE ȘI SINCRONIZATE DE PARTICULE ACCELERATE LASER.**

Invenția se referă la un procedeu prin care se generează două sau mai multe fluxuri pulsate de particule, însoțite eventual de emisie de radiație gama sau X, caracterizate de anumite configurații spațiale în vederea aplicării acestora asupra unor componente sau sisteme complexe. Pulsurile de particule, conform invenției, pot fi generate simultan sau pot fi decalate în timp. Particulele generate pot fi, fără a se limita la acestea, electroni, protoni, neutroni sau diverse specii de ioni. Fluxurile pulsate de particule generate, conform invenției, pot conține unul sau mai multe tipuri de particule. Componentele la care se referă invenția pot fi, fără a fi limitate la acestea: dispozitive electrice, electronice, optice, mecanice sau combinații ale acestora. Sistemele complexe la care face referire prezenta invenție se referă la orice ansamblu conținând un anumit număr de componente ce interacționează reciproc sau cu alte elemente din afara sa și care îndeplinește, ca întreg, anumite funcții. Asemenea sisteme pot fi, fără a se limita la acestea, programabile. Prin sisteme programabile înțelegem acele sisteme a căror funcționare depinde de natura, tipul și conținutul unui șir de comenzi, denumit în continuare program, implementat prin construcție, memorat în prealabil de anumite elemente ale acestor sisteme sau furnizat din exterior în timpul funcționării. Instalația la care face referire prezenta invenție poate fi folosită în scopul determinării efectului unui flux extern de particule și radiații, având diverse energii, asupra caracteristicilor și parametrilor de funcționare ale componentelor și circuitelor complexe, precum și, dacă este cazul, asupra programului care controlează funcționarea acestora.

Este cunoscut faptul că fluxurile de particule și radiație pot afecta integritatea echipamentelor electronice conducând la distrugerea sau funcționarea eronată a acestora (vezi de exemplu A. Holmes-Siedle, L. Adams, *Handbook of Radiation Effects*, Oxford University Press, England, 2002, ISBN 0-19-850733-X). Asemenea situații se întâlnesc în cazul echipamentelor electronice aflate la bordul sateliților, navelor spațiale sau avioanelor zburând la foarte mare altitudine, sistemelor de control ale reactoarelor nucleare sau a acceleratoarelor de particule, a instalațiilor utilizate pentru manipularea materialelor radioactive și în zonele afectate de accidente nucleare. Prin urmare reprezintă o mare importanță practică dezvoltarea de componente și sisteme electrice, electronice, mecanice sau optice precum și programarea lor adecvată astfel încât să funcționeze normal în prezența radiațiilor cu spectru energetic larg. Aceasta impune testarea soluțiilor propuse în condiții similare celor enumerate mai sus. În

acest scop este necesară realizarea unor sisteme cu ajutorul cărora să se genereze fluxuri de particule și radiație ale caror caracteristici să fie asemănătoare cu cele întâlnite în spațiul cosmic, la mare altitudine, în interiorul reactoarelor nucleare sau în zonele afectate de accidente nucleare. În scopul testării efectului fluxurilor de particule de mare energie asupra diverselor echipamente se folosesc de obicei acceleratoare de particule convenționale. Funcționarea acestora se bazează pe accelerarea particulelor încărcate în diverse configurații de câmpuri electrice și magnetice. Utilizarea lor prezintă următoarele dezavantaje:

- generarea fluxurilor de particule necesită instalații de foarte mari dimensiuni;
- sunt generate fluxuri care conțin un singur tip de particule, în consecință nu poate fi testat efectul acțiunii simultane a mai multor tipuri de particule;
- secțiunea fasciculului de particule este foarte mică astfel încât nu poate fi testat efectul acțiunii fasciculului asupra întregului element testat sau asupra unei suprafețe semnificative a acestuia;
- fluxul de particule este de regulă monoenergetic, caracteristică care diferă de cea întâlnită în situațiile reale pentru care trebuie efectuate testele;

Este cunoscut faptul că folosirea laserelor de foarte mare putere permite realizarea de acceleratoare de particule compacte, de mici dimensiuni, care au caracteristici comparabile cu cele ale acceleratoarelor convenționale. Acest tip de acceleratoare se bazează pe generarea particulelor și accelerarea lor în plasma formată în urma interacției dintre fasciculul laser și o țintă solidă sau gazoasă. De exemplu în lucrarea X. Wang, *Quasi-monoenergetic laser-plasma acceleration of electrons to GeV*, Nature Communications 4, article number:1988, doi :10.1038/ncomms2988 din 11 iunie 2013, este descris un sistem de producere a unui fascicul de electroni cu energia de 2GeV bazat pe interacția unui puls laser ultra-scurt, extrem de intens, de ordinul a 1PW (durata 150fs, lungimea de undă  $1.057\mu\text{m}$ , energia  $E \leq 150\text{J}$ ) care interacționează cu un mediu gazos format din He, cu puritate 99,99%, la presiunea 1-8 torr, aflat într-un tub capilar cu diametrul de 3 mm și lungimea de 7 cm.

În continuare asemenea sisteme de accelerare a particulelor, bazate pe interacția dintre fascicule laser pulsate de mare intensitate și plasmă, vor fi denumite *acceleratoare laser-plasmă*. În cazul unui accelerator convențional este nevoie de o distanță de circa 10000 de ori mai mare pentru a obține un fascicul de electroni cu aceeași energie. *Declanșarea* acceleratorului laser-plasmă, însemnând generarea la ieșirea acestuia a unui grup de particule accelerate, denumit în continuare *pachet de particule accelerate*, are loc ca urmare a aplicării la intrarea sa a unui puls laser ultrascort, denumit în continuare *puls laser incident*, de mare intensitate furnizat de către un laser de mare putere extern. Natura, forma și dimensiunile

țintei, de asemenea intensitatea și durata pulsului laser incident determină tipul de particule care urmează a fi generate. Prin modificarea acestor caracteristici se poate controla tipul și energia particulelor generate. De exemplu, conform S. Abuazoum, S. M. Wiggins, R. C. Issac, G. H. Welsh, G. Vieux, M. Ganciu, and D. A. Jaroszynski, *A high voltage pulsed power supply for capillary discharge waveguide applications*, Rev. Sci. Instrum. 82, 063505 (2011), un accelerator de electroni este bazat, fără a se limita la aceasta, pe interacția unui fascicul laser focalizat cu o plasmă filamentară indusă într-un tub capilar care permite adaptarea parametrilor fasciculelor de electroni accelerați la condițiile de test (durată, energie, divergență) prin modularea parametrilor curentului inițial în capilar și a presiunii precum și a naturii gazului din interiorul capilarului. Dispozitivele de accelerare de electroni, respectiv protoni, pot crea prin combinarea lor amestecuri de particule accelerate ionizante cu diferite compoziții care să includă și generarea altor tipuri de radiație (X, gama) sau de alte particule nucleare (neutroni) într-un interval de timp controlat. În B. Hidding et al., *Laser-plasma-accelerators-A novel, versatile tool for space radiation studies*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 636(2011) 31-40, se demonstrează că distribuția după energie a particulelor generate de către acceleratoarele laser-plasmă au caracteristici similare cu cele întâlnite în spațiul cosmic. Prin urmare există posibilitatea utilizării fluxurilor de particule generate de către acceleratoarele laser-plasmă, pentru testarea efectelor unor fluxuri de particule cu caracteristici asemănătoare celor din spațiul cosmic asupra sistemelor complexe (definite mai sus), inclusiv asupra programelor care le controlează funcționarea, aflate la bordul sateliților și navelor spațiale. Asemenea sisteme sunt descrise în brevetele DE 10 2010 010 716 A1/16.02.2012, WO 2012/177561 A2/18.06.2012 și US2011/0240888 A1. Sistemele descrise anterior prezintă următoarele dezavantaje:

- fasciculul de particule conține un singur tip de particule;
- fasciculul de particule este aplicat dintr-o singură direcție;

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în aceea că descrie un procedeu prin care se obțin două sau mai multe fluxuri pulsate de particule și radiație concurente, care se pot propaga în direcții diferite, sunt caracterizate de o anumită extindere spațială, pot fi generate simultan sau cu un anumit decalaj temporal între ele și sunt formate din mai multe tipuri de particule. Procedeu poate fi folosit, fără a fi limitat la aceasta, pentru testarea echipamentelor, a componentelor din alcătuirea acestora precum și a programelor care le controlează funcționarea, aflate la bordul sateliților sau navelor spațiale.

Procedeu de testare pentru componente și sisteme complexe în fluxuri pulsate și sincronizate de particule accelerate laser înlătură dezavantajele metodelor menționate mai sus,

prin aceea că, conform invenției, se utilizează două sau mai multe acceleratoare laser-plasmă independente plasate în diverse poziții și la diferite distanțe față de sistemul testat. Fiecare din acceleratoarele laser-plasma conține o țintă solidă sau gazoasă care interacționează cu un fasciculul laser incident de mare putere aplicat sub forma de pulsuri foarte scurte. Tipul particulelor generate de către fiecare accelerator laser-plasma depinde de natura țintei. Folosind ținte diferite pot fi obținute, conform invenției, fascicule pulsate de particule accelerate conținând tipuri diferite de particule. Numărul acceleratoarelor plasmă-laser se stabilește în funcție de necesitățile de testare și de dimensiunile sistemelor de testat, fiind însă limitat de numărul și puterea laserelor disponibile. Pentru fiecare puls laser incident ia naștere un pachet de particule accelerate rezultând astfel un fascicul pulsat de particule având rata de repetiție egală cu cea a pulsurilor laser incidente și sincronizate cu acestea. Pulsurile laser incidente pot fi obținute, conform invenției, prin divizarea, folosind componente optice, a fasciculului laser pulsat generat de către un singur laser, sau pot proveni de la doi sau mai multe lasere diferite, comandați astfel încât pulsurile laser generate de fiecare din aceștia să poată fi declanșate simultan sau să fie decalate un anumit interval timp, în funcție de cerințe. Sincronizarea, respectiv întârzierea controlabilă a fasciculelor laser utilizate pentru accelerarea de particule, în scopul realizării condițiilor mai sus menționate, se face, conform invenției, fie utilizând lasere de foarte mare putere separate, cu sisteme de comandă controlate de un modul de sincronizare sau prin divizarea fasciculului unui laser în mai multe fascicule, cu sisteme optice specializate care să asigure și întârzieri reglabile. În felul acesta, conform invenției, asupra componentei sau sistemului testat se pot aplica pachete de particule accelerate, de același tip sau de tipuri diferite, care se succed la anumite intervale de timp stabilite de către utilizator. Deoarece tipul particulelor generate depinde de natura țintei cu care interacționează fasciculul laser incident, utilizând mai multe acceleratoare laser-plasmă separate, conținând ținte diferite, se pot obține, simultan sau cu un anumit decalaj în timp, fascicule conținând mai multe tipuri de particule. Folosind mai multe acceleratoare laser-plasmă separate, dispuse în diferite poziții în raport cu sistemului testat, acesta poate fi supus acțiunii unui flux de particule aplicat din mai multe direcții și având o secțiune transversală semnificativă în raport cu suprafața sistemului testat. Pachetele de particule sunt generate sub forma unor pulsuri scurte de mare intensitate iar prin sincronizarea lor temporală și spațială se pot obține intensități de iradiere instantanee de valori mult mai mari decât în cazul acceleratoarelor convenționale, favorizând astfel inducerea de defecte multiple pe perioade scurte de timp permițând studiul capacității de funcționare a sistemelor testate în prezența acestor defecte. Prin introducerea unor întârzieri controlate între pachetele de particule

generate, conform invenției, se pot implementa scenarii diferite de testare a sistemelor complexe și a capacității acestora de a rezolva defecțiuni induse de acțiunea radiației.

Față de soluțiile anterioare, procedeul la care face referire invenția prezintă următoarele avantaje:

-se pot utiliza lasere de mare putere diferite ceea ce conduce la obținerea simultană sau cu un decalaj în timp controlat de către operator, a unor fascicule multiple de particule cu caracteristici diferite;

-prin utilizarea unor acceleratoare laser-plasmă separate se pot obține fascicule pulsate conținând tipuri de particule diferite (electroni și protoni, de exemplu) care pot fi aplicate simultan sau cu un anumit decalaj în timp asupra componentei sau sistemului testate;

-prin dispunerea acceleratoarelor laser-plasmă în poziții diferite, asupra componentei sau sistemului testate se pot aplica fascicule de radiație din direcții diferite;

-prin dispunerea acceleratoarelor laser-plasmă în poziții diferite, asupra componentei sau sistemului testate se pot aplica fascicule de radiație, simultan sau succesiv, asupra unor zone diferite ale acestora, măbind suprafața expusă fluxului de particule ;

-prin dispunerea acceleratoarelor laser-plasmă în poziții diferite, asupra componentei sau sistemului testate se pot aplica fascicule de radiație, simultan sau succesiv, asupra unor zone diferite ale acestora, permițând simularea cazului în care fluxul de particule acționează asupra mai multor elemente critice ale sistemului testat;

-prin utilizarea a două sau mai multe acceleratoare laser-plasmă separate, dispuse corespunzător în spațiu și declanșate simultan sau conform unei anumite secvențe temporale stabilită de către operator se pot obține fascicule pulsate de particule cu un grad înalt de uniformitate sau cu o neomogenitate spațială și temporală controlată. Astfel pot fi simulate condițiile care apar atunci când un vehicul spațial traversează centurile de radiații sau zone afectate de erupții solare.

