



(12)

## BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2017 00267**

(22) Data de depozit: **05/05/2017**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/10/2019** BOPI nr. **10/2019**

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

(73) Titular:  
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE  
ȘI DEZVOLTARE PENTRU FIZICĂ ȘI  
INGINERIE NUCLEARĂ "HORIA  
HULUBEI", STR. REACTORULUI NR.30,  
MĂGURELE, IF, RO**

(72) Inventatori:  
• **POPESCU DRAGOȘ CONSTANTIN,  
STR.MIHAI EMINESCU, NR.45, BL.A1,  
SC.A, AP.8, PIATRA NEAMȚ, NT, RO;**  
• **CERNĂIANU MIHAIL OCTAVIAN,  
STR.NICOLAE TITULESCU NR.42,  
CRAIOVA, DJ, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:  
**RU 2243610 C2; RO 93456**

(54) **METODĂ ȘI SISTEM DE POZIȚIONARE AUTOMATĂ  
A ELEMENTELOR PENTRU CONFIGURAȚIILE  
EXPERIMENTELOR CU LASERE DE MARE PUTERE**



# RO 132327 B1

1           Invenția se referă la un sistem și la o metodă de poziționare automată a țintelor,  
2 detectorilor și a altor elemente auxiliare ce intră în componența configurației experimentale  
3 pentru experimentele cu lasere de mare putere și rată de repetiție ridicată.

4           Sistemul și metoda utilizează metode optice relative de măsurare a poziției și  
5 orientării, fiind aplicabile în cazul configurațiilor ce suferă modificări structurale în timpul  
6 sesiunilor experimentale. Existența unui număr limitat de lasere de mare putere, cu rată de  
7 repetiție ridicată, impune o exploatare eficientă a acestora, în vederea obținerii unei  
8 disponibilități optime. Astfel, în marea majoritate a facilităților ce dețin astfel de sisteme, o  
9 multitudine de tipuri de experimente pot fi operate în aceeași zonă experimentală.

10           În ultimii ani, laserele de mare putere au cunoscut o continuă dezvoltare, ajungând  
11 în prezent la puteri de ordinul Petawaților, generând cu rată de repetiție ridicată (1Hz, 10Hz)  
12 pulsuri ultrascurte. Aceste sisteme au deschis calea explorării unor zone din fizica  
13 experimentală accesibile în trecut doar la nivel teoretic.

14           Interacționând cu materia, pulsurile laser ultra-intense (cu intensități de peste  
15  $10^{18}$  W/cm<sup>2</sup>) formează o plasmă și accelerează [Nat. Phys. 4(6), 447 (2008)] electroni și  
16 protoni [Phys. Rev. Lett. 84(4), 670 (2000)] [Phys. Rev. Lett. 85(14), 2945 (2000)] în  
17 regimuri relativiste de energie [Rev. Mod. Phys. 78(2), 309 (2006)].

18           În acest fel, o primă clasă de aplicații își propune studierea acestui fenomen și  
19 dezvoltarea domeniului fizicii plasmei în regimuri neliniare [Phys. Plasmas 9(5), 2214  
20 (2002)] [Rev. Sci. Instrum. 75(10), 3531 (2004)].

21           O a doua clasă de aplicații folosește fluxurile de ioni [Phys. Plasmas 7(5), 2076  
22 (2000)] [Phys. Rev. Lett. 92(17), 175003 (2004)] [Laser Part. Beams 24(2), 291-298  
23 (2006)], radiații X și Gamma generate [Phys. Rev. Lett. 84(5), 899 (2000)] pentru  
24 experimente de fizică nucleară, fuziune nucleară [Phys. Plasmas 1, 1626 (1994)] [Fusion  
25 Sci. Technol. 49, 297 (2006)] [Plasma Phys. Controlled Fusion 51(1), 014008 (2008)],  
26 generarea de armonici înalte [Nat. Photonics 6(12), 829 (2012)] [Nat. Photonics 7(8), 651  
27 (2013)] [Nat. Commun. 5, 3403 (2014)], tehnici medicale de tratare a cancerului [Med.  
28 Phys. 31, 1587 (2004)], radiografieră [Phys. Rev. Lett. 110(4), 044802 (2013)], experimente  
29 de astrofizică, generare de pozitroni [Phys. Rev. Lett. 102(10), 105001 (2009)] etc.

30           Marea majoritate a experimentelor cu lasere de mare putere sunt operate de la  
31 distanță, datorită următoarelor particularități:

32           - doza mare de radiație ionizantă produsă face ca experimentele să se desfășoare  
33 în buncăre special proiectate pentru a menține radiația în interior [Rom. Rep. Phys. 68,  
34 S885 (2016)].

35           - buncărele pot fi deschise doar după revenirea la valorile de radiație  
36 corespunzătoare normelor;

37           - interacțiunea laser - materie are loc în vid, din această cauză în buncăre sunt  
38 instalate camere de interacție metalice, vidate [Rom. Rep. Phys. 68, S37 (2016)];

39           - dimensiunea ridicată a camerelor de interacție, și necesitatea pompării unui volum  
40 ridicat de aer (de ordinul zecilor de m<sup>3</sup>) fac ca procesul de vidare - aerisire a acestora să  
41 dureze chiar și câteva ore.

42           În cazul experimentelor ce se realizează cu ținte solide, acestea sunt distruse după  
43 fiecare puls. Astfel, apare suplimentar necesitatea înlocuirii lor cu frecvența de operare a  
44 sistemului laser [J. Phys. Conf. Ser. 713, 012002 (2016)]. În marea majoritate a cazurilor,  
45 țintele solide sunt fabricate sub forma unor folii foarte subțiri (cu grosimi de ordinul nm-μm),  
46 din diverse materiale [Rep. Prog. Phys. 75, 056401 (2012)]. Pentru a facilita schimbarea lor  
47 rapidă, un număr ridicat (de ordinul zecilor - sutelor) de ținte de tip folie subțire sunt montate

# RO 132327 B1

Într-o ramă de susținere care este mișcată precis cu ajutorul unui manipulator de ținte operat de la distanță [D. Symes et al. CLF Annual Report (2013-2014)]. Pentru a crește considerabil numărul de trageri într-o sesiune, există posibilitatea stocării sub vid, în camera de interacție, a unui număr ridicat de rame de susținere [C. Spindloe et al. CLF Annual Report (2008-2009)], [J. S. Green et al. CLF Annual Report (2008-2009)]. În acest caz, este necesară schimbarea ramei după distrugerea tuturor țintelor acesteia.

