



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2014 00114**

(22) Data de depozit: **14/02/2014**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/07/2020** BOPI nr. **7/2020**

(41) Data publicării cererii:
29/01/2016 BOPI nr. **1/2016**

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

(72) Inventatori:
• **URSESCU DANIEL,
STR.SOLD.ENE MODORAN NR.13,
BL.M169, SC.1, ET.2, AP.12, SECTOR 5,
BUCUREȘTI, B, RO;**

• **CERNAIANU MIHAIL OCTAVIAN,
STR. NICOLAE TITULESCU NR. 42,
CRAIOVA, DJ, RO;**
• **THEODOR ASAVEI, STR. CREMENEA
NR. 1, AP. 5, BACĂU, BC, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
JPH 02198182 A; US 2008/0088924 A1

(54) **SISTEM PENTRU GENERAREA POLARIZĂRII CIRCULARE
DINTR-UN FASCICUL LASER POLARIZAT LINIAR**



RO 130872 B1

1 Invenția se referă la un sistem pentru generarea polarizării circulare în cazul
fasciculelor laser de bandă largă, cum ar fi pulsurile ultra scurte și ultra intense cu puteri de
3 vârf de ordinul Petawattilor.

5 Experimentele cu pulsuri laser ultra scurte și ultra intense necesită, în anumite cazuri,
ca pulsurile să aibă polarizare circulară. De exemplu, în condițiile în care un puls laser ultra
7 intens interacționează cu o folie subțire, pulsul poate accelera electronii și ionii la viteze
relativiste. Distanța dintre electroni și ioni va rămâne relativ redusă și instabilitățile nu au timp
9 să apară. Acest tip de accelerare numit „radiation pressure acceleration” are multe avantaje
în comparație cu alte metode de accelerare, dar câteva condiții trebuie satisfăcute. Una din
11 aceste condiții implică ca fasciculul laser să fie circular polarizat
[10.1103/RevModPhys.85.751, Rep. Prog. Phys. 75 (2012) 056401]. În general, sistemele
laser folosite produc pulsuri laser liniar polarizate. Este astfel necesar un sistem pentru a
13 transforma un fascicul liniar polarizat într-unul circular polarizat.

15 O metodă uzuală de a genera polarizare circulară este de a utiliza lame sferice de
undă. Aceste lame se folosesc în cazul fasciculelor laser de intensitate și diametre reduse,
deoarece fasciculul laser trebuie să traverseze lama pentru a converti lumina liniar polarizată
17 într-una circular polarizată și invers. Pentru fascicule laser de diametre mari (>200 mm),
puteri ridicate (>1 PW) și banda spectrală largă (>10 nm), nu sunt cunoscute în momentul
19 de față lame sferice de undă de calitate satisfăcătoare. Fasciculul laser, în această situație,
necesită să fie transportat folosind doar sisteme optice în reflexie; în caz contrar, există riscul
21 ca, la propagarea prin material, pulsul laser să se distorsioneze datorită efectelor optice
neliniare. Sistemele ce folosesc doar componente optice în reflexie pentru a introduce un
23 defazaj între polarizarea de tip S și cea de tip P a unui fascicul laser reprezintă o alternativă
la sistemele asemănătoare ce folosesc lame sferice de undă.

25 Este cunoscută metoda de a folosi o lamă de mică [**OPTICS EXPRESS, Vol. 19,**
No. 18, 17151 (2011)] care poate fi produsă cu diametru mare și grosime redusă pentru a
27 nu afecta semnificativ calitatea fasciculului laser (frontul de undă și, în consecință,
dimensiunea petei focale pe țintă).

29 Dezavantajul acestei metode este că lama introduce un defazaj care nu este ajustabil
și, în consecință, introduce o elipticitate în polarizare (e.g. fig. 4c și d din articolul citat indică
31 elipticitate de aproximativ 84% pentru o lamă sferică de undă). Mai mult, pragul de distrugere
este raportat a fi de 400 ori mai redus decât la un sistem cu oglinzi dielectrice cu întârziere
33 de fază.