Fluxurile de particule pulsate generate aplicând procedeul care face obiectul invenției, produse simultan sau cu întârzieri variabile, pot avea intensități instantanee cumulate de valori foarte mari pe durate de ordinul picosecundelor, putând induce defecte multiple în sistemele sau componentele care urmează a fi testate. Datorită distribuției energetice diferite și a drumului diferit parcurs, defectele induse multiple pot fi obținute într-un interval de timp de ordinul zecilor sau sutelor de ps (dacă particulele sunt relativiste diferențe de parcurs de ordinul a 10 cm conduc la dispersii temporale ale efectelor acestora de ordinul a 300 ps).

Se pot astfel induce mai multe defecte într-un interval de timp scurt care poate fi mai mic decât perioadele temporale specifice funcționării sistemelor supuse testelor, sisteme care

pot fi în funcțiune în momentul testării. În acest mod se pot testa programe specializate pentru corecția defectelor induse în structura fizică a sistemului testat, în condiții de fluxuri instantanee pentru care probabilitatea de defecte simultane este mare. Se poate de asemenea testa capacitatea întregului sistem de a reveni la o bună funcționare după inducerea unor defecte multiple distribuite în anumite intervale de timp.

Așadar utilizând procedeul care constituie obiectul prezentei invenții se poate asigura, pe baza celor prezentate, testarea de componente, subansamble, sisteme complexe în stare de funcționare sau nu, precum și a programelor specializate utilizate în industria spațială și în orice alt domeniu în care exploatarea acestora se face în condiții de radiații și fluxuri intense de particule accelerate, fluxuri care pot fi continue sau intermitente.

Se prezintă în continuare câteva exemple de aplicare a aprobeului, în legătură și cu fig. 1, 2, 3 și 4 care reprezintă:

-Figura 1, schema bloc a unui sistem de generare și accelerare a particulelor folosind un accelerator plasmă-laser

-Figura 2, exemplu de aplicare a procedeului la care face referire invenția, în care sunt folosite două acceleratoare laser-plasmă separate, fasciculul pulsat de particule generat de fiecare accelerator laser-plasmă fiind aplicat unor zone diferite ale sistemului testat.

-Figura 3, exemplu de aplicare a procedeului la care face referire invenția, în care sunt folosite două acceleratoare laser-plasmă separate, fasciculul pulsat de particule generat de fiecare accelerator laser-plasmă fiind aplicat asupra aceleiași zone a sistemului testat.

-Figura 4, exemplu de aplicare a procedeului la care face referire invenția, în care sunt folosite două acceleratoare laser-plasmă separate, pulsul laser incident pentru fiecare din cele două acceleratoare laser-plasmă fiind furnizat de către un singur laser de putere, fasciculul de ieșire al acestuia fiind divizat prin metode optice.

În figura 1 este prezentată schema bloc a unui sistem de accelerare a particulelor folosind un accelerator plasmă-laser. Laserul de mare putere 1 generează pulsuri ultracurte de foarte mare intensitate care se propagă de-a lungul direcției 2. Acestea sunt dirijate de către oglinda plană 3 către oglinda parabolică 4 care la rândul său le focalizează asupra unei ținte solide sau gazoase conținută de către acceleratorul laser-plasmă 5. Fiecare puls laser incident declanșează un proces fizic complex în urma căruia se generează la ieșirea acceleratorului laser-plasmă un fascicul pulsat de particule accelerate 6 având o anumită divergență spațială.

În figura 2 este prezentat un exemplu de aplicare a procedeului la care face referire invenția, în care este testat efectul radiațiilor asupra sistemului 19, utilizându-se, conform invenției, două acceleratoare laser-plasmă separate, 15 și 16, plasate în poziții diferite față de sistemul

testat **19** și generând fascicule pulsate de particule accelerate **17** și **18**. Conform invenției, fasciculele pulsate de particule accelerate **17** și **18**, pot conține particule de același tip sau de tipuri diferite, funcție de construcția acceleratoarelor laser-plasmă **15** și **16**. Geometria sistemului este aleasă astfel încât, conform invenției, suprafața expusă fasciculelor de particule de către sistemul testat **19** să fie mai mare decât s-ar fi folosit un singur accelerator de particule laser-plasmă. La intrarea fiecăruia din acceleratoarele laser-particulă **15** și **16**, se aplică pulsuri laser incidente provenind de la lasere de mare putere diferite, **7** și respectiv **8**. Fasciculul laser, **13**, generat de către laserul de mare putere **7**, este dirijat de către oglinda **9** către oglinda parabolică **11**, care focalizează fasciculul la intrarea acceleratorului laser-plasmă **15**. Fasciculul laser, **14**, generat de către laserul de mare putere **8**, este dirijat de către oglinda **10** către oglinda parabolică **12**, care focalizează fasciculul la intrarea acceleratorului laser-plasmă **16**. Conform invenției, declanșarea pulsurilor de ieșire pentru cele două lasere de mare putere **7** și **8** este comandată de către modulul **21** care generează semnalele de comandă **20a** și **20b**. Semnalele **20a** și **20b** pot fi, conform invenției, decalate în timp, permițând astfel aplicarea succesivă a unor pachete de particule asupra sistemului testat **19**.

În figura 3 este prezentat un exemplu de aplicare a procedurii la care face referire invenția, în care este testat efectul radiațiilor asupra sistemului **19**, utilizându-se, conform invenției, două acceleratoare laser-plasmă separate, **15** și **16**, plasate în poziții diferite față de sistemul testat **19** și generând fasciculele pulsate de particule accelerate **17** și **18** care se aplică asupra aceleiași zone a sistemului **19**. Fasciculele pulsate de particule **17** și **18** pot conține, conform invenției, particule de tip diferit, permițând testarea efectului acțiunii simultane a mai multor tipuri de particule asupra sistemului **19**.

În figura 4, este prezentat un exemplu de aplicare a procedurii la care face referire invenția, în care este testat efectul radiațiilor asupra sistemului **19**, utilizându-se, conform invenției, două acceleratoare laser-plasmă separate, **15** și **16**, pulsul laser incident pentru fiecare din cele două acceleratoare laser-plasmă, **15** și **16**, fiind furnizat de către un singur laser de putere **1**, fasciculul de ieșire **2** al acestuia fiind divizat utilizând divizorul de fascicul **22**. Unul din fascicule **27** este dirijat cu ajutorul oglinzilor **25**, **26** și **10** către oglinda parabolică **12**, aceasta focalizând fasciculul la intrarea acceleratorului laser-plasmă **16**. Celălalt fascicul **28**, după ce traversează lama de compensare **30**, este dirijat cu ajutorul oglinzilor **23**, **24**, **29** și **9** către oglinda parabolică **11**, aceasta focalizând fasciculul la intrarea acceleratorului laser-plasmă **15**. Prin deplasarea ansamblului format din sistemul de oglinzi **23** și **24** se poate modifica drumul optic al pulsurilor laser incidente aplicate intrării acceleratorului laser-plasmă **15** și



implicit acesta va genera pachete de particule accelerate **17** cu o anumită întârziere față de acceleratorul laser-plasmă **16**.

Pentru aplicarea procedurii la care face referire invenția, laserele de mare putere **1**, **7** sau **8** generează pulsuri laser cu puterea instantanee cuprinsă între 10TW și 1 PW, cu durata de 25-50 fs și frecvența de repetiție cuprinsă între 0,1 Hz și 10 Hz.

Pentru fiecare din exemplele de aplicare ale procedurii reprezentate în figura 2 sau figura 3, fasciculul laser generat de laserele de mare putere **7** sau **8** poate fi divizat optic printr-o metodă asemănătoare celei prezentate în figura 4, dublându-se astfel numărul de acceleratoare laser-plasmă posibile și prin urmare numărul de fascicule de pulsate de particule accelerate.

## REVENDICĂRI

1. Procedeu de testare pentru componente și sisteme complexe în fluxuri pulsate și sincronizate de particule **caracterizat prin aceea că** se utilizează două sau mai multe acceleratoare laser-plasmă separate (15, 16), amplasate în poziții diferite din spațiu în raport cu componenta sau sistemul supuse testelor (19), și care generează fascicule pulsate de particule accelerate (17, 18) ce se deplasează pe direcții diferite.
2. Procedeu de testare pentru componente și sisteme complexe în fluxuri pulsate și sincronizate de particule **caracterizat prin aceea că** se utilizează două sau mai multe acceleratoare laser-plasmă separate (15, 16), care generează fascicule pulsate de particule accelerate (17, 18) ce se aplica asupra unor zone diferite ale componentei sau sistemului (19) supuse testelor.
3. Procedeu de testare pentru componente și sisteme complexe în fluxuri pulsate și sincronizate de particule **caracterizat prin aceea că** se utilizează două sau mai multe acceleratoare laser-plasmă separate (15, 16), fiecare dintre acestea generând fascicule pulsate de particule accelerate (17, 18) conținând același tip de particule.
4. Procedeu de testare pentru componente și sisteme complexe în fluxuri pulsate și sincronizate de particule **caracterizat prin aceea că** se utilizează două sau mai multe acceleratoare laser-plasmă separate (15, 16), fiecare dintre acestea generând fascicule pulsate de particule accelerate (17, 18) conținând tipuri diferite de particule.
5. Procedeu de testare pentru componente și sisteme complexe în fluxuri pulsate și sincronizate de particule **caracterizat prin aceea că** se utilizează două sau mai multe acceleratoare laser-plasmă separate (15, 16), care generează simultan pachete de particule accelerate (17, 18).
6. Procedeu de testare pentru componente și sisteme complexe în fluxuri pulsate și sincronizate de particule **caracterizat prin aceea că** se utilizează două sau mai multe acceleratoare laser-plasmă separate (15, 16), care generează pachetele de particule (17, 18) accelerate succesiv, intervalul de timp care le separă fiind stabilit de către utilizator.
7. Procedeu de testare pentru componente și sisteme complexe în fluxuri pulsate și sincronizate de particule **caracterizat prin aceea că** se utilizează două sau mai multe acceleratoare laser-plasmă separate (15, 16), fiecare dintre acestea fiind declanșat de către pulsuri laser incidente de mare putere provenind fiecare de la un laser diferit (7, 8).
8. Procedeu de testare pentru componente și sisteme complexe în fluxuri pulsate și sincronizate de particule **caracterizat prin aceea că** se utilizează două sau mai multe acceleratoare laser-plasmă separate (15, 16), fiecare dintre acestea fiind declanșat de către un

puls laser incident de mare putere (2) provenind de la un singur laser (1), puls care este apoi divizat folosind metode optice.

9. Procedeu de testare pentru componente și sisteme complexe în fluxuri pulsate și sincronizate de particule **caracterizat prin aceea că** se utilizează două sau mai multe acceleratoare laser-plasmă separate (15, 16), care prin sincronizare adecvată creează fluxuri instantanee intense capabile să inducă defecte multiple pe durate de interes pentru testarea sistemelor complexe (19) în funcțiune precum și a programelor care le controlează funcționarea.

10. Procedeu de testare pentru componente și sisteme complexe în fluxuri pulsate și sincronizate de particule **caracterizat prin aceea că** se utilizează două sau mai multe acceleratoare laser-plasmă separate (15, 16), al căror număr se adaptează necesităților de testare și a dimensiunilor sistemelor complexe în funcție de puterea și numărul laserelor disponibile.