Pentru obținerea de pulsuri ultra-intense, fasciculele laser sunt focalizate utilizând oglinzi parabolice cu distanță focală scurtă (de exemplu, F/2, F/1), unde dimensiunea spotului focal produs și a lungimii Rayleigh sunt de ordinul micronilor. Astfel, poziționarea și alinierea foarte precisă a țintei în spotul focal este o cerință necesară pentru realizarea acestor experimente.

Etapele derulate în timpul unei sesiuni experimentale în materie de inserare, aliniere și schimbare a țintelor solide sunt prezentate în fig. 1.

În scopul alinierii țintelor solide în spotul focal laser, sunt cunoscute sistemul și metoda prezentate în [D.C. Carroll et al. CLF Annual Report (2010-2011)], [PhysRevE 67, 46402 (2003)] și [Rev. Sci. Instrum. 73, 4176-4184 (2002)]. Sistemul este compus dintr-o sursă laser auxiliară, injectată în sistemul de transport al fasciculului prin transmisia unei oglinzi, cu scopul de a ilumina ținta. Lumina reflectată de pe țintă este preluată de oglinda parabolică și transmisă în sens invers, în lungul lanțului optic, către o cameră unde este formată o imagine. Acest sistem este prealiniat astfel încât imaginea formată pe cameră este focalizată doar atunci când ținta se află în poziția de referință dorită. Pentru a obține poziția de referință, oglinda parabolică este focalizată pe un pin metalic. Prealinierea sistemului de poziționare este realizată prin aducerea în focus a imaginii produse de reflexia de pe respectivul pin. După înlăturarea pin-ului metalic, poziționarea țintelor se realizează manual, prin vizualizarea imaginii de pe cameră.

Dezavantajele acestui sistem și acestei metode de aliniere constau în faptul că de fiecare dată când este modificată configurația experimentală (repoziționată oglinda parabolică, repoziționat manipulatorul de ținte, schimbată rama de ținte) întreaga procedură de prealiniere a camerei video și a laserului trebuie refăcută. De asemenea, cu ajutorul acestei metode nu poate fi reglată precis orientarea țintei. Procedura de aliniere a unei noi ținte este realizată manual, astfel, timpul necesar este ridicat (aproximativ 5 min), iar precizia de poziționare diferă în funcție de operator. În medie, acest sistem asigură o precizie de +/- 25 μm, ceea ce poate influența semnificativ intensitatea pulsului laser obținut.

În același scop mai sunt cunoscute sistemul și metoda prezentate în [D.C. Carroll et al. CLF Annual Report (2011-2012)], [Rev. Sci. Instrum. 86, 53303 (2015)] și [Nuci. Instr. Meth. Phys. Res. A 829, 363-366 (2016)]. Acest sistem este compus dintr-un microscop cu magnificare mare (50x), o cameră de imagistică și o sursă de lumină. Metoda de aliniere constă în poziționarea feței țintei în spotul focal laser cu ajutorul microscopului. Acesta este poziționat astfel încât spotul focal vizibil în imagine să aibă o dimensiune minimă. Ținta este adusă în planul focal al microscopului, astfel spatele țintei se va regăsi în spotul focal laser. În cazul țintelor foarte subțiri (de ordinul nm) se consideră că cele două fețe coincid. Pentru țintele mai groase (de ordinul μm) se realizează suplimentar o corecție a poziției cu grosimea țintei. Acest sistem a fost ulterior îmbunătățit, fiind adăugată o cameră suplimentară, utilizată pentru reglarea precisă a orientării țintei [N. Booth et al. CLF Annual Report (2012-2013)] și [T. Anderson et al. CLF Annual Report (2013-2014)].

# RO 132327 B1

1 Dezavantajul major al acestui sistem și al acestei metode de aliniere este timpul  
ridicat necesar poziționării unei ținte (aproximativ 15-20 min), datorat faptului că procedura  
3 este realizată manual. De asemenea, prealinierea ramei de susținere a țintelor în planul focal  
al microscopului este o procedură manuală laborioasă, ce trebuie realizată la începutul  
5 fiecărei sesiuni experimentale.

Este, de asemenea, cunoscută o versiune îmbunătățită a acestui sistem și a acestei  
7 metode prezentată în [D.R. Symes et al. CLF Annual Report (2014-2015)], în care a fost  
adăugat un obiectiv suplimentar cu magnificare mai redusă (10x), cu scopul de a accelera  
9 procedura de aliniere. Astfel, în locul alinierii realizate la fiecare schimbare a țintelor, întreaga  
ramă de susținere este scanată la începutul sesiunii, într-un timp de aproximativ 20 min. În  
11 timpul experimentului, trecerea de la o țintă la alta este realizată în mai puțin de 1 min,  
utilizând pozițiile predeterminate.

13 Dezavantajul acestui sistem și al acestei metode constă în necesitatea procedurii de  
prealiniere și scanare de la începutul sesiunii experimentale.

15 În același scop mai sunt cunoscute sistemul și metoda prezentate în [Proc. SPIE  
8850, 885002 (2013)] și [Proc. SPIE 9211, 921107 (2014)], bazate pe interferometrie.  
17 Sistemul este compus dintr-o sursă laser cu trei lungimi de undă diferite, un interferometru  
Mach-Zehnder și o cameră de imagistică. Poziția țintei pentru care aceasta se află în spotul  
19 focal laser este determinată printr-o procedură de prealiniere, realizată la începutul sesiunii  
experimentale. Imaginea de interferență produsă de ținta aflată în această poziție este  
21 memorată drept imagine de referință. O nouă țintă este poziționată astfel încât imaginea de  
interferență produsă de aceasta să coincidă cu cea de referință. Această soluție asigură o  
23 precizie de aliniere a țintei de sub 1 μm.

Dezavantajul acestui sistem și al acestei metode de aliniere reprezintă timpul ridicat  
25 necesar pentru prealinierea interferometrului și a țintei, și stabilirea poziției de referință.

Se cunosc, de asemenea, sistemul și metoda de aliniere cu fascicule laser de  
27 referință prezentate în [Fusion Sci. Technol. 51.4, 795-799 (2007)] și [Feier, I. et al. eConf  
C971013 (1997) 047 IWAA-1997-047]. Acest sistem este compus dintr-o bandă cu plăci  
29 purtătoare, pe care ținta este fixată cu ajutorul unor fibre, și în care sunt prelucrate trei găuri  
după axe ortogonale, trei surse laser și trei camere de imagistică. Procedura de aliniere  
31 constă în monitorizarea celor trei imagini de difracție produse de sursele laser prin găuri, și  
poziționarea plăcii purtătoare astfel încât acestea să coincidă cu imaginile de referință.