35 Sunt, de asemenea, cunoscute sisteme în reflexie de generare a polarizării circulare
pentru fascicule laser [**Review of Scientific Instruments 83, 036104 (2012); OPTICS**
EXPRESS, Vol. 19, No. 18, 17151 (2011); OPTICS EXPRESS, Vol. 20, No. 18, 20742
37 **(2012)**]. Sistemele prezentate folosesc oglinzi dielectrice pentru a genera defazajul între
polarizările de tip S și P.

39 Dezavantajul acestor abordări este că nu permit ajustarea fină a gradului de
polarizare, folosesc oglinzi dielectrice care necesită un procedeu complex de fabricare și
41 controlul foarte riguros al grosimii straturilor depuse. Mai mult, oglinzile dielectrice introduc
modularea spectrală a fasciculului reflectat, afectând, în acest fel, durata pulsului reflectat.

43 Este cunoscută invenția **US 4312570** de creare a unui sistem bazat pe reflexie care
să genereze un defazaj de 90° între polarizările de tip S și P prin aplicarea unor straturi
45 transparente pe suprafața reflectivă a unui substrat. Straturile adiacente sunt confecționate
din materiale cu indici de refracție substanțial diferiți. Grosimea straturilor depuse este mai
47 mică de un sfert de lungime de undă față de lungimea de undă a frecvenței centrale a
fasciculului laser. Grosimea straturilor diferă de la un strat la altul într-un fel predeterminat
49 pentru a controla și produce cu exactitate defazajul de 90° între polarizările de tip S și P.

RO 130872 B1

Dezavantajul soluției de mai sus este că nu permite ajustarea fină a gradului de polarizare și necesită un procedeu de depunere cu un control foarte riguros al grosimii straturilor depuse. Polarizarea fasciculului rezultat în urma reflexiei cu ajutorul acestui sistem nu poate fi ajustată, iar în cazul în care se modifică frecvența centrală a fasciculului laser incident, se va modifica corespunzător și gradul de polarizare a fasciculului reflectat luat în calcul la proiectarea oglinzii, rezultând o polarizare eliptică diferită de cea circulară dorită. Sistemul respectiv are dezavantajul că fasciculul incident nu este coliniar cu fasciculul de ieșire. Pentru aceasta, este necesară existența a minim două oglinzi suplimentare, care să introducă un defazaj de 0 sau 180°, pentru a reflecta fasciculul coliniar, pe aceeași direcție cu cea a fasciculului incident, configurație care este întâlnită de cele mai multe ori în transportul fasciculului laser până la țintă.

Este cunoscută, de asemenea, invenția **US 4379622 A** care prezintă un sistem de introducere a defazajului de bandă largă având un unghi de defazaj fix și care folosește un substrat metalic însoțit de alte straturi depuse, formate din materiale dielectrice. Sistemul folosește două oglinzi în reflexie, fiecare introducând un defazaj de 45° între polarizările de tip S și P.

Soluția de mai sus nu permite ajustarea fină a gradului de polarizare și necesită un procedeu de depunere cu un control foarte riguros al grosimii straturilor depuse. Polarizarea fasciculului rezultat în urma reflexiei cu ajutorul acestui sistem nu poate fi ajustată, iar în cazul în care se modifică frecvența centrală a fasciculului laser incident, se va modifica corespunzător și gradul de polarizare a fasciculului reflectat luat în calcul la proiectarea oglinzii, rezultând o polarizare eliptică diferită de cea circulară dorită. Sistemul respectiv are dezavantajul că fasciculul incident nu este coliniar cu fasciculul de ieșire. Pentru aceasta, este necesară existența a minim o oglindă suplimentară, care să introducă un defazaj de 0 sau 180°, pentru a reflecta fasciculul coliniar, pe aceeași direcție cu cea a fasciculului incident, configurație care este întâlnită de cele mai multe ori în transportul fasciculului laser până la țintă.