DESENE EXPLICATIVE

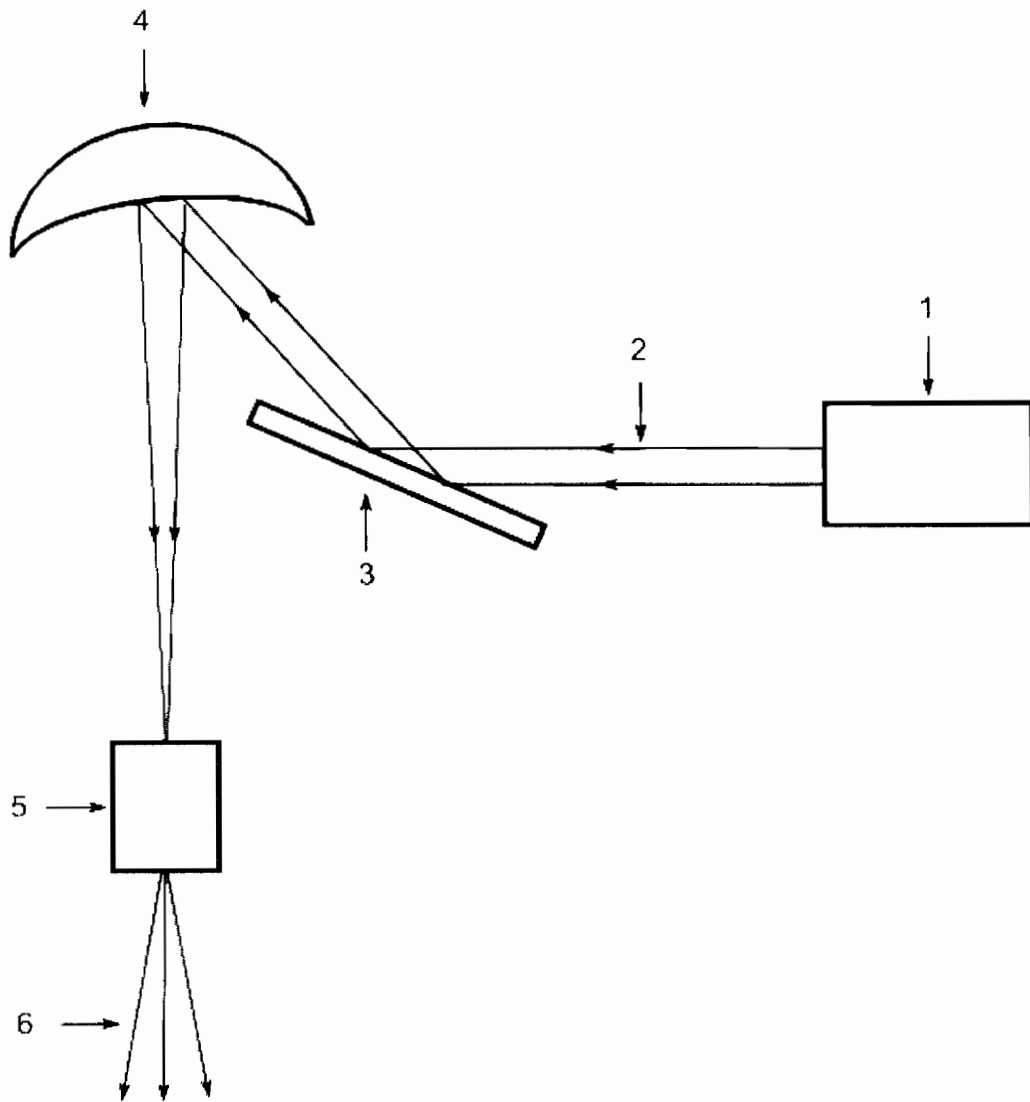


Figura 1

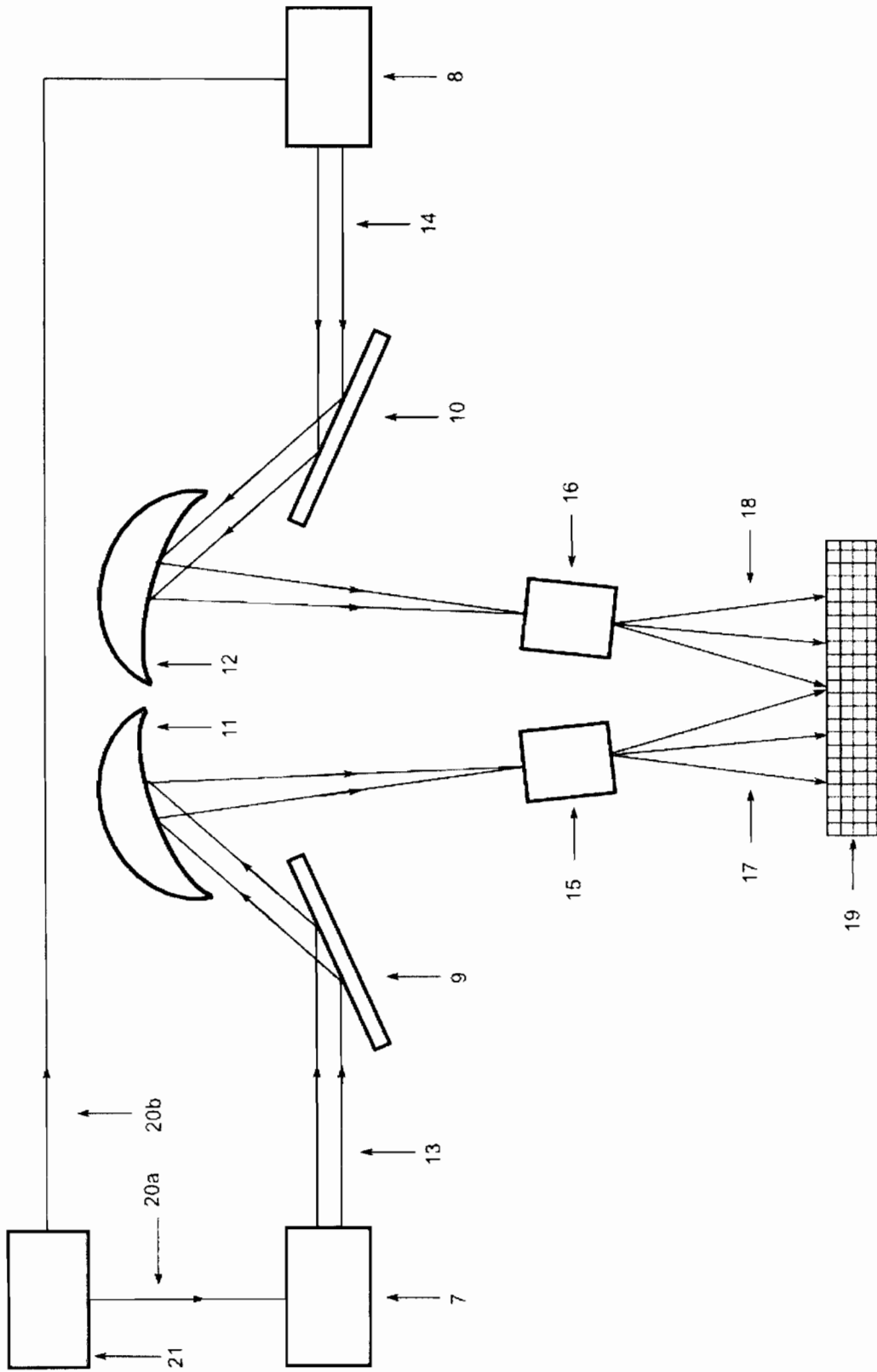


Figura 2

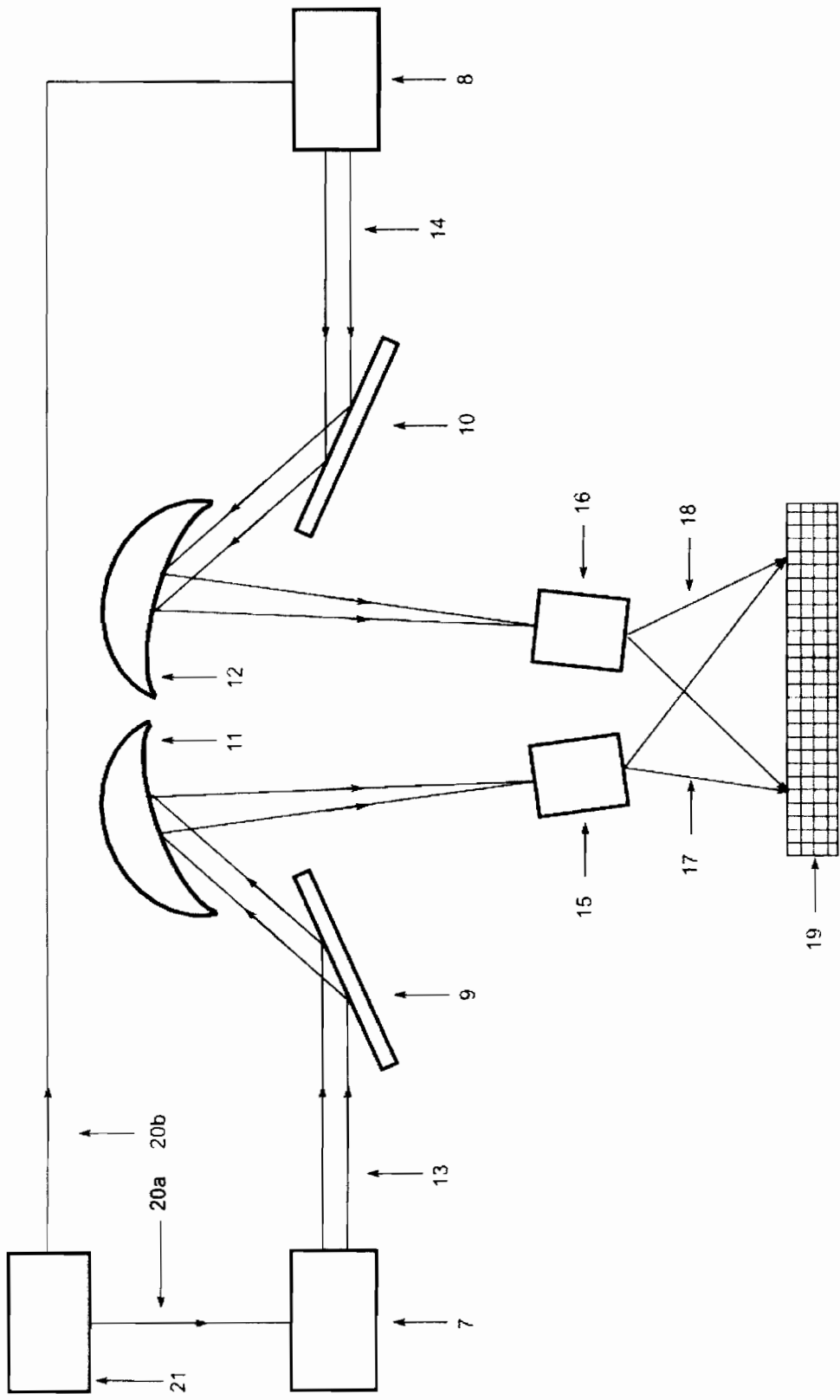


Figura 3

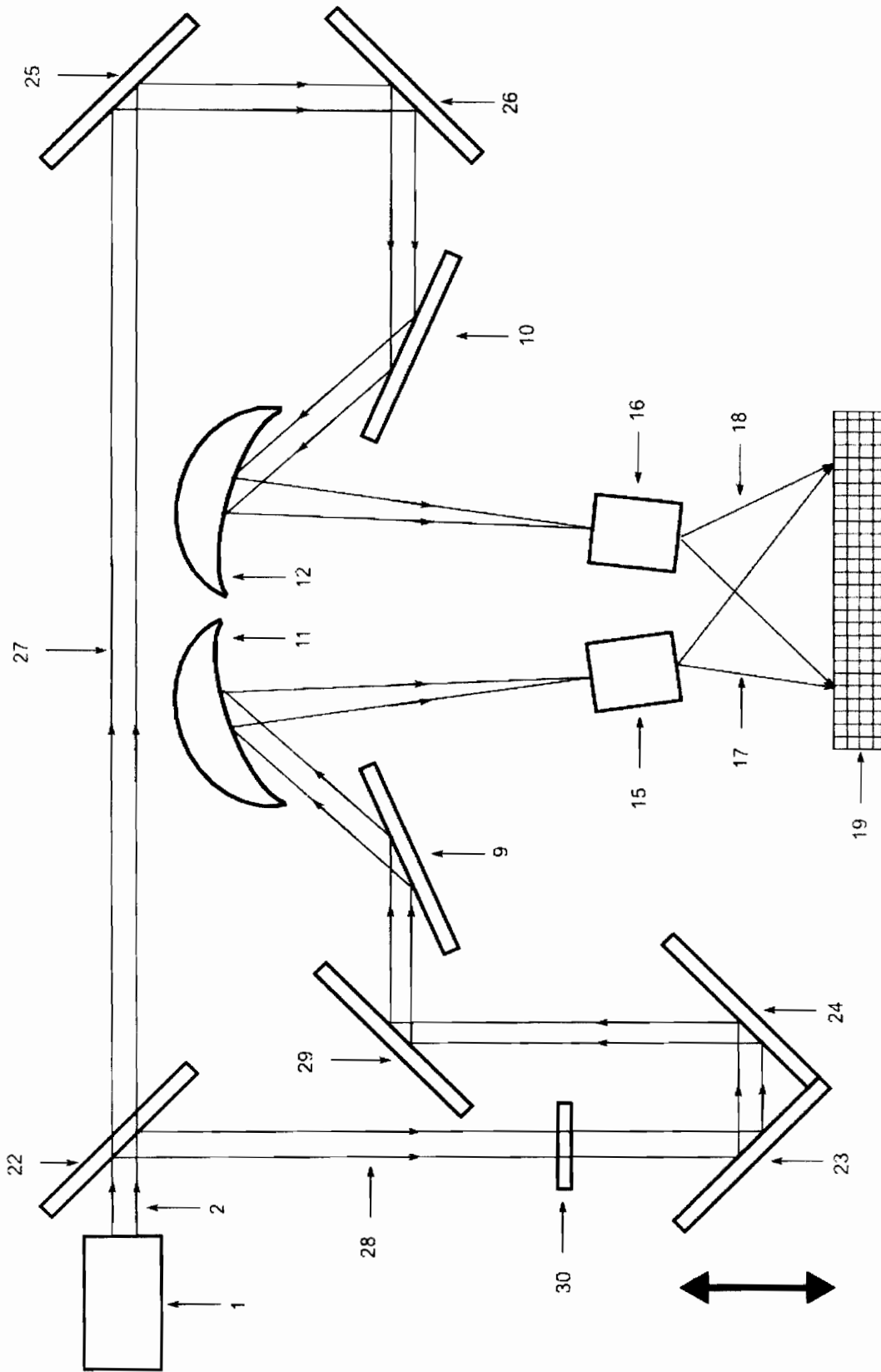


Figura 4

**DESCRIEREA INVENȚIEI:****SISTEM ȘI PROCEDU DE TESTAREA COMPONENTELOR, CIRCUITELOR ȘI ECHIPAMENTELOR COMPLEXE BAZATE PE ACCELERAREA INDUSĂ LASER A PARTICULELOR**