33 Dezavantajele acestui sistem și ale acestei metode de aliniere sunt:

- 35 - precizia unghiulară scăzută de aliniere (de ordinul gradelor);
- 37 - configurația experimentală este una fixă, în care poziția relativă a tuturor  
elementelor (surse laser, camere, placa purtătoare) nu se modifică;
- 39 - pentru utilizarea metodei în configurații cu structură variabilă, este necesară o  
procedură laborioasă de prealiniere a elementelor componente.

41 În scopul poziționării manipuloarelor utilizând informații vizuale, sunt cunoscute  
sistemul și metoda prezentate în [DOI: 10.1109/IROS.2014.6942640]. Sistemul este compus  
dintr-un manipulator robotic și un sistem de camere video stereoscopice. Metoda se bazează  
43 pe determinarea corelației între mișcările realizate de manipulator și efectul produs de  
acestea în imaginile sistemului stereoscopic.

Dezavantajul acestui sistem și al acestei metode constă în necesitatea cunoașterii  
45 modelului cinematic al manipulatorului robotic, ceea ce reprezintă un important inconvenient  
atunci când structura acestuia suferă modificări frecvente. De asemenea, necesitatea  
47 utilizării unui sistem video stereoscopic face ca sistemul să nu fie funcțional atunci când una  
dintre camere pierde contactul vizual.

# RO 132327 B1

Problema pe care o rezolvă invenția este prealinierea automată a unor elemente din configurația experimentală cu lasere de mare putere, fără intervenția operatorului uman în poziționarea elementelor.	1
Poziționarea este realizată relativ la alte elemente, fără a avea nevoie de un sistem absolut de coordonate, și de o structură fixă a configurației experimentale.	3
Sistemul pentru aplicarea metodei de poziționare automată a elementelor pentru configurațiile experimentelor cu lasere de mare putere, conform invenției, elimină dezavantajele menționate mai sus, fiind alcătuit din: unitatea centrală de control, manipulatorul motorizat cu $n$ grade de libertate, ce poziționează un anumit element al configurației experimentale, un set de $m$ sisteme de măsurare optică a poziției, și orientării relative a unor puncte de reper, un punct de reper atașat elementului ce trebuie poziționat, și un punct de reper de referință, relativ la care este considerată poziția, și orientarea virtuală de referință, unde trebuie poziționat elementul.	5
Metoda de poziționare automată a elementelor pentru configurațiile experimentelor cu lasere de mare putere, conform invenției, presupune efectuarea următoarelor etape:	7
- determinarea poziției și orientarea relativă a punctului de reper atașat elementului ce trebuie poziționat, cu ajutorul celor $m$ sisteme de măsurare optică;	9
- determinarea poziției și orientarea relativă a punctului de reper de referință, cu ajutorul celor $m$ sisteme de măsurare optică;	11
- calcularea poziției și orientării virtuale de referință, unde trebuie poziționat elementul, relativ la poziția punctului de reper de referință;	13
- transformarea în vectori de translație și unghiuri Euler a celor $m$ poziții relative ale punctului de reper atașat elementului ce trebuie poziționat, precum și a celor $m$ poziții virtuale de referință;	15
- calcularea celor $m$ distanțe euclidiene de translație, și a celor $m$ de rotație, pe baza transformărilor din etapa precedentă.	17
Prin aplicarea invenției se obțin următoarele avantaje:	19
- elemente ce intră în componența configurației experimentale (ținte, detectori, alte elemente) sunt prealinate rapid, printr-o procedură automată;	21
- fiind o procedură automată, precizia de poziționare nu va depinde de abilitatea operatorului uman;	23
- sistemul de poziționare este robust la pierderea contactului vizual cu punctele de reper de către sistemele de măsurare optică;	25
- folosit în cazul configurațiilor experimentale complexe, unde accesul este limitat/restricționat, sistemul permite alinierea de la distanță;	27
- se reduce considerabil timpul de inițiere a unei sesiuni experimentale, deoarece alinierea poate fi făcută direct în vid, eliminând necesitatea unei alinieri prealabile în aer;	29
- sistemul oferă informații vizuale despre poziție, fiind robust în cazul în care encoderele manipuletoarelor motorizate se defectează din cauza pulsului electromagnetic produs în timpul experimentului [ <b>PhysRevE 91(4), 043106 (2015)</b> ];	31
- sistemul oferă informații vizuale necesare pentru prevenirea coliziunilor între elementele configurației experimentale;	33
- modificarea poziției sistemelor de măsurare optică nu afectează funcționarea sistemului de poziționare;	35
- prealinierea este realizată automat, fără a mai fi nevoie de o procedură de calibrare și prealiniere manuală pentru cazurile în care:	37
- nu există sau nu poate fi definit un sistem de coordonate absolut pentru toată configurația experimentală;	39
	41
	43
	45
	47

# RO 132327 B1

- 1 - se modifică poziția și structura configurației experimentale  
(a manipuletoarelor motorizate, a echipamentelor sau a punctelor de reper);  
3 - nu există un model cinematic al manipuletoarelor motorizate;  
- se modifică structura cinematică a manipuletoarelor;

5 - folosită în cadrul etapelor de aliniere în vid (fig. 1), și cuplată în cadrul celorlalte etape cu metode de aliniere fină, precum cele prezentate în stadiul tehnicii, se obține o procedură automată de poziționare rapidă cu precizie la nivel de micron pentru țintele solide, în experimentele cu lasere de mare putere și frecvență de repetiție ridicată.

9 Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției în legătură cu fig. 2...7, ce reprezintă:

11 - fig. 2, vedere generală a sistemului de poziționare automată a elementelor pentru configurațiile experimentelor cu lasere de mare putere;

13 - fig. 3, vedere de ansamblu asupra configurației experimentale;

15 - fig. 4, vedere de detaliu a procedurii de prealiniere a microscopului, pentru vizualizarea spotului focal laser;

17 - fig. 5, vedere de detaliu a procedurii de inserare a unei noi rame cu ținte, și preluarea acesteia de manipulatorul motorizat pentru ținte;

19 - fig. 6, vedere de detaliu a procedurii de prealiniere a țintei în planul focal al microscopului;

21 - fig. 7, vedere de detaliu a procedurii de prealiniere a unui detector într-o poziție optimă relativ la țintă.

23 Sistemul de poziționare automată a elementelor pentru configurațiile experimentelor cu lasere de mare putere, conform fig. 2, este alcătuit din: unitatea **1** centrală de control, un manipulator **2'** motorizat cu  $n$  grade de libertate, ce poziționează un anumit element al configurației experimentale, un set **5'** de  $m$  sisteme de măsurare optică a poziției și orientării relative a unor puncte **3'** de reper, un punct **3'** de reper, atașat elementului ce trebuie poziționat, și un punct **4'** de reper de referință, relativ la care este considerată poziția și orientarea virtuală de referință unde trebuie poziționat elementul.