Este cunoscută, de asemenea, invenția **US 4322130 A**, care folosește o oglindă formată dintr-un strat metalic depus de un substrat și cel puțin un strat adițional de material dielectric, în care prin variațiile de index de refracție și grosime a straturilor dielectrice se obține o diferență de fază între polarizările de tip S și P ale componentei reflectate. Invenția se referă la producerea unui defazaj diferit de 180° între componentele S și P ale fasciculului laser incident.

Invenția de mai sus prezintă aceleași dezavantaje prezentate anterior, deoarece folosește oglinzi dielectrice care necesită un procedeu complex de fabricare, într-o configurație care nu permite ajustarea fină a gradului de polarizare a fasciculului reflectat.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în transformarea unui fascicul laser liniar polarizat într-unul circular polarizat, păstrând coliniară direcția fasciculului de la ieșirea sistemului cu direcția fasciculului incident.

Sistemul de generare a polarizării circulare, conform invenției, elimină dezavantajele soluțiilor de mai sus prin aceea că:

- oglinda metalică are banda largă de reflectivitate, în comparație cu oglinzile dielectrice, și, în acest fel, este potrivită pentru pulsuri ultrascurte de bandă largă;

- oglinda metalică poate fi produsă cu dimensiuni mari, procesul de fabricație a oglinzii este mai simplu față de oglinzile dielectrice deoarece oglinda metalică nu necesită un control riguros al grosimii stratului metalic depus, pe când oglinzile dielectrice necesită controlul grosimii straturilor depuse cu precizie de ordinul nanometrilor;

- oglinzile metalice nu introduc modulație spectrală a fasciculului reflectat și, în consecință, nu alterează semnificativ durata pulsului, spre deosebire de oglinzile cu straturi multiple;

RO 130872 B1

1 - cu ajutorul sistemului cu oglinzi metalice, se poate ajusta fin elipticitatea fasciculului
2 eliptic polarizat până la obținerea unei polarizări circulare sau, în cazul în care experimentul
3 o cere, obținerea unei polarizări ușor diferită de polarizarea circulară;

4 - în cazul în care lungimea de undă a fasciculului laser variază, se poate ajusta fin
5 cu ajutorul sistemului propus elipticitatea fasciculului eliptic polarizat până la obținerea unei
6 polarizări circulare;

7 - oglinzile metalice, în cazul detectării unor alterări sau defecte pe suprafața stratului
8 metalic, se pot re-acoperi cu metal printr-o procedură mai simplă decât în cazul oglinzilor cu
9 dielectric, deoarece oglinda metalică nu necesită un control riguros al grosimii stratului
10 metalic depus, pe când oglinzile dielectrice necesită controlul grosimii staturilor depuse cu
11 precizie de ordinul nanometrilor;

12 - pragul de distrugere pentru oglinzile metalice, ca cele de argint și de aur este ridicat
13 față de lamele sfert de undă în transmisie ajungând la 400 mJ/cm^2 la argint și la 200 mJ/cm^2
14 la aur în timp ce pentru cuarț și mică pragul de distrugere e sub ordinul miliJoule per cm^2
15 [OPTICS EXPRESS, Vol. 19, No. 18, 17151 (2011)].

16 Sistemul de generare a polarizării circulare dintr-un fascicul laser polarizat liniar
17 folosind doar optica în reflexie, conform invenției, este alcătuit din minim trei oglinzi metalice,
18 plane, cu acoperire metalică de argint, aur, aluminiu sau un alt metal cu reflectivitate ridicată
19 la lungime de undă corespunzătoare fasciculului de lumină utilizat, 815 nm, pentru a asigura
20 obținerea fasciculului laser circular, și în care oglinzile au dimensiuni ce pot atinge valori
21 mari, de ordinul metrului pătrat sau mai mult, iar configurația acestora este realizată în așa
22 fel încât fasciculul de intrare este coliniar cu fasciculul de ieșire, în acest fel fasciculul de
23 ieșire având aceeași axă și direcție de propagare în prezența și în absența sistemului de
24 generare a polarizării circulare.