Invenția se referă la un sistem și un procedeu pentru testarea componentelor, circuitelor și echipamentelor complexe prin determinarea efectului pe care îl are asupra caracteristicilor și parametrilor de funcționare, precum și, dacă este cazul, asupra programului care controlează funcționarea acestora, un flux extern de particule ce poate fi însoțit de un flux de radiație X sau gama, având diverse energii și intensități, și care pot fi, de exemplu: dispozitive electrice, electronice, optice, mecanice sau combinații ale acestora și care sunt conținute de echipamentele electronice aflate la bordul sateliților, navelor spațiale sau avioanelor zburând la foarte mare altitudine, a sistemelor de control ale reactoarelor nucleare sau a acceleratoarelor de particule, a instalațiilor utilizate pentru manipularea materialelor radioactive și în zonele afectate de accidente nucleare.

Radiația X este radiația electromagnetică cu lungimea de undă cuprinsă între 10pm și 10nm, iar radiație gama, radiația electromagnetică cu lungimea de undă mai mică decât 10pm.

Este cunoscut faptul că fluxurile de particule, cum ar fi fluxurile de electroni, ioni, protoni, neutroni și alte particule elementare precum și radiația electromagnetică de lungime de undă foarte mică, comparabilă cu dimensiunile atomilor sau moleculelor, cum sunt de exemplu radiațiile X și gama, pot afecta integritatea echipamentelor electronice conducând la distrugerea sau funcționarea eronată a acestora (a se vedea, de exemplu A. Holmes-Siedle, L. Adams, *Handbook of Radiation Effects*, Oxford University Press, England, 2002, ISBN 0-1-850733-X). Asemenea situații se întâlnesc în cazul echipamentelor electronice aflate la bordul sateliților, navelor spațiale sau avioanelor zburând la foarte mare altitudine, sistemelor de control ale reactoarelor nucleare sau a acceleratoarelor de particule, a instalațiilor utilizate pentru manipularea sau reciclarea materialelor radioactive sau în zonele afectate de accidente nucleare.

Prin urmare reprezintă o mare importanță practică realizarea de echipamente, circuite și componente electrice, electronice sau optoelectronice, precum și programarea lor adecvată, astfel încât să funcționeze normal în prezența radiațiilor cu spectru energetic larg. Aceasta impune testarea componentelor, circuitelor și echipamentelor complexe în condiții similare celor enumerate mai sus. În acest scop este necesară realizarea unor sisteme cu ajutorul cărora să se genereze fluxuri de particule ale căror caracteristici să fie asemănătoare cu cele întâlnite



în spațiul cosmic, la mare altitudine, în interiorul reactoarelor nucleare sau în zonele afectate de accidente nucleare și urmărirea efectelor acestor fluxuri de particule asupra componentelor și circuitelor.

În scopul testării efectului fluxurilor de particule de mare energie asupra componentelor, circuitelor și echipamentelor complexe se folosesc, de preferință, acceleratoare de particule convenționale a căror funcționare se bazează pe accelerarea particulelor încărcate în diverse configurații de câmpuri electrice și magnetice. Utilizarea lor prezintă următoarele dezavantaje:

- generarea fluxurilor de particule necesită instalații de dimensiuni foarte mari;
- sunt generate fluxuri care conțin un singur tip de particule, în consecință nu poate fi testat efectul acțiunii simultane a mai multor tipuri de particule;
- secțiunea fasciculului de particule este foarte mică astfel încât nu poate fi testat efectul acțiunii fasciculului asupra întregului element testat sau asupra unei suprafețe semnificative a acestuia;
- fluxul de particule este de regulă monoenergetic, caracteristică care diferă de cea întâlnită în situațiile reale pentru care trebuie efectuate teste;

În scopul emiterii de fluxuri de particule de mare energie folosite pentru testarea componentelor și circuitelor complexe, este cunoscută utilizarea acceleratoarelor de particule compacte, de mici dimensiuni care au caracteristici comparabile cu cele ale acceleratoarelor convenționale și care utilizează fascicule laser de foarte mare putere. Acest tip de acceleratoare se bazează pe generarea particulelor și accelerarea lor în plasma formată în urma interacției dintre fasciculul laser și o țintă solidă sau gazoasă.

De exemplu în lucrarea X. Wang, *Quasi-monoenergetic laser-plasma acceleration of electrons to GeV*, Nature Communications vol. 4, article number:188, doi :10.1038/ncomms2988 din 11 iunie 2013, este descris un sistem de producere a unui fascicul de electroni cu energia de 2GeV bazat pe interacția unui puls laser ultra-scurt, extrem de intens, de ordinul a 1PW (durata 150fs, lungimea de undă 1.057 $\mu$ m, energia  $E \leq 150$ J) care interacționează cu un mediu gazos format din He, cu puritate 99,99%, la presiunea 1-8 torr, aflat într-un tub capilar cu diametrul de 3 mm și lungimea de 7 cm. În continuare asemenea sisteme de accelerare a particulelor, bazate pe interacția dintre fascicule laser pulsate de mare intensitate și diverse ținte, vor fi denumite *acceleratoare laser-plasmă*. În cazul unui accelerator convențional este nevoie de o distanță de circa 10000 de ori mai mare pentru a obține un fascicul de electroni cu aceeași energie. Declanșarea acceleratorului laser-plasmă, însemnând generarea la ieșirea acestuia a unui grup de particule accelerate, denumit în

continuare pachet de particule accelerate, are loc ca urmare a aplicarii la intrarea sa a unui puls laser ultrascurt, denumit în continuare puls laser incident, de mare intensitate furnizat de catre un laser de mare putere extern. Natura, forma și dimensiunile țintei, de asemenea intensitatea și durata pulsului laser incident determină tipul de particule care urmează a fi generate. Prin modificarea acestor caracteristici se poate controla tipul și energia particulelor generate. De exemplu, conform S. Abuazoum, S. M. Wiggins, R. C. Issac, G. H. Welsh, G. Vieux, M. Ganciu, and D. A. Jaroszynski, *A high voltage pulsed power supply for capillary discharge waveguide applications*, Rev. Sci. Instrum. 82, 063505 (2011), un accelerator de electroni poate fi realizat utilizând interacția unui fascicul laser focalizat cu o plasmă filamentară indusă într-un tub capilar care permite adaptarea parametrilor fasciculelor de electroni accelerați la condițiile de test (durată, energie, divergență) prin modularea parametrilor curentului inițial în capilar și a presiunii precum și a naturii gazului din interiorul capilarului. Dispozitivele de accelerare de electroni, respectiv protoni, pot crea prin combinarea lor, amestecuri de particule accelerate ionizante cu diferite compoziții care să includă și generarea altor tipuri de radiație (X, gama) sau de alte particule nucleare (neutroni) într-un interval de timp controlat. În B. Hidding et all, *Laser-plasma-accelerators-A novel, versatile tool for space radiation studies*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 636(2011) 31-40, se demonstrează că distribuția după energie a particulelor generate de către acceleratoarele laser-plasmă pot avea caracteristici similare cu cele întâlnite în spațiul cosmic. Prin urmare există posibilitatea utilizării fluxurilor de particule generate de către acceleratoarele laser-plasmă, pentru testarea efectelor unor fluxuri de particule cu caracteristici asemănătoare celor din spațiul cosmic asupra componentelor, circuitelor și echipamentelor complexe, inclusiv asupra programelor care le controlează funcționarea, aflate la bordul sateliților și navelor spațiale.

O astfel de soluție tehnică cunoscută, este cea a unui sistem de testare care folosește un singur accelerator plasmă-laser. Laserul de mare putere generează pulsuri ultracurte de foarte mare intensitate care se propagă de-a lungul unei direcții. Acestea sunt dirijate către o oglindă parabolică care la rândul său le focalizează asupra unei ținte solide sau gazoase conținută de către acceleratorul laser-plasmă. Fiecare puls laser incident declanșează un proces fizic complex în urma căruia se generează la ieșirea acceleratorului laser-plasmă un fascicul pulsat de particule accelerate având o anumită divergență spațială.

În același scop, se mai cunoaște soluția tehnică descrisă în cererea de brevet americană US2011/0240888 A1 publicată la 06 octombrie 2011, în care este prezentată o metodă pentru testarea sensibilității componentelor și circuitelor electronice la efectele radiației. Se pot

produce mai multe tipuri de particule și radiații, cum ar fi de electroni, protoni, ioni, neutroni și fotoni, și combinații ale acestor produși, într-o gamă largă de parametri, care sunt relevanți pentru cazul utilizării de componente electronice, circuitelor și echipamentelor în spațiu, cum ar fi cele instalate la bordul sateliților, cele care funcționează la altitudini mari sau în locurile unde există substanțe radioactive, cum ar fi centralele nucleare. Variindu-se cel puțin un parametru selectat din grupul constând din: energia impulsului laser, energia de acționare a impulsului laser, durata fasciculului, lungimea de undă, forma fasciculului și densitatea fasciculului, rezultă un fascicul de radiație cu o distribuție de energie a particulelor accelerate apropiată de cea exponențială având o componentă electronică importantă.

În scopul testării componentelor și circuitelor complexe folosind acceleratoare de particule compacte de mici dimensiuni care au caracteristici comparabile cu cele ale acceleratoarele convenționale și care utilizează lasere de foarte mare putere este cunoscută cererea de brevet US200911042A1 din 07.07.2009, „Metodă și aparat de testarea circuitelor electronice”. Metoda constă în iradierea cu un fascicul de particule accelerate într-un accelerator laser-plasmă a circuitului electronic și analizarea semnalului de ieșire de răspuns de către circuitul electronic în perioada în care fluxul de particule este aplicat asupra circuitului. Metoda mai constă în acumularea probelor pentru a genera o valoare urmată de generarea unui rezultat test bazat pe această valoare. Aparatul pentru testarea circuitelor electronice, conform cererii de brevet mai sus amintite, este alcătuit dintr-un laser al cărui puls este aplicat asupra acceleratorului laser-plasmă, un sistem de control operabil pentru a direcționa fasciculul de particule accelerate pe o locație anumită de pe circuitul electronic, și un circuit de măsurare, în care circuitul de măsurare determină o multitudine de eșantioane dintr-un semnal de ieșire de răspuns de la circuitul electronic în perioada în care radiația laser este aplicată. Aparatul mai include un procesor de semnal, care acumulează probele și generează o valoare și un rezultat-test bazat pe acea valoare.

Sistemele și metodele descrise anterior prezintă următoarele dezavantaje:

- fasciculul de particule conține un singur tip de particule;
- fasciculul de particule este aplicat dintr-o singură direcție;

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în generarea simultană sau cu un anumit decalaj temporal, a mai multor fluxuri de particule concurente, de diferite tipuri, care se propagă în direcții diferite, prezintă o anumită extindere spațială, și au caracteristici asemănătoare celor din spațiul cosmic.

Sistemul de testare pentru componente, circuite și echipamente complexe, rezolvă problema tehnică menționată mai sus, fiind caracterizat conform invenției prin aceea că, într-o

primă variantă constructivă, este format din cel puțin două acceleratoare laser-plasmă, separate, plasate în poziții diferite față de subsistemul de testat și care generează cel puțin niște fascicule pulsate de particule accelerate de același tip sau de tipuri diferite, funcție de construcția acceleratoarelor laser-plasmă, la intrarea fiecăruia din cel puțin două acceleratoare laser-particulă aplicându-se pulsuri laser incidente provenind de la niște lasere de mare putere, astfel încât suprafața expusă fasciculelor de particule de către subsistemul testat să fie mai mare decât dacă s-ar fi folosit un singur accelerator de particule laser-plasmă, un fascicul laser generat de către unul din laserele de mare putere fiind dirijat de către o oglindă către o oglindă parabolică, care focalizează fasciculul la intrarea unuia dintre acceleratorului laser-plasmă și un alt fascicul laser, generat de către celălalt laser de mare putere fiind dirijat de către o altă oglindă către o altă oglindă parabolică, care focalizează fasciculul la intrarea cel de-al doilea accelerator, și prin aceea că

mai conține instrumentele de măsură, în sine cunoscute cu ajutorul cărora se realizează calibrarea prin determinarea parametrilor inițiali de funcționare pentru subsistemul de testat și măsurarea parametrilor funcționali ai acestuia după aplicarea fluxurilor de particule.