29 Pentru configurațiile experimentale în experimentele cu lasere de mare putere, sistemul și metoda de poziționare automată pot fi folosite în cadrul următoarelor proceduri:

31 - poziționarea microscopului pentru vizualizarea spotului focal;

33 - poziționarea manipulatorului de ținte în poziția de preluare sau de schimb a ramei cu ținte, de la brațul sistemului de inserare de ținte;

35 - poziționarea ramei de ținte cu ajutorul manipulatorului de ținte în planul focal al microscopului;

- poziționarea unui detector într-o poziție relativă la rama de ținte.

37 Un exemplu de configurație experimentală într-un experiment cu laser de mare putere și rată de repetiție ridicată este prezentat în fig. 3, în care se regăsesc următoarele elemente:

39 - **1** - unitate centrală de control;

- **2** - sistem de inserare de ținte;

41 - **3** - rame cu ținte stocate în vid;

- **4** - flanșa de intrare a fasciculului laser în camera de interacție vidată;

43 - **5** - punct de reper atașat flanșei;

- **6** - oglindă parabolică;

45 - **7** - punct de reper atașat oglinzii;

- **8** - sistem de poziționare cu 6 axe pentru oglinda parabolică;

47 - **9** - braț sistem de inserare de ținte;

# RO 132327 B1

- <b>10</b> - punct de reper atașat brațului	1
- <b>11</b> - ramă cu ținte preluată de braț;	
- <b>12</b> - manipulator ținte cu 5 axe de mișcare;	3
- <b>13</b> - punct de reper atașat manipulatorului;	
- <b>14</b> - ramă cu ținte fixată în manipulator;	5
- <b>15</b> - punct de reper atașat ramei cu ținte;	
- <b>16</b> - manipulator microscop cu 3 axe de mișcare;	7
- <b>17</b> - microscop de aliniere;	
- <b>18</b> - punct de reper atașat microscopului;	9
- <b>19</b> - manipulator detector cu 3 axe de mișcare;	
- <b>20</b> - detector;	11
- <b>21</b> - punct de reper atașat detectorului;	
- <b>22</b> - camere video;	13
- <b>23</b> - cameră de interacție;	
- <b>24</b> - interfață de comunicație și sincronizare între unitatea centrală de control și sistemul de inserare de ținte.	15
În fig. 4 este prezentată procedura de poziționare a microscopului pentru vizualizarea spotului focal laser, necesară optimizării acestuia. Fasciculul laser pătrunde în camera de interacție <b>23</b> prin flanșa de intrare <b>4</b> , și este focalizat cu ajutorul oglinzii parabolice <b>6</b> , care este poziționată cu ajutorul unui sistem de manipulare cu 6 axe de mișcare <b>8</b> . Optimizarea spotului focal se realizează prin monitorizarea imaginii de pe microscop <b>17</b> și ajustarea fină a poziției oglinzii parabolice. Poziționarea microscopului se realizează cu ajutorul unui manipulator cu 3 axe <b>16</b> . Conform etapelor metodei de poziționare automată, poziția și orientarea virtuală de referință, unde trebuie poziționat microscopul, este calculată pe baza poziției punctelor de reper de referință atașate flanșei de intrare <b>5</b> și oglinzii parabolice <b>7</b> . Pentru aceasta, este luată în considerare poziția relativă (fixată constructiv) dintre punctul de reper atașat microscopului <b>18</b> și zona centrală a planului focal al acestuia. Algoritmul de poziționare automată este implementat în unitatea centrală de control <b>1</b> care transmite comenzi către manipulatorul microscopului. Erorile, definite conform invenției, sunt determinate cu ajutorul celor două camere video <b>22</b> pentru poziția punctului de reper atașat microscopului, și pentru poziția virtuală de referință definită.	17
În fig. 5 este prezentată procedura de inserare sau de extragere a unei rame cu ținte. Această procedură este necesară pentru înlocuirea ramei atunci când toate țintele acesteia au fost distruse. Sistemul de inserare de ținte <b>2</b> stochează în vid mai multe rame <b>3</b> ce sunt preluate și introduse sau extrase din camera de interacție <b>23</b> cu ajutorul unui braț robotic <b>9</b> . Rama <b>14</b> este inserată sau extrasă din manipulatorul de ținte <b>12</b> . Pentru a putea realiza schimbul ramei, brațul sistemului de inserare trebuie adus în poziția de extindere maximă, iar manipulatorul trebuie adus într-o poziție precisă relativ la acesta. Conform etapelor metodei de poziționare automată, poziția și orientarea virtuală de referință unde trebuie poziționat manipulatorul este calculată pe baza poziției punctului de reper atașat brațului <b>10</b> sau a punctului de reper atașat ramei <b>15</b> . Algoritmul de poziționare automată este implementat în unitatea centrală de control <b>1</b> , care transmite comenzi către manipulatorul de ținte. Pentru a facilita sincronizarea dintre manipulatorul de ținte și sistemul de inserare, unitatea centrală de control comunică apoi cu sistemul de inserare prin interfața <b>24</b> . Erorile, definite conform invenției, sunt determinate cu ajutorul celor două camere video <b>22</b> pentru poziția punctului de reper atașat manipulatorului <b>13</b> , și pentru poziția virtuală de referință definită.	19
	21
	23
	25
	27
	29
	31
	33
	35
	37
	39
	41
	43
	45

# RO 132327 B1

1 În fig. 6 este prezentată procedura de prealinieră a țintei în planul focal al  
microscopului. Această procedură este o etapă premergătoare etapei de aliniere fină a țintei,  
3 conform fig. 1, ce este realizată cu ajutorul metodelor prezente în stadiul tehnicii. Poziția  
microscopului **17** este fixată ca urmare a etapei anterioare de optimizare a spotului focal;  
5 astfel, poziționarea se realizează pentru rama de ținte **14** cu ajutorul propriului manipulator  
**12**. Conform etapelor metodei de poziționare automată, poziția și orientarea virtuală de  
7 referință, unde trebuie poziționată rama, sunt calculate pe baza poziției punctului de reper  
atașat microscopului **18**. Pentru aceasta este luată în considerare poziția relativă (fixată  
9 constructiv) dintre punctul de reper atașat microscopului și zona centrală a planului focal,  
unde a fost plasat anterior spotul focal laser. Algoritmul de poziționare automată este  
11 implementat în unitatea centrală de control **1**, care transmite comenzi către manipulatorul  
ramei cu ținte. Erorile, definite conform invenției, sunt determinate cu ajutorul celor două  
13 camere video **22** pentru poziția punctului de reper atașat ramei, și pentru poziția virtuală de  
referință definită.