25 Sistemul de generare a polarizării circulare, conform invenției, prezintă următoarele
26 avantaje:

27 - asigură ajustarea fină a elipticității fasciculului eliptic polarizat până la obținerea unei
28 polarizări circulare sau, în cazul în care experimentul o cere, se poate obține o polarizare
29 ușor diferită de polarizarea circulară;

30 - asigură obținerea fasciculului circular polarizat prin folosirea de oglinzi metalice,
31 care pot fi produse cu dimensiuni mari (peste 0,5 m) și calitate corespunzătoare;

32 - asigură reglarea raportului între componentele de polarizare de tip S și P prin rotirea
33 solidară a întreg sistemului de oglinzi în jurul axei determinate de direcția de propagare a
34 fasciculului incident;

35 - asigură un cost redus cu mentenanță prin aceea că, în cazul defectării suprafeței
36 stratului metalic a oglinzilor, acestea se pot re-acoperi cu metal printr-o procedură mai simplă
37 decât în cazul oglinzilor cu dielectric;

38 - asigură posibilitatea de ajustare a fasciculului eliptic polarizat până la obținerea unei
39 polarizări circulare în cazul în care lungimea de undă a fasciculului variază;

40 - asigură versatilitatea unui aranjament experimental deoarece sistemul are
41 proprietatea că fasciculul de intrare este coliniar cu fasciculul de ieșire, în acest fel fasciculul
42 de ieșire având aceeași poziție și direcție în prezența și în absența sistemului de generare
43 a polarizării circulare.

44 Se dă, în continuare, un exemplu de realizare a invenției, în legătură cu fig. 1...4, care
45 reprezintă:

46 - fig. 1, rezultatele simulării în mediul Optica 3 reprezentând vederea 3D laterală a
47 sistemului cu trei oglinzi plane, cu acoperire metalică, propus, în care fasciculul reflectat este
coliniar cu fasciculul incident și în care defazajul între polarizările de tip S și P este de 90° ;