Problema tehnică mai este rezolvată de către sistem și prin faptul că, acesta, conform invenției, este caracterizat prin aceea că, fasciculele pulsate de particule, conținând tipuri diferite de particule, sunt aplicate asupra aceleiași zone a subsistemului de testat.

Problema tehnică mai este rezolvată de către sistem și prin faptul că, acesta conform invenției, este caracterizat prin aceea că, fasciculele pulsate de particule pot fi aplicate asupra unor zone diferite ale subsistemului de testat.

Problema tehnică mai este rezolvată de către sistem și prin faptul că, acesta, conform invenției, este caracterizat prin aceea că, declanșarea pulsurilor de ieșire pentru cele două lasere de mare putere este comandată de către un modul care generează niște semnale de comandă care pot fi decalate în timp, permițând astfel aplicarea succesivă a unor fluxuri de particule asupra subsistemului de testat, asupra aceleiași zone sau asupra unor zone diferite ale acestuia.

Problema tehnică mai este rezolvată de către sistem și prin faptul că acesta, conform invenției, este caracterizat prin aceea că, semnalele de comandă pot fi simultane permițând astfel aplicarea simultană a unor fluxuri de particule asupra subsistemului de testat, asupra aceleiași zone sau asupra unor zone diferite ale acestuia.

Problema tehnică mai este rezolvată de către sistem, și prin faptul că acesta, conform invenției, este caracterizat prin aceea că, numărul acceleratoarelor laser-plasmă separate se

adaptează necesităților de testare și dimensiunilor subsistemelor de testat, în funcție de puterea și numărul laserelor.

Problema tehnică mai este rezolvată de către sistem, și prin faptul că acesta, conform invenției, este caracterizat prin aceea că, suportul care susține subsistemul de testat se poate roti astfel încât fluxul de particule incidente poate fi aplicat sub diverse unghiuri și asupra unor zone diferite ale subsistemului de testat.

Sistemul de testare pentru componente, circuite și echipamente complexe, rezolvă problema tehnică menționată, prin aceea că, într-o a doua variantă constructivă, în care este testat efectul radiațiilor asupra subsistemului de testat, este format din cel puțin două acceleratoare laser-plasmă separate, în care pulsul laser incident pentru fiecare din cele cel puțin două acceleratoare laser-plasmă este furnizat de către un singur laser de putere, un fascicul de ieșire al acestuia fiind divizat de către un divizor de fascicul, unul dintre fascicule fiind dirijat cu ajutorul unor oglinzi către o oglindă parabolică, aceasta focalizând fasciculul la intrarea unuia dintre acceleratoarele laser-plasmă, celălalt fascicul, după ce traversează o lamă de compensare, fiind dirijat cu ajutorul unor oglinzi către o oglindă parabolică, aceasta focalizând fasciculul la intrarea celuilalt accelerator laser-plasmă, și în care prin deplasarea ansamblului format din sistemul de oglinzi se modifică drumul optic al pulsurilor laser incidente aplicate intrării unuia dintre acceleratoare laser-plasmă care implicit va genera fluxurile de particule accelerate cu o anumită întârziere față de celălalt accelerator laser-plasmă care generează fluxurile de particule accelerate, și prin aceea că mai conține instrumentele de măsură, în sine cunoscute cu ajutorul cărora se realizează calibrarea prin determinarea parametrilor inițiali de funcționare pentru subsistemul de testat și măsurarea parametrilor funcționali ai acestuia după aplicarea fluxurilor de particule.

Problema tehnică mai este rezolvată de către sistem și prin faptul că acesta, conform invenției, este caracterizat prin aceea că, fasciculele pulsate de particule, conținând tipuri diferite de particule, sunt aplicate asupra aceleiași zone a subsistemului de testat.

Problema tehnică mai este rezolvată de către sistem și prin faptul că acesta, conform invenției, este caracterizat prin aceea că, fasciculele pulsate de particule, pot fi aplicate asupra unor zone diferite ale subsistemului de testat.

Problema tehnică mai este rezolvată de către sistem, și prin faptul că acesta, conform invenției, este caracterizat prin aceea că, suportul care susține subsistemul de testat se poate roti astfel încât fluxul de particule incidente poate fi aplicat sub diverse unghiuri și asupra unor zone diferite ale subsistemului de testat.

Procedeu de testare pentru componente și circuite complexe în fluxuri pulsate și sincronizate de particule, care folosește sistemul de testare de mai sus, rezolvă problema tehnică menționată fiind caracterizat prin aceea că, pentru determinarea efectului unui flux extern de particule și radiații, având diverse energii, asupra caracteristicilor și parametrilor de funcționare, precum și, dacă este cazul, asupra programului care controlează funcționarea acestora, constă în:

- calibrarea sistemului prin determinarea intensității, energiei, distribuției spațiale și natura particulelor conținute de către fluxurile de particule, pentru o intensitate dată a fasciculelor laser, a configurației spațiale dată a acestora și a caracteristicilor date ale acceleratoarelor, care se realizează prin amplasarea instrumentelor de măsură în sine cunoscute, cu ajutorul cărora se determină parametrii menționați, în diverse poziții din spațiu care fac parte din volumul ocupat ulterior de subsistemul testat;

- măsurarea parametrilor funcționali ai subsistemului care face obiectul testelor privind rezistența la fluxul de particule înainte de aplicarea acestora;

- îndepărtarea instrumentelor de măsură în locul acestora amplasându-se subsistemul de testat pentru care se asigură ecranarea electromagnetică corespunzătoare;

- aplicarea fluxurilor de particule asupra subsistemului de testat, cu aceleași caracteristici pentru fasciculele laser, aceiași configurație spațială pentru acestea precum și aceleași caracteristici pentru acceleratoare;

- măsurarea parametrilor funcționali ai subsistemului de testat în timpul aplicării fluxurilor de particule și compararea lor cu valorile măsurate inițial.

- măsurarea parametrilor funcționali ai subsistemului de testat după aplicarea fluxurilor de particule și compararea lor cu valorile măsurate inițial.

Problema tehnică mai este rezolvată și de către procedeu, conform invenției, caracterizat prin aceea că operația de calibrare se realizează prin varierea intensității fasciculelor laser, a configurației spațiale a acestora și prin modificarea caracteristicilor acceleratoarelor laser-plasmă, astfel încât intensitatea, energia, distribuția spațială și natura particulelor conținute de către fluxurile de particule să se încadreze în valorile necesare.

Problema tehnică mai este rezolvată și de către procedeu, conform invenției, caracterizat prin aceea că cele cel puțin două fluxuri de particule accelerate se aplică simultan sau decalate temporal asupra unei componente sau a întregului subsistem supus testelor.

Problema tehnică mai este rezolvată de către procedeu, conform invenției, caracterizat prin aceea că, suportul care susține subsistemul de testat se poate roti pe durata efectuării

testelor astfel încât fluxul de particule incidente poate fi aplicat sub diverse unghiuri și asupra unor zone diferite ale subsistemului de testat.

Procedeul și sistemul pentru testarea componentelor, circuitelor și echipamentelor complexe, conform invenției, prezintă următoarele avantaje:

- obținerea simultană sau cu un decalaj în timp controlat de către operator, a unor fascicule multiple de particule cu caracteristici diferite;

- obținerea de fascicule pulsate conținând tipuri de particule diferite (electroni și protoni, de exemplu) care pot fi aplicate simultan sau cu un anumit decalaj în timp asupra componentei sau sistemului testate;

- se pot aplica fascicule de radiație din direcții diferite;

- se pot aplica fascicule de radiație, simultan sau succesiv, asupra unor zone diferite ale acestora, măbind suprafața expusă fluxului de particule;

- se pot aplica fascicule de radiație, simultan sau succesiv, asupra unor zone diferite ale acestora, permițând simularea cazului în care fluxul de particule acționează asupra mai multor elemente critice ale sistemului testat;

- se pot obține fascicule pulsate de particule cu un grad înalt de uniformitate sau cu o neomogenitate spațială și temporală controlată;

- pot fi simulate condițiile care apar în timpul erupțiilor solare sau atunci când un vehicul spațial traversează centurile de radiații ;

- se pot astfel induce mai multe defecte într-un interval de timp scurt care poate fi mai mic decât perioadele temporale specifice funcționării sistemelor supuse testelor, sisteme care pot fi în funcțiune în momentul testării;

- se pot testa programe specializate pentru corecția defectelor induse în structura fizică a sistemului testat, în condiții de fluxuri instantanee pentru care probabilitatea de defecte simultane este mare;

- se poate testa capacitatea întregului sistem de a reveni la o bună funcționare după inducerea unor defecte multiple distribuite în anumite intervale de timp;

Se prezintă în continuare două exemple de realizare a procedurii și sistemului pentru testarea componentelor, circuitelor și echipamentelor complexe, conform invenției, în legătură și cu fig. 1, 2, 3, 4 și 5 care reprezintă:

- Figura 1, schema bloc a unui sistem de generare și accelerare a particulelor, conform invenției, în care fasciculul pulsat de particule este aplicat asupra unor zone diferite ale subsistemului testat;

-Figura 2, schema bloc a unui sistem de generare și accelerare a particulelor, conform invenției, în care fasciculul pulsant de particule este aplicat asupra aceleiași zone a subsistemului testat;

-Figura 3, schema bloc a unui sistem de generare și accelerare a particulelor, conform invenției, într-o altă variantă constructivă, în care pulsul laser incident pentru fiecare din cele două acceleratoare laser-plasmă este furnizat de către un singur laser de putere, fasciculul de ieșire al acestuia fiind divizat prin metode optice;

-Figura 4, schema bloc de calibrare a sistemului, conform invenției;

-Figura 5, schema de principiu care pune în evidență multiplicarea pulsului laser incident folosind metode optice.

Exemplele de realizare prezintă utilizarea sistemului S de testarea componentelor, circuitelor și echipamentelor complexe pentru determinarea efectului unui flux extern de particule, având diverse energii, asupra caracteristicilor și parametrilor de funcționare, precum și, dacă este cazul, asupra programului care controlează funcționarea acestora, conform invenției, pentru testarea subsistemului 1 de testat.

Conform cu o primă variantă constructivă, sistemul S de testare este format din două acceleratoare 3 și 4 laser-plasmă, separate, plasate în poziții diferite față de subsistemul 1 de testat, ecranat electromagnetic corespunzător, care este fixat pe suportul 2 ce se poate roti, și care generează niște fascicule 5 și 6 pulsate de particule accelerate. Fasciculele 5 și 6 pulsate de particule accelerate, pot conține particule de același tip sau de tipuri diferite, funcție de construcția acceleratoarelor laser-plasmă 3 și 4.

Suportul 2 pe care este fixat subsistemul 1 de testat se poate roti astfel încât fasciculele de particule 5 și 6 pot fi aplicate sub unghiuri diferite sau asupra unor zone diferite ale subsistemului 1 de testat.

La intrarea fiecăruia din acceleratoarele 3 și 4 laser-plasmă, se aplică pulsuri laser incidente provenind de la niște lasere 7 și respectiv 8 de mare putere, diferite, astfel încât suprafața expusă fasciculelor 5 și 6 de particule de către subsistemul 1 de testat este mai mare decât s-ar fi folosit un singur accelerator de particule laser-plasmă.

Un fascicul 9 laser, generat de către laserul 7 de mare putere, este dirijat de către o oglindă 11 către o oglindă 13 parabolică, care focalizează fasciculul 9 la intrarea acceleratorului 3 laser-plasmă.

Un fascicul 10 laser generat de către laserul 8 de mare putere, este dirijat de către o oglindă 12 către o oglindă 14 parabolică, care focalizează fasciculul 10 la intrarea acceleratorului 4 laser-plasmă.



Declanșarea pulsurilor de ieșire pentru cele două lasere 7 și 8 de mare putere este comandată de către un modul 15 care generează niște semnale 15a și 15b de comandă. Semnalele 15a și 15b pot fi decalate în timp ceea ce permite aplicarea succesivă a unor pachete de particule asupra subsistemului 1 de testat. În acest caz, fasciculele 5 și 6 pulsate de particule sunt aplicate unor zone diferite ale subsistemului 1 de testat.

Conform unui alt exemplu de realizare, cele două acceleratoare laser-plasmă separate, 3 și 4, plasate în poziții diferite față de subsistemul 1 de testat, generează fasciculele 5 și 6 pulsate de particule accelerate care se pot aplica asupra aceleiași zone a subsistemului 1.