15 În fig. 7 este prezentată procedura de prealinieră a unui detector într-o poziție relativă  
la țintă. Componenta de detecție joacă un rol foarte important, fiind mijlocul prin care sunt  
17 extrase rezultatele științifice ale unui experiment. În funcție de tipul și scopul unui detector,  
acesta trebuie aliniat într-o poziție și orientare bine determinate relativ la volumul unde are  
19 loc fenomenul fizic urmărit (interacțiunea radiație laser - materie solidă), pentru ca detecția  
să se realizeze optim și eficient. Poziția ramei cu ținte **14** este fixată ca urmare a etapei  
21 anterioare de aliniere în spotul focal laser, astfel poziționarea se realizează pentru detector  
**20** cu ajutorul propriului manipulator **19**. Conform etapelor metodei de poziționare automată,  
23 poziția și orientarea virtuală de referință, unde trebuie poziționat detectorul, sunt calculate  
pe baza poziției punctului de reper atașat ramei **15** în conformitate cu tipul de detector folosit.  
25 Algoritmul de poziționare automată este implementat în unitatea centrală de control **1** care  
transmite comenzi către manipulatorul detectorului. Erorile, definite conform invenției, sunt  
27 determinate cu ajutorul celor două camere video **22** pentru poziția punctului de reper atașat  
detectorului, și pentru poziția virtuală de referință definită.

29 Fiecare dintre cele  $m$  sisteme de măsurare optică determină în propriul sistem de  
coordonate poziția și orientarea celor două puncte de reper. Pe baza acestora sunt calculate  
31 distanțele euclidiene (de translație și rotație) între punctul de reper atașat elementului ce  
trebuie poziționat, și poziția și orientarea de referință virtuală, calculată relativ la celălalt  
33 punct de reper. În cazul în care unul sau mai multe sisteme de măsurare pierd contactul  
vizual cu punctele de reper, sistemul de poziționare rămâne funcțional atât timp cât cel puțin  
35 un sistem de măsurare este activ. Metoda de poziționare automată se bazează pe aplicarea  
unei proceduri de optimizare în timp real, prin care unitatea centrală de control transmite  
37 comenzi către manipulatorul motorizat, cu scopul de a minimiza distanțele euclidiene. Poziția  
și orientarea unui punct de reper, determinate de un sistem de măsurare optică în propriul  
39 sistem de coordonate, este cuantificată printr-o transformare tridimensională de coordonate  
între sistemul de coordonate atașat sistemului de măsurare, și sistemului de coordonate  
41 atașat punctului de reper. Un exemplu uzual de astfel de transformare este Transformarea  
Omogenă, ce conține un vector de translație (coordonatele tridimensionale ale originii celui  
43 de-al doilea sistem, exprimate în primul sistem de coordonate) și o matrice de rotație  
(coordonatele tridimensionale ale versorilor celui de-al doilea sistem, exprimate în primul  
45 sistem de coordonate):

$$47 \quad T = \begin{bmatrix} R & t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad - \quad \text{matrice omogenă}$$

49 unde  $R \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$  - matrice de rotație  
și  $t \in \mathbb{R}^3$  - vector de translație.



# RO 132327 B1

Metoda de poziționare automată a elementelor pentru configurațiile experimentelor cu lasere de mare putere, conform invenției, constă în următoarele etape de bază:	1
E1. Cele m sisteme de măsurare optică determină poziția și orientarea relativă a punctului de reper atașat elementului ce trebuie poziționat:	3
$T^1, T^2, \dots, T^m$	5
E2. Cele m sisteme de măsurare optică determină poziția și orientarea relativă a punctului de reper de referință:	7
$T_r^1, T_r^2, \dots, T_r^m$	
E3. Relativ la $T_r^1, T_r^2, \dots, T_r^m$ se calculează poziția și orientarea virtuală de referință, unde trebuie poziționat elementul.	9
Spre exemplu, dacă se folosesc transformări omogene și se dorește ca poziția virtuală de referință să fie la 10 cm translatat pe axa Z în fața punctului de reper de referință, toate transformările $T_r^1, T_r^2, \dots, T_r^m$ vor fi înmulțite cu transformarea omogenă:	11
	13
$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	15
	17
	19
Astfel se obțin pozițiile și orientările virtuale relative de referință:	21
$T_{Ref}^1, T_{Ref}^2, \dots, T_{Ref}^m$	
E4. Cele m poziții relative a markerului fiducial atașat elementului ce trebuie poziționat, și cele m poziții virtuale de referință sunt transformate în vectori de translație și unghiuri Euler. Astfel se obțin:	23
	25
$t^1, t^2, \dots, t^m$ și $t_{Ref}^1, t_{Ref}^2, \dots, t_{Ref}^m$ - vectori de translație	
$\varepsilon^1, \varepsilon^2, \dots, \varepsilon^m$ și $\varepsilon_{Ref}^1, \varepsilon_{Ref}^2, \dots, \varepsilon_{Ref}^m$ - unghiuri Euler.	27
E5. Pe baza acestora se calculează cele m distanțe euclidiene de translație și cele m de rotație.	29
Aceste etape sunt utilizate în cadrul procedurii de optimizare în timp real, în care distanțele euclidiene sunt denumite erori. Astfel, scopul acestei proceduri este de a minimiza erorile, aplicând comenzi manipulatorului pentru care nu se cunosc structura și modelul cinematic.	31
	33
Metode de optimizare în timp real pentru procese pentru care nu se cunoaște modelul matematic includ, fără a se limita la, Algoritmi Genetici, Algoritmi de optimizare de inspirație biologică, Algoritmi numerici de optimizare pe bază de gradient (Algoritm de coborâre pe antigradient, Algoritm Gauss-Newton), cu estimarea gradientului în timp real [DOI: 10.1016/b978-0-444-53711-9.50122-x].	35
	37
Sistemele de măsurare optică a poziției și orientării relative includ, fără a se limita la, telemetre absolute cu laser, camere cu infraroșu de capturare a mișcării, sisteme de realitate augmentată (compuse din camere de imagistică, algoritmi de detecție și marcaje de reper specifice) [Pattern Recognit. 47(6), 2280-2292 (2014)], [Pattern Recognit. 51, 481-491 (2016)], tehnici bazate pe moire [US 5052807], [US 8625107].	39
	41
	43

# RO 132327 B1

## Revendicări

1  
3  
5  
7  
9  
11  
13  
15  
17  
19  
21  
23  
25  
27  
29  
31  
33  
35  
37  
39  
41

1. Sistem de poziționare automată a elementelor, pentru configurațiile experimentelor cu lasere de mare putere, **caracterizat prin aceea că** este compus dintr-o unitate (1) centrală de control, un manipulator (2', 12, 16, 19) motorizat cu n grade de libertate, ce poziționează un anumit element (14, 17, 20) al configurației experimentale, un set (5', 22) de m sisteme de măsurare optică a poziției și orientării relative a unor puncte (3', 4', 5, 7, 10, 13, 15, 18, 21) de reper, un punct (3', 13, 15, 18, 21) de reper atașat unui element (14, 17, 20) ce trebuie poziționat, și un punct (4', 5, 7, 10, 15, 18) de reper de referință, relativ la care este considerată poziția virtuală de referință, unde trebuie poziționat elementul.

2. Sistem de poziționare automată, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** unitatea (1) centrală de control transmite comenzi către manipuloare (2', 12, 16, 19) motorizate, pentru care nu se cunoaște modelul cinematic, cu scopul de a minimiza un set de erori în cadrul unei proceduri de optimizare în timp real.

3. Metodă de poziționare automată a elementelor pentru configurațiile experimentelor cu lasere de mare putere, **caracterizată prin aceea că** presupune efectuarea următoarelor etape:

- determinarea poziției și orientarea relativă a punctului (3', 13, 15, 18, 21) de reper atașat elementului (14, 17, 21) ce trebuie poziționat cu ajutorul celor m sisteme (5', 22) de măsurare optică;

- determinarea poziției și orientarea relativă a punctului (4', 5, 7, 10, 15, 18) de reper de referință, cu ajutorul celor m sisteme (5', 22) de măsurare optică;

- calcularea poziției și orientării virtuale de referință, unde trebuie poziționat elementul, relativ la poziția punctului de reper de referință;

- transformarea în vectori de translație și unghiuri Euler a celor m poziții relative ale punctului (3', 13, 15, 18, 21) de reper atașat elementului (14, 17, 20) ce trebuie poziționat, precum și a celor m poziții virtuale de referință;

- calcularea celor m distanțe euclidiene de translație, și a celor m de rotație, pe baza transformărilor din etapa precedentă.

4. Metodă de poziționare automată, conform revendicării 3, **caracterizată prin aceea că** determinarea poziției și orientării se face cu ajutorul informațiilor primite de la sistemele optice de măsurare relativă, fiind transmise comenzi către manipuloare motorizate și către sistemul de inserare de ținte, prin interfețe de comunicație existente.

5. Metodă de poziționare automată, conform revendicării 3, **caracterizată prin aceea că** erorile sunt definite ca distanțele euclidiene, de translație și de rotație, între poziția și orientarea punctului (3', 13, 15, 18, 21) de reper atașat elementului (14, 17, 20) ce trebuie poziționat, și poziția și orientarea virtuală de referință, în raport cu cele m sisteme de măsurare optică.

6. Metodă de poziționare automată, conform revendicării 3, **caracterizată prin aceea că** poziția și orientarea virtuală de referință sunt definite relativ la pozițiile și orientările unuia sau mai multor puncte (4', 5, 7, 10, 15, 18) de reper de referință.