Sistemul S, conform invenției, mai conține instrumentele 27a, 27b, 27c, 27d, 27e de măsură, în sine cunoscute cu ajutorul cărora se realizează calibrarea prin determinarea caracteristicilor fasciculelor 5 și 6 de particule, anume natura, intensitatea, energia și distribuția spațială a acestora.

Fasciculele 5 și 6 pulsate de particule pot conține, conform invenției, particule de tip diferit, ceea ce permite testarea efectului acțiunii simultane a mai multor tipuri de particule asupra subsistemului 1. Fluxurile de particule pot fi fluxuri de electroni, ioni, protoni, neutroni și alte particule elementare și pot fi însoțite de radiații gama sau radiații X.

Subsistemul 1 de testat poate consta din dispozitive electrice, electronice, optoelectronice sau combinații ale acestora. De asemenea, subsistemul 1 de testat poate consta din programe specializate utilizate în industria spațială și în orice alt domeniu în care exploatarea acestora se face în condiții de radiații și fluxuri intense de particule accelerate, fluxuri care pot fi continue sau intermitente.

Într-o altă variantă constructivă, sistemul S de testare este format din cele două acceleratoare 3 și 4 laser-plasmă separate, pulsul laser incident pentru fiecare din cele două acceleratoare 3 și 4 laser-plasmă fiind furnizat de către un singur laser 16 de putere, fasciculul 17 de ieșire al acestuia fiind divizat. În acest scop se utilizează un divizor 18 de fascicul.

Unul din fascicule 19 este dirijat cu ajutorul unor oglinzi 20, 21 și 11 către oglinda parabolică 13, care focalizează fasciculul 19 la intrarea acceleratorului 3 laser-plasmă.

Celălalt fascicul 22, după ce traversează o lamă 23 de compensare, este dirijat cu ajutorul unor oglinzi 24, 25, 26 și respectiv 12 către oglinda parabolică 14, care focalizează fasciculul 22 la intrarea acceleratorului 4 laser-plasmă.

Prin deplasarea ansamblului format din sistemul de oglinzi 24 și 25 se poate modifica drumul optic al pulsurilor laser incidente aplicate intrării acceleratorului 4 laser-plasmă și implicit acesta va genera fluxuri 6 de particule accelerate cu o anumită întârziere față de acceleratorul 3 laser-plasmă.

Conform procedurii de testare pentru componente, circuite și echipamente complexe în fluxuri pulsate și sincronizate de particule, care folosește sistemul S de testare, conform invenției, pentru determinarea efectului unui flux extern de particule și radiații, având diverse energii, asupra caracteristicilor și parametrilor de funcționare, precum și, dacă este cazul, asupra programului care controlează funcționarea acestora, într-o primă etapă, se realizează calibrarea sistemului S. Pentru aceasta se determină intensitatea, energia, distribuția spațială și natura particulelor conținute de către fluxurile 5 și 6, pentru o intensitate dată a fasciculelor laser 9, 10, sau respectiv 17, o configurație spațială dată a acestora și caracteristici date ale acceleratoarelor 3 și 4, prin amplasarea unor instrumente 27a, 27b, 27c, 27d, 27e de măsură în sine cunoscute. Cu instrumentele 27a, 27b, 27c, 27d, 27e se determină intensitatea, energia și natura particulelor incidente, în diverse poziții din spațiu care fac parte din volumul ocupat ulterior de subsistemul 1 testat și pentru un anumit unghi de rotație al suportului 2. Operația de calibrare se poate realiza prin varierea intensității fasciculelor 9, 10, sau respectiv 17 laser, a configurației spațiale a acestora și prin modificarea caracteristicilor acceleratoarelor 3 și 4, astfel încât intensitatea, energia, distribuția spațială și natura particulelor conținute de către fluxurile 5 și 6 să se încadreze în valorile necesare.

În etapa a doua, se măsoară parametrii funcționali inițiali ai subsistemului 1 care face obiectul testelor privind rezistența la fluxul de particule.

După calibrare și determinarea parametrilor inițiali de funcționare pentru subsistemul 1, în etapa a treia se îndepartează instrumentele de măsură 27a, 27b, 27c, 27d, 27e, în locul acestora amplasându-se subsistemul de testat 1, ecranat electromagnetic corespunzător.

În etapa a patra, se aplică fluxurile de particule asupra subsistemului 1 de testat. Fluxurile 5 și 6 de particule aplicate au aceleași caracteristici pentru fasciculele 9, 10, sau respectiv 17 laser, aceiași configurație spațială pentru acestea precum și aceleași caracteristici pentru acceleratoarele 3 și 4.

Se măsoară în etapa a cincea, dacă este cazul, parametrii funcționali inițiali ai subsistemului 1 de testat în timpul efectuării testelor și se compară cu valorile măsurate inițial.

La sfârșitul testelor, în etapa a șasea, se măsoară parametrii funcționali ai subsistemului 1 de testat și se compară cu valorile măsurate inițial.

Prin aplicarea procedurii, descrisă conform invenției, se pot determina valorile densității și energiei unui anumit tip de particule pentru care subsistemul 1 supus testelor, ca întreg sau numai anumite funcții ale acestuia, își păstrează caracteristici acceptabile de funcționare.

Pentru aplicarea procedurii la care face referire invenția, laserele de mare putere 7, 8 sau 16 generează pulsuri laser cu puterea instantanee cuprinsă între 10 TW și 10 PW, cu durata de 25-50 fs și frecvența de repetiție cuprinsă între 0,1 Hz și 10 Hz. Parametrii pulsului laser incident se ajustează în funcție de condițiile care se doresc a fi simulate. De exemplu pentru a simula condițiile existente în zona din spațiu corespunzătoare centurii de radiații Van Allen se va lua în considerare, conform T. Königstein et al, J. Plasma Physics, doi:10.1017/S0022377812000153, că distribuția după energie a fluxului de electroni în centurile de radiații van Allen este aproximată de relația  $N(E) = N_0 \exp(-E/k_B T)$ , care este asemănătoare cu aceea care caracterizează fluxul de electroni generat de un accelerator laser-plasmă. Parametrul  $T_{eff} = k_B T$  se numește temperatura efectivă a fascicului. Parametrii  $N_0$  și  $T_{eff}$  depind de distanța față de Pământ și de nivelul activității solare. Acestea se calculează folosind modele teoretice cunoscute în literatură, dezvoltate pe baza datelor experimentale colectate de către sateliți. Conform T. Königstein et al, J. Plasma Physics, doi:10.1017/S0022377812000153 temperatura efectivă a fluxului de electroni generat de către un accelerator laser-plasmă depinde de intensitatea  $I$  a pulsului laser incident și lungimea de undă a acestuia  $\lambda$ , fiind aproximată de relația:  $T_{eff} \propto (I\lambda^2)^\zeta$  cu  $\zeta = 1/2 - 1/3$ . Valorile fluxului de electroni în perioadele de maxim ale activității solare sunt de circa 3 ori mai mari decât cele din perioadele de minim ale activității solare. De exemplu în timpul misiunii Hipparcos (M. A. C. Perryman et al., The Hipparcos Satellite Operation, SP-1200, June 1997), la distanța  $R = 6.6R_p$ , unde  $R_p$  este raza Pământului, fluxul de electroni are următoarele valori: pentru energia electronilor  $E_e > 0.5 \text{ MeV}$ , fluxul mediu de electroni este de cca  $3 \times 10^{11}$  electroni  $\times \text{cm}^{-2} \times \text{zi}^{-1}$ , pentru  $E_e > 2 \text{ MeV}$ , fluxul mediu de electroni este de cca  $3 \times 10^9$  electroni  $\times \text{cm}^{-2} \times \text{zi}^{-1}$  iar pentru  $E_e > 4 \text{ MeV}$ , fluxul mediu de electroni este de cca  $7 \times 10^5$  electroni  $\times \text{cm}^{-2} \times \text{zi}^{-1}$ . Fluență totală a electronilor care ajung la suprafața unui satelit este luată în considerație ca referință pentru adaptarea și utilizarea acceleratoarelor laser-plasma ca sursă de electroni pentru testarea componentelor și circuitelor aflate la bordul sateliților. Astfel, pentru un satelit care se găsește la o distanță de  $3,5R_p$  de Pământ pe durata activității solare maxime se estimează un număr total de aproximativ  $3 \times 10^{12}$  electroni  $\times \text{cm}^{-2} \times \text{zi}^{-1}$  care ajung pe suprafața acestuia. Un laser cu energia pe puls de 1J, cu o focalizare convenabilă, poate asigura într-un accelerator laser-plasma un flux de electroni cu o temperatură  $T_{eff} = 0,35 \text{ MeV}$  și o sarcină totală de aprox. 100 nC/puls ceea ce corespunde la  $6,2 \times 10^{11}$  electroni emiși la fiecare puls laser pe direcția pulsului laser cu o divergență totală de circa 25 de grade. Se

poate ajusta suprafața de interes pe care cade acest flux doar prin depărtarea echipamentului de testat de acceleratorul laser-plasma.

Pe baza acestor considerente, utilizând un laser cu durata de impuls de 25-30 fs,  $\lambda = 800$  nm, energia pe puls de 1J și frecvența de 10 Hz, rezultă, de exemplu, că pentru o suprafață de 400 cm<sup>2</sup> (de exemplu un pătrat de 20 x 20 cm) trebuie un timp de 200 s pentru a produce un flux total incident de electroni corespunzător unei zile la altitudinea de  $3,5R_p$ . Se dovedește astfel că utilizarea acceleratorului plasmă-laser asigură acumularea într-un timp scurt a unei doze de iradiere globale, având avantajul major al unei distribuții energetice a electronilor similare cu cea din spațiul cosmic.

Un alt avantaj major al acceleratorului laser-plasma este posibilitatea de a induce într-un timp scurt, pe durata unui puls laser, un flux pulsat de electroni accelerați a cărui valoare instantanee depășește cu 10-13 ordine de mărime (funcție de distanța la care este plasat acceleratorul laser-plasmă față de obiectul testat și de distribuția energetică a pachetului de electroni) fluxul maxim de electroni din centurile de radiații Van Allen, permițând astfel testarea echipamentelor la inducerea de defecte într-un interval de timp foarte mic determinat (0.1-10ns) sincronizat cu pulsul laser sau chiar și producerea de defecte multiple pe astfel de intervale de timp foarte scurte, aspecte de interes pentru testarea programelor care controlează funcționarea circuitelor și echipamentelor supuse acțiunii unui flux extern de particule ce poate fi însoțit de un flux de radiație X sau gama, având diverse energii și intensități.

Ajustând intensitatea pulsurilor laser (9, 10 sau 17) la valori corespunzătoare, se pot genera fluxuri de particule având intensitatea și distribuția energetică, măsurate cu instrumentele 27a, 27b, 27c, 27d, 27e în sine cunoscute, similară cu fluxurile de particule existente în spațiul cosmic.

Fasciculul laser 9, 10 sau 17 generat de laserele 7, 8 sau 16 de mare putere poate fi divizat prin metode optice, folosind divizoarele optice 28, 29, 30, 31 obținându-se fasciculele 32, 33, 34, 35 și 36 multiplicându-se astfel numărul de acceleratoare laser-plasmă posibile și prin urmare numărul fasciculelor de particule accelerate disponibile.

Fluxurile de particule pulsate generate de către sistemul S care face obiectul invenției, produse simultan sau cu întârzieri variabile, pot avea intensități instantanee cumulate de valori foarte mari pe durate de ordinul picosecundelor, putând induce defecte multiple în sistemele sau componentele care urmează a fi testate. Datorită distribuției energetice diferite și a drumului diferit parcurs, defectele induse multiple pot fi obținute într-un interval de timp de ordinul zecilor sau sutelor de ps (dacă particulele sunt relativiste, diferențe de parcurs de ordinul a 10 cm conduc la dispersii temporale ale efectelor acestora de ordinul a 300 ps).

Se pot astfel induce mai multe defecte într-un interval de timp scurt care poate fi mai mic decât perioadele temporale specifice funcționării subsistemelor 1 supuse testelor, subsisteme care pot fi în funcțiune în momentul testării. În acest mod se pot testa programe specializate pentru corecția defectelor induse în structura fizică a subsistemului 1 de testat, în condiții de fluxuri instantanee pentru care probabilitatea de defecte simultane este mare. Se poate de asemenea testa capacitatea întregului sistem de a reveni la o bună funcționare după inducerea unor defecte multiple distribuite în anumite intervale de timp.

Așadar, utilizând sistemul și procedeul care constituie obiectul prezentei invenții se poate asigura, pe baza celor prezentate, testarea de componente, circuite și echipamente complexe în stare de funcționare sau nu, precum și a programelor specializate utilizate în industria spațială și în orice alt domeniu în care exploatarea acestora se face în condiții de radiații și fluxuri intense de particule accelerate, fluxuri care pot fi continue sau intermitente.