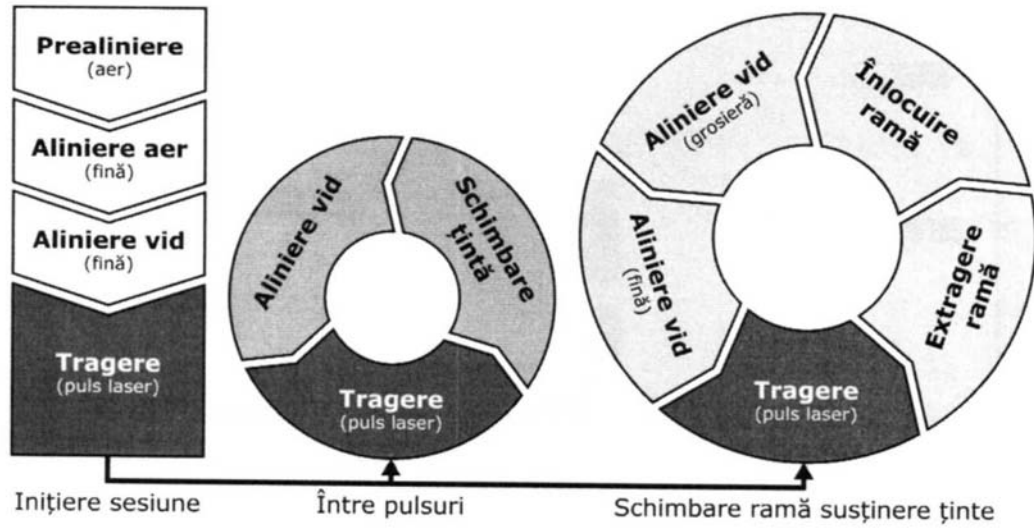


Fig. 1

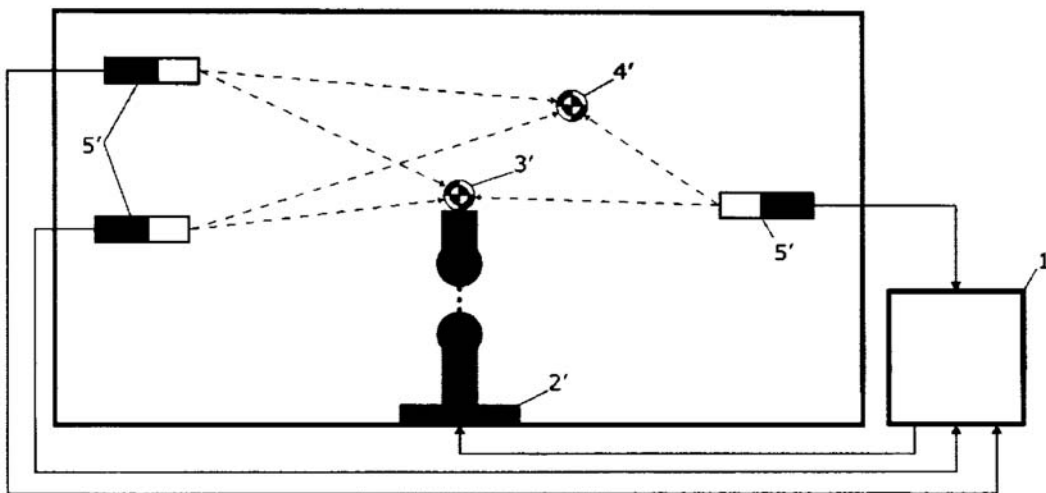


Fig. 2

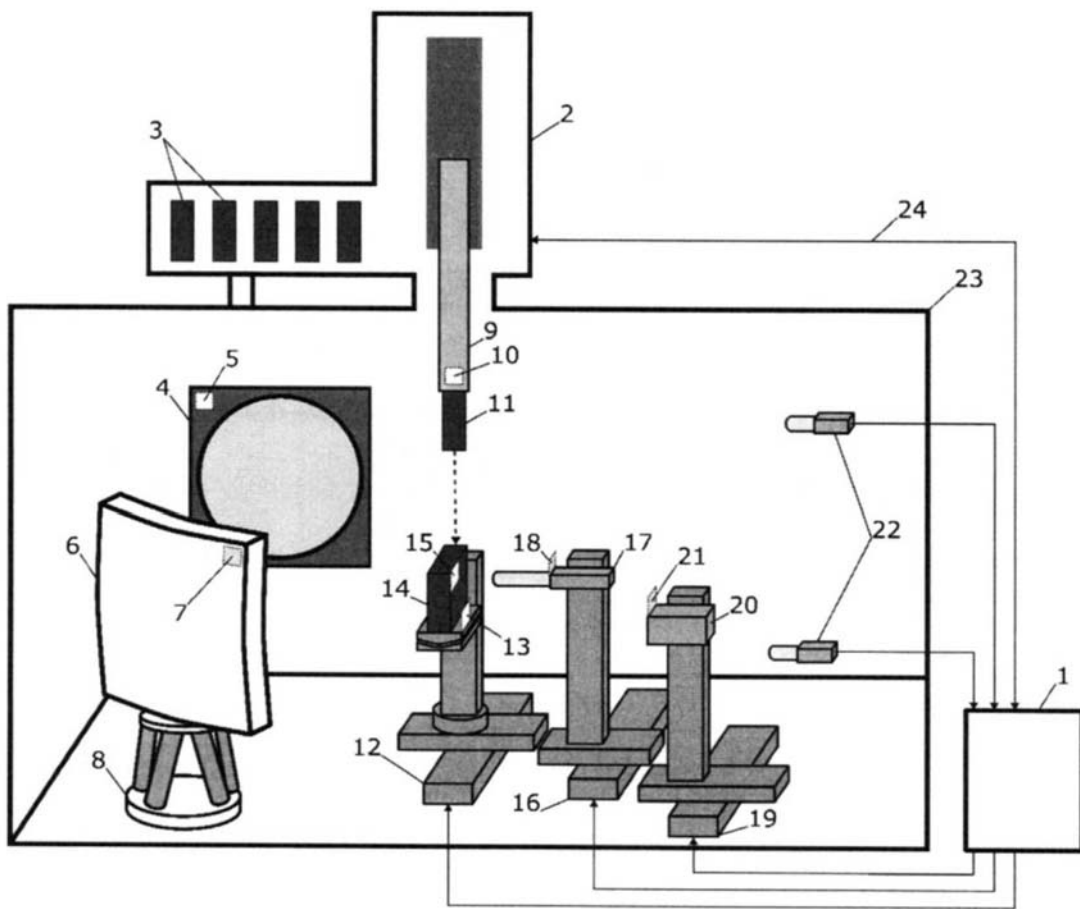


Fig. 3

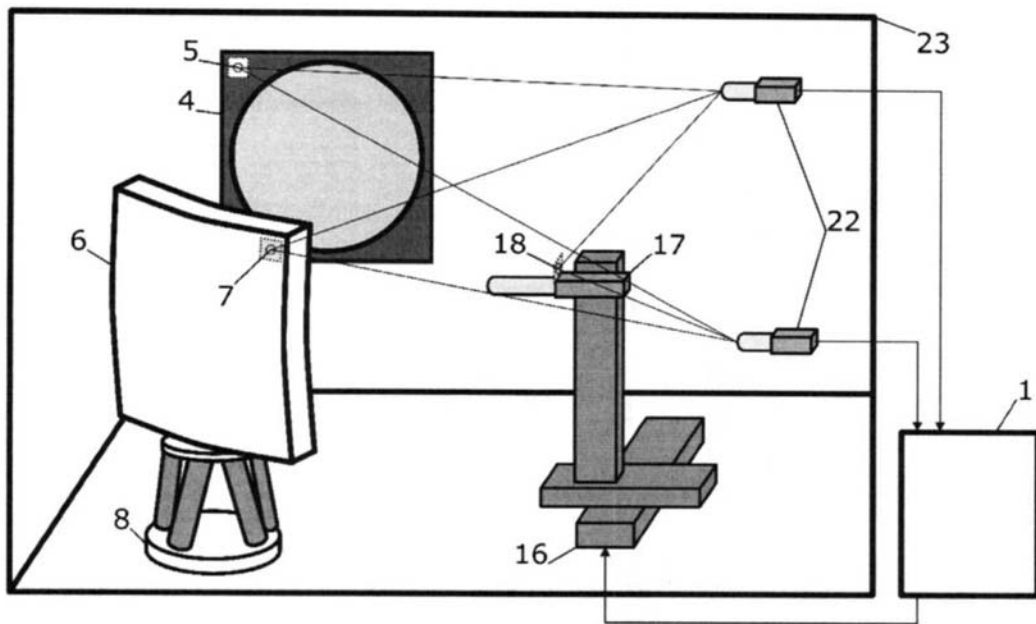


Fig. 4

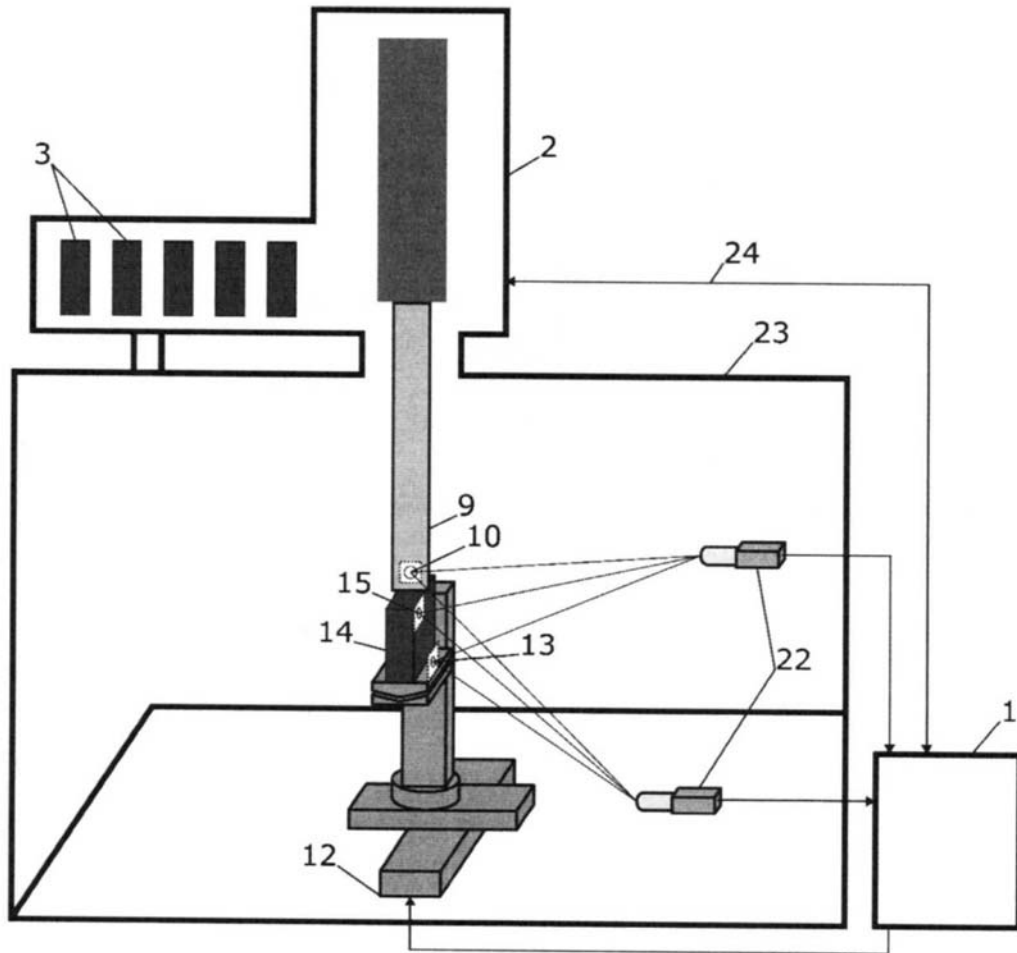


Fig. 5

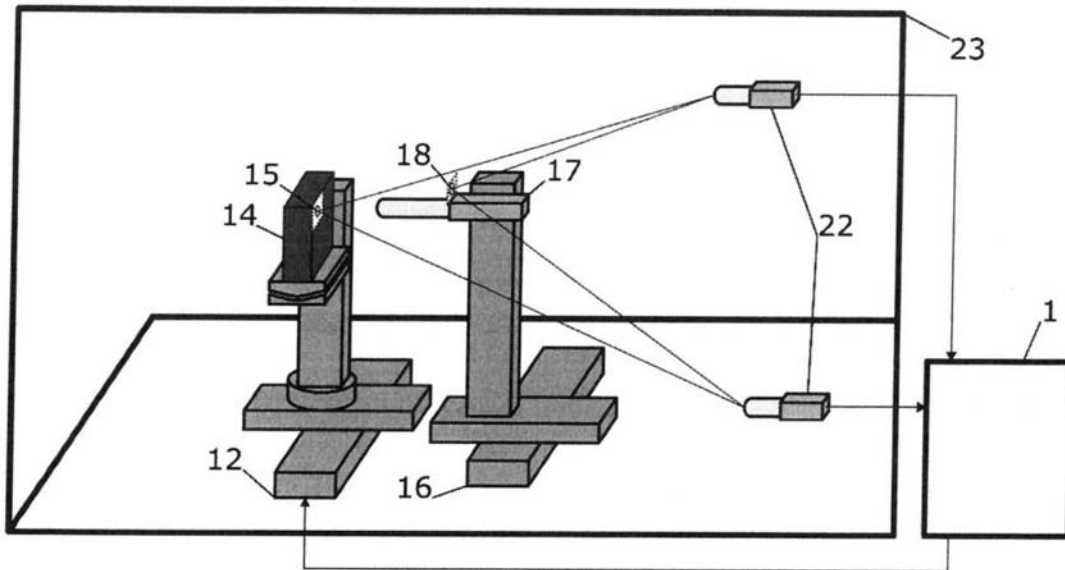


Fig. 6

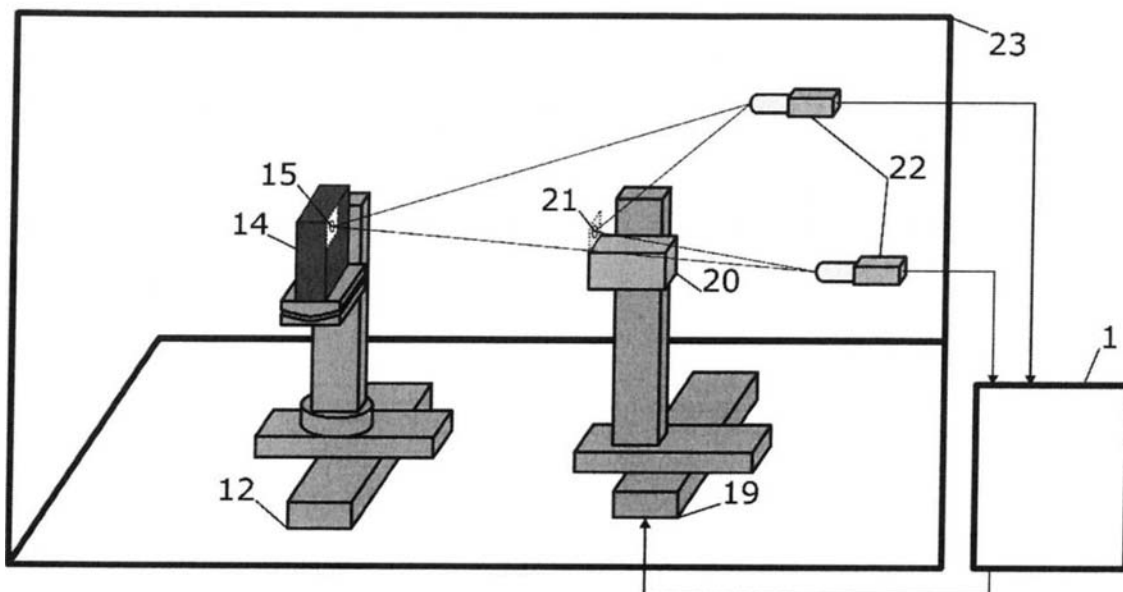


Fig. 7