## REVENDICĂRI

1. Sistem (S) de testare pentru componente, circuite și echipamente complexe, precum și, dacă este cazul, pentru programele care controlează funcționarea acestora, **caracterizat prin aceea că**, într-o primă variantă constructivă, în care este testat efectul fluxurilor de particule asupra subsistemului (1) de testat, ecranat electromagnetic corespunzător și fixat pe suportul (2) care se poate roti, este format din cel puțin două acceleratoare laser-plasmă (3 și 4), separate și care generează niște fascicule (5 și 6) pulsate de particule accelerate de același tip sau de tipuri diferite, funcție de construcția acceleratoarelor laser-plasmă (3 și 4), la intrarea fiecăruia din cel puțin două acceleratoare (3 și 4) laser-particulă, aplicându-se pulsuri laser incidente provenind de la niște lasere (7) și respectiv (8) de mare putere, astfel încât suprafața expusă cel puțin celor două fascicule de particule (5 și 6) de către subsistemul (1) de testat să fie mai mare decât s-ar fi folosit un singur accelerator de particule laser-plasmă, un fascicul (9) laser generat de către laserul (7) de mare putere fiind dirijat de către o oglindă (11) către o oglindă (13) parabolică, care focalizează fasciculul (9) la intrarea acceleratorului (3) laser-plasmă și un alt fascicul (10) laser, generat de către laserul (8) de mare putere fiind dirijat de către o oglindă (12) către o oglindă (14) parabolică, care focalizează fasciculul (10) la intrarea acceleratorului (4), și **prin aceea că** mai conține instrumentele (27a, 27b, 27c, 27d, 27e) de măsură, în sine cunoscute cu ajutorul cărora se realizează calibrarea prin determinarea intensității, energiei, distribuției spațiale și naturii particulelor care compun fasciculele (5 și 6) de particule.

2. Sistem, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** cel puțin două fascicule (5 și 6) pulsate de particule sunt aplicate asupra aceleiași zone a subsistemului (1) de testat.

3. Sistem, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** declanșarea pulsurilor de ieșire pentru cele două lasere (7 și 8) de mare putere este comandată de către un modul (15) care generează niște semnale (15a și 15b) de comandă care sunt decalate în timp, permițând astfel aplicarea succesivă a unor pachete de particule asupra subsistemului (1) de testat, unor zone diferite ale acestuia.

4. Sistem, conform revendicării 3, **caracterizat prin aceea că** semnalele (15a și 15b) de comandă nu sunt decalate în timp.

5. Sistem, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** numărul de acceleratoare (3, 4) laser-plasmă se adaptează necesităților de testare și dimensiunilor sistemelor (1) de testat, în funcție de puterea și numărul laserelor (7 și 8).

6. Sistem de testare pentru componente, circuite și echipamente complexe **caracterizat prin aceea că**, într-o a doua variantă constructivă, în care este testat efectul fluxurilor de particule asupra subsistemului (1) de testat fixat pe suportul (2) care se poate roti, este format, din cel puțin două acceleratoare (3 și 4) laser-plasmă separate, în care pulsul laser incident pentru fiecare din cele două acceleratoare (3 și 4) laser-plasmă este furnizat de către un singur laser (16) de putere, fasciculul (17) de ieșire al acestuia fiind divizat de către un divizor (18) de fascicul, unul din fascicule (19) fiind dirijat cu ajutorul unor oglinzi (20, 21 și 11) către oglinda parabolică (13), aceasta focalizând fasciculul la intrarea acceleratorului (3) laser-plasmă, celălalt fascicul (22), după ce traversează o lamă (23) de compensare, fiind dirijat cu ajutorul oglinzilor (24, 25, 26 și 12) către oglinda parabolică (14), aceasta focalizând fasciculul la intrarea acceleratorului (4) laser-plasmă, astfel că, prin deplasarea ansamblului format din sistemul de oglinzi (24 și 25) se modifică drumul optic al pulsurilor laser incidente aplicate intrării acceleratorului (4) laser-plasmă care implicit va genera fluxurile (6) de particule accelerate cu o anumită întârziere față de acceleratorul (3) laser-plasmă care generează fluxurile (5) de particule accelerate și **prin aceea că**

mai conține instrumentele (27a, 27b, 27c, 27d, 27e) de măsură, în sine cunoscute cu ajutorul cărora se realizează calibrarea prin determinarea intensității, energiei, distribuției spațiale și naturii particulelor care compun fasciculele (5 și 6) de particule.

7. Sistem, conform revendicării 6, **caracterizat prin aceea că** fasciculele (5 și 6) pulsate de particule sunt aplicate asupra aceleiași zone a sistemului (1) de testat.

8. Sistem, conform revendicării 6, **caracterizat prin aceea că** fasciculele (5 și 6) pulsate de particule sunt aplicate unor zone diferite ale sistemului (1) de testat.

9. Procedeu de testare pentru componente, circuite și echipamente complexe, precum și, dacă este cazul, pentru programele care controlează funcționarea acestora, care folosește sistemul de testare de la revendicările 1 sau 6 **caracterizat prin aceea că**, pentru determinarea efectului unui flux extern de particule și radiații, având diverse energii, asupra caracteristicilor și parametrilor de funcționare, precum și, dacă este cazul, asupra programului care controlează funcționarea acestora, constă în:

- calibrarea sistemului prin determinarea intensității, energiei, distribuției spațiale și natura particulelor conținute de către fluxurile (5 și 6), pentru o intensitate dată a fasciculelor laser (9, 10 și 17), a configurației spațiale dată a acestora și a caracteristicilor date ale acceleratoarelor (3 și 4), care se realizează prin amplasarea instrumentelor (27a, 27b, 27c, 27d, 27e) de măsură în sine cunoscute, cu ajutorul cărora se determină parametrii menționați,

în diverse poziții din spațiu care fac parte din volumul ocupat ulterior de subsistemul (1) testat și pentru un anumit unghi de rotație al suportului 2;

- măsurarea parametrilor funcționali ai sistemului (1) care face obiectul testelor privind rezistența la fluxul de particule;

- îndepărtarea instrumentelor (27a, 27b, 27c, 27d, 27e) de măsură în locul acestora amplasându-se subsistemul (1) de testat;

- aplicarea fluxurilor de particule (5 și 6) asupra subsistemului (1) de testat, ecranat electromagnetic corespunzător, cu aceleași caracteristici pentru fasciculele (9, 10 și 17) laser, aceeași configurație spațială pentru acestea precum și aceleași caracteristici pentru acceleratoarele (3 și 4);

- măsurarea în timpul efectuării testelor, dacă este cazul, a parametrilor funcționali ai subsistemului (1) și compararea lor cu valorile măsurate inițial.

- măsurarea la sfârșitul testării a parametrilor funcționali ai subsistemului (1) și compararea lor cu valorile măsurate inițial.

10. Procedeu, conform revendicării 9, **caracterizat prin aceea că** operația de calibrare se poate realiza prin varierea intensității fasciculelor (9, 10 și 17) laser, a configurației spațiale a acestora și prin modificarea caracteristicilor acceleratoarelor (3 și 4), astfel încât intensitatea, energia, distribuția spațială și natura particulelor conținute de către fasciculele (5 și 6) să se încadreze în valorile necesare.

11. Procedeu, conform revendicării 9, **caracterizat prin aceea că** cele cel puțin două fascicule (5, 6) de particule accelerate se aplică simultan asupra componentei sau subsistemului (1) supus testelor.

12. Procedeu, conform revendicării 9, **caracterizat prin aceea că** cele cel puțin două fascicule (5, 6) de particule accelerate se aplică succesiv asupra componentei sau subsistemului (1) supus testelor, decalajul dintre acestea putând fi controlat de către operator.



DESENE EXPLICATIVE

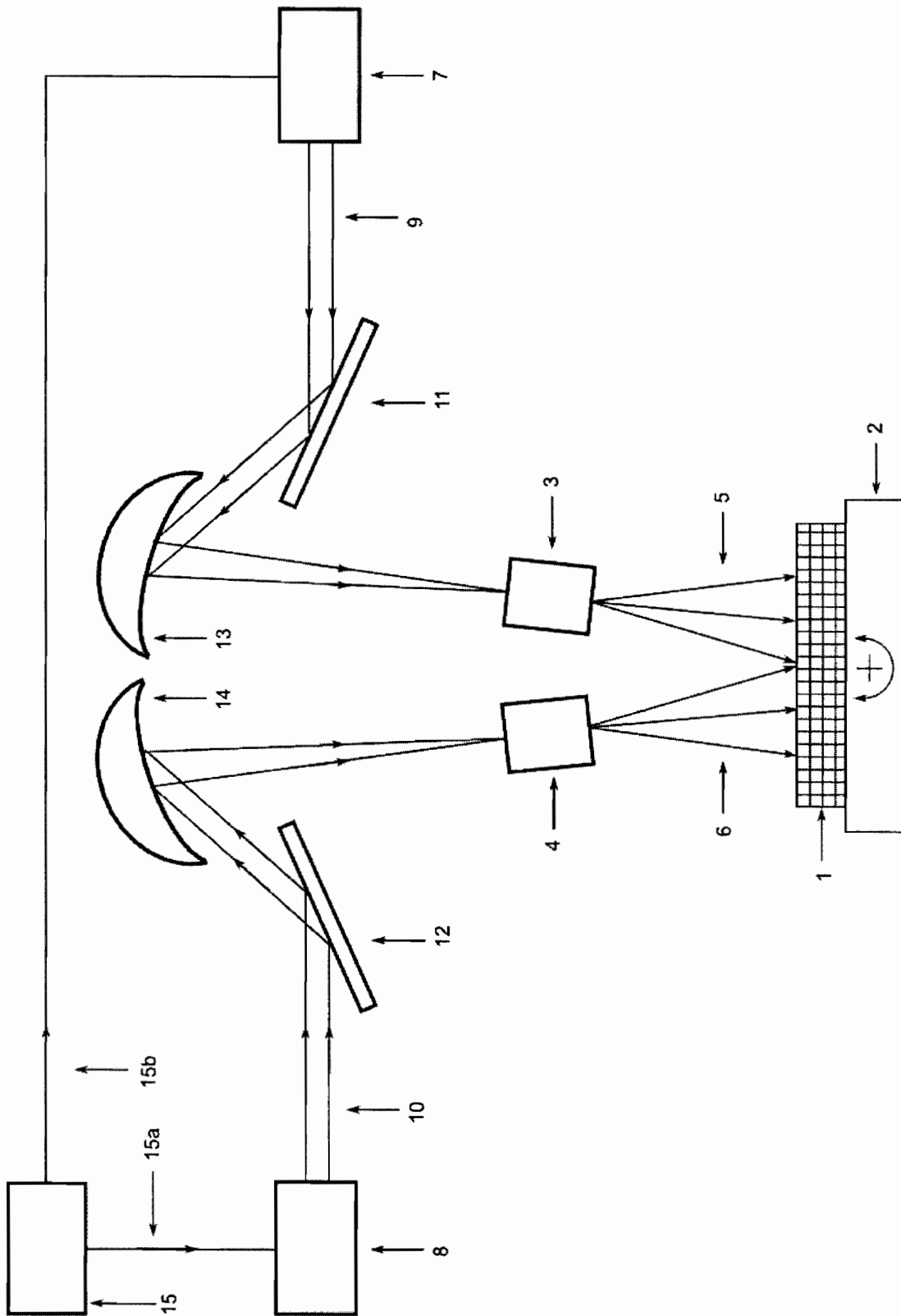


Figura 1

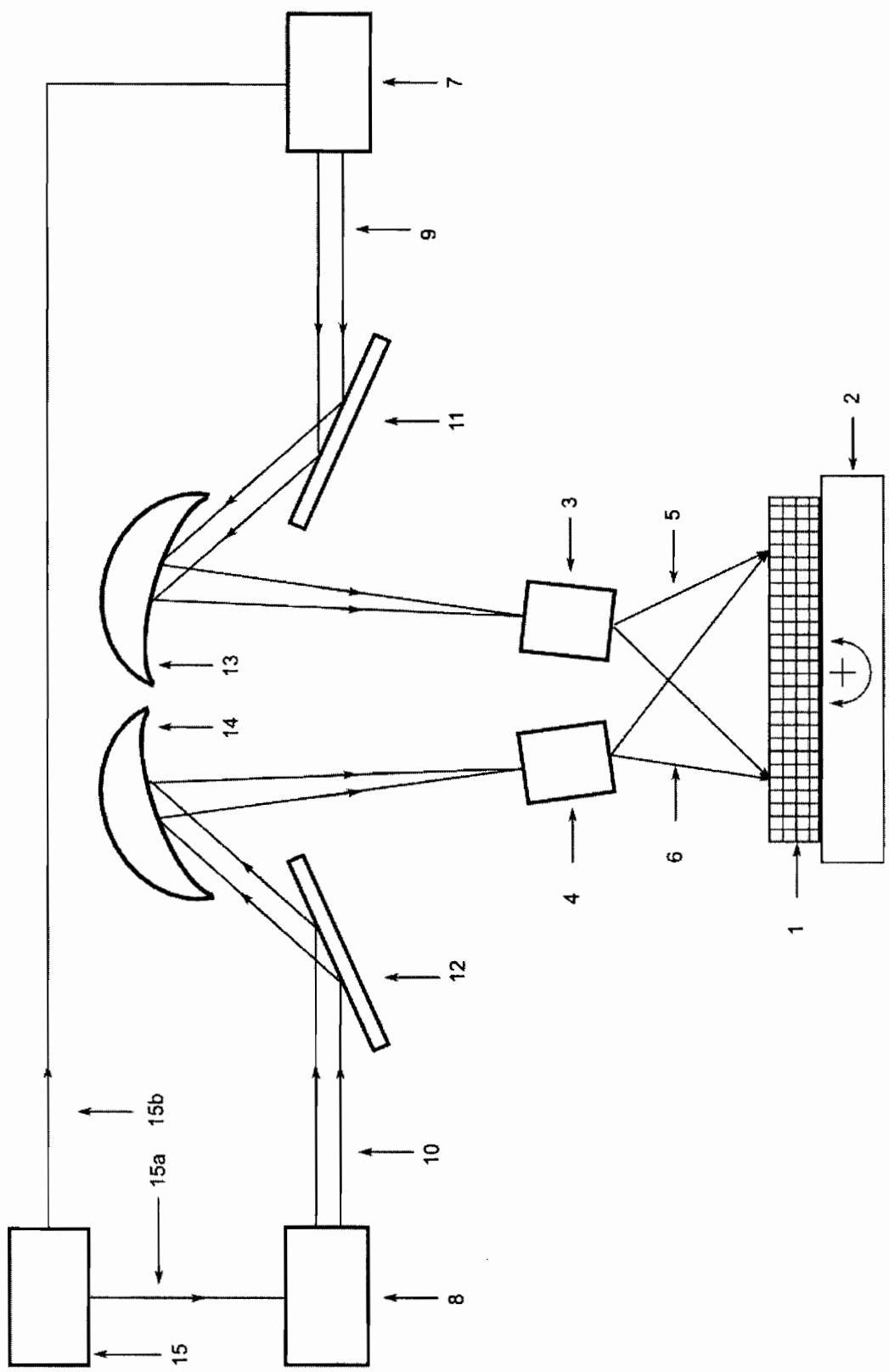


Figura 2

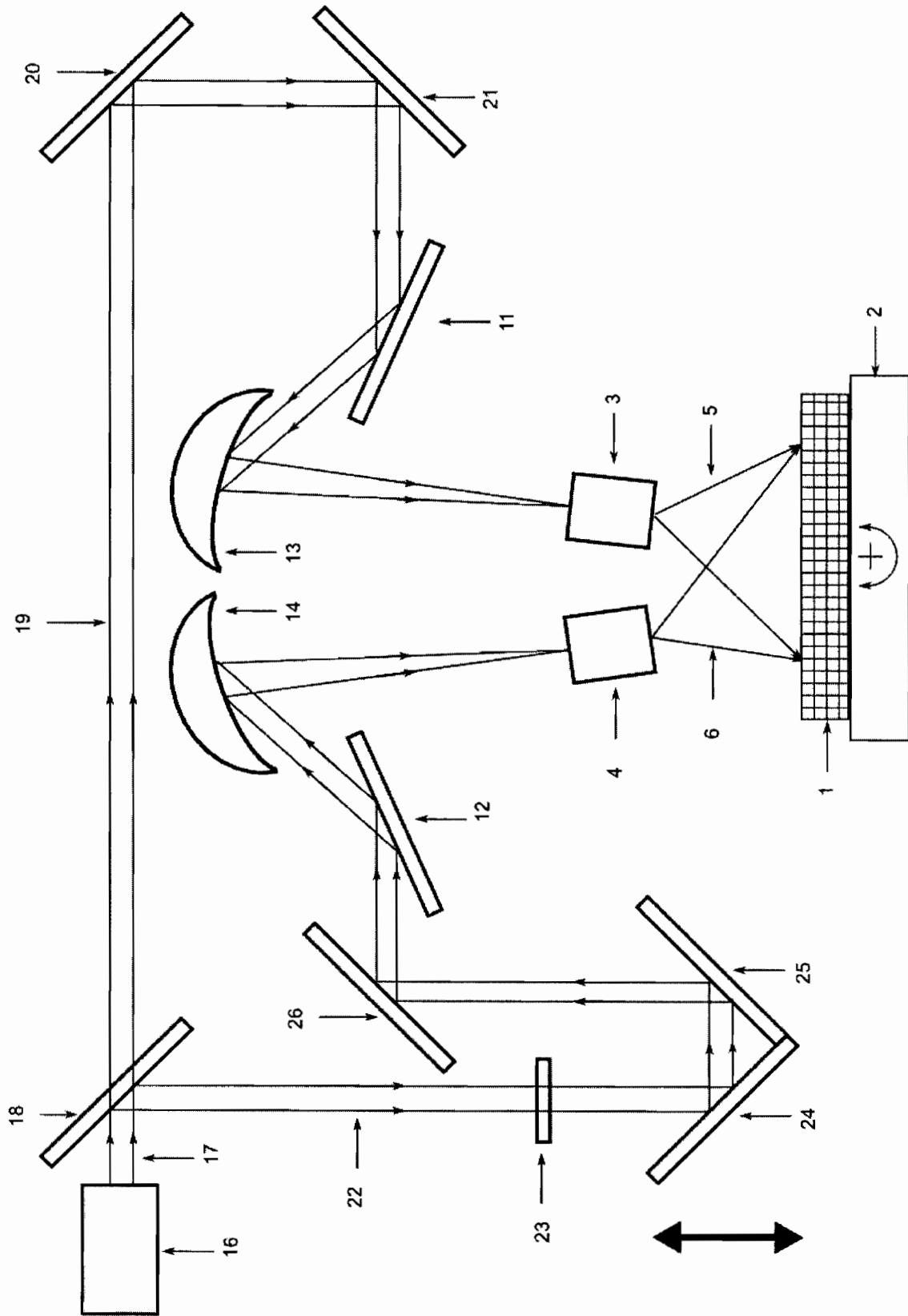


Figura 3

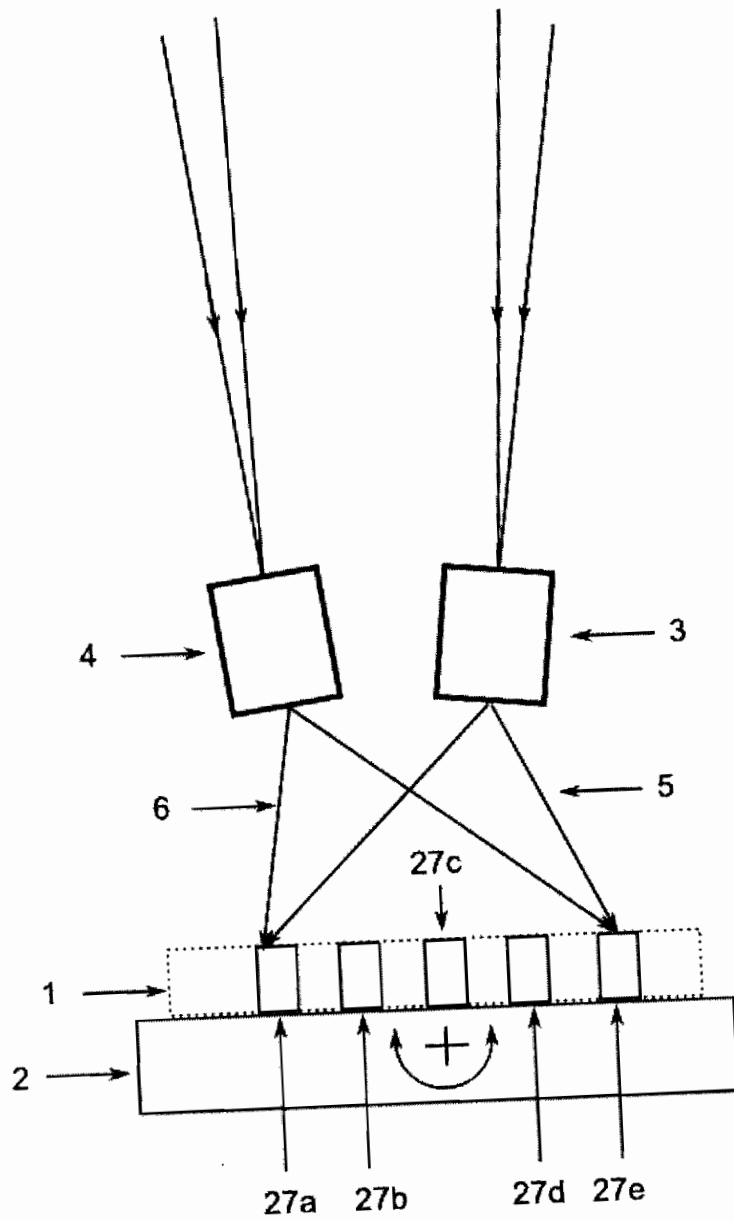


Figura 4

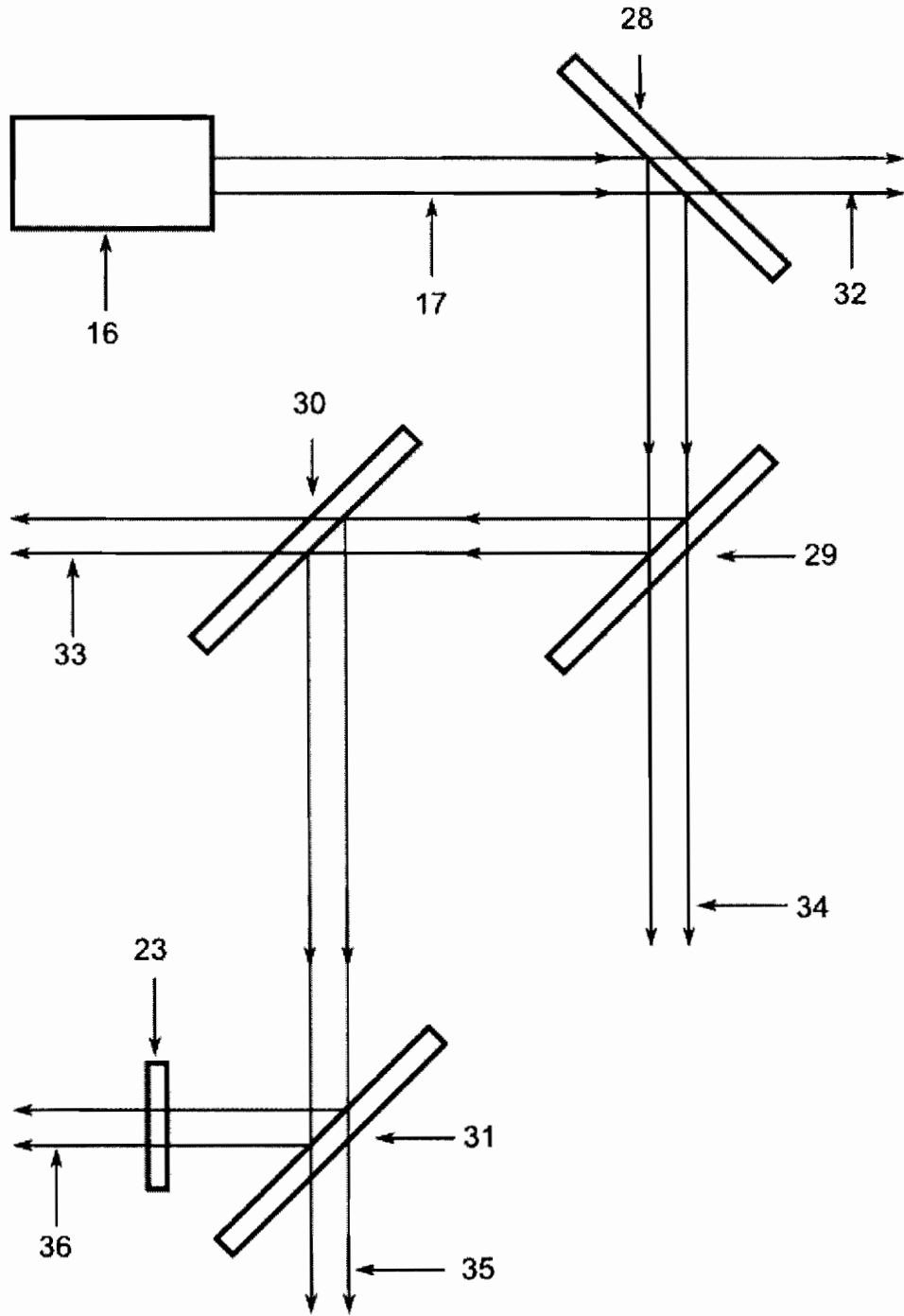


Figura 5