RO 130872 B1

- fig. 2, schema de principiu, cu trei oglinzi plane, cu acoperire metalică, propus, care exemplifică posibilitatea ajustării sistemului cu cinci grade de libertate (trei rotații și două translații); 1
- fig. 3, exemplificare de schemă pentru ansamblul mecanic, cinci grade de libertate, reprezentare laterală; 3
- fig. 4, exemplificare de schemă pentru ansamblul mecanic, cinci grade de libertate, reprezentare frontală. 5
- Sistemul de generare a polarizării circulare, conform invenției, este alcătuit din trei oglinzi metalice, plane, cu acoperire metalică de argint, aur, aluminiu sau un alt metal cu reflectivitate ridicată la lungime de undă corespunzătoare fasciculului de lumină utilizat (e.g. fascicul laser la 815 nm). Sistemul are proprietatea ca fasciculul de intrare este colinar cu fasciculul de ieșire, în acest fel fasciculul de ieșire având aceeași poziție și direcție în prezența și în absența sistemului de generare a polarizării circulare, așa cum este ilustrat în fig. 1. 7
- În cazul unei surse polarizate liniar, direcția de polarizare și direcția de propagare determină un plan, numit mai departe planul polarizării. 9
- Cele trei oglinzi au același plan de reflexie, numit mai departe planul de reflexie. Acestea pot fi rotite solidar în jurul axei determinată de direcția de propagare a fasciculului incident. 11
- Prin rotirea solidară a celor trei oglinzi în jurul axei de propagare a fasciculului incident, se transformă polarizarea fasciculului incident care este de tip S sau P în polarizare cu două componente, de tip S și de tip P. Acestea ajung defazate la ieșirea din sistem cu aproximativ $\pi/2$, corespunzând polarizării circulare. 13
- Prin rotirea în jurul unei axe perpendiculară pe planul de reflexie a fiecăreia dintre oglinzi și prin translatarea lor corespunzătoare, se poate regla fin defazajul între componentele S și P și se poate păstra, în același timp, condiția de coliniaritate a fasciculului incident și a celui de ieșire din sistem, ca în fig. 2. 15
- Un exemplu particular al sistemului de generare a polarizării circulare, conform invenției, este alcătuit dintr-un cadru **4** fix care are atașat un sistem de ghidare circular **6** cu bile, cu axa de rotație în jurul axei determinată de direcția de propagare a fasciculului incident, astfel încât să asigure rotirea cadrului **5** suport pentru subansamblul format din 3 oglinzi, oglinda frontală **1** oglinda superioară **2** oglinda posterioară **3** cu ajutorul unui ansamblu format dintr-o roată dințată **7** cu axa de rotație în jurul axei determinată de direcția de propagare a fasciculului incident și un sistem electro-mecanic de acționare **8** care permite înclinarea cadrului **5** (fig. 3, 4). 17
- Oglinda frontală **1** este sprijinită pe o montură **13** susținută cu ajutorul a doi piloni **12** de o parte și de alta a oglinzii, ghidată cu ajutorul unor ghidaje pe șină **11**, care asigură un grad de libertate prin înclinarea oglinzii cu ajutorul unui sistem electromecanic de acționare **9**. 19
- Oglinda superioară **2** este sprijinită pe o montură tip **13**, susținută cu ajutorul a doi piloni, tip **12**, ghidată cu ajutorul unor ghidaje pe șină, tip **11**, subansamblul astfel alcătuit este susținut de un sistem mecanic **10**, care permite translația subansamblului și rotirea oglinzii cu ajutorul unui sistem electro-mecanic de acționare, tip **9**, asigurându-se în acest fel două grade de libertate pentru oglinda superioară. 21
- Oglinda posterioară **3** permite două grade de libertate, sistemele mecanice de acționare fiind similare sistemului pentru oglinda superioară **2**. 23
- În cazul pulsurilor laser ultra scurte și ultra intense, acestea au nevoie să se propage în vid pentru a nu suferi distorsiuni și, ca urmare, sistemele electro-mecanice descrise anterior, necesită să fie compatibile cu vidul. În acest caz, cadrul de sprijin **4** este plasat într-o incintă de vid necesară pentru a transporta fasciculele laser de ultra-înaltă intensitate. 25

RO 130872 B1

Revendicări

1

3 1. Sistem de generare a polarizării circulare dintr-un fascicul laser polarizat liniar
5 folosind doar optica în reflexie, **caracterizat prin aceea că** este alcătuit din minimum trei
7 oglinzi (**1, 2, 3**) metalice, plane, cu acoperire metalică de argint, aur, aluminiu sau un alt
9 metal cu reflectivitate ridicată la lungime de undă corespunzătoare fasciculului de lumină
11 utilizat, pentru a asigura obținerea fasciculului laser polarizat circular și în care oglinzile
(**1, 2, 3**) au dimensiuni ce pot atinge valori mari, de ordinul metrului pătrat sau mai mult, iar
configurația acestora este realizată în așa fel încât fasciculul de intrare este coliniar cu
fasciculul de ieșire, în acest fel fasciculul de ieșire având aceeași axă și direcție de
propagare în prezența și în absența sistemului de generare a polarizării circulare.

13 2. Sistem conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** cele trei oglinzi (**1, 2, 3**)
metalice au același plan de reflexie și pot fi rotite solidar în jurul axei determinată de direcția
de propagare a fasciculului incident.

15 3. Sistem conform revendicărilor 1 și 2, **caracterizat prin aceea că** cele trei oglinzi
(**1, 2, 3**) au elemente (**9, 10**) de poziționare corespunzătoare mișcărilor de translație și rotație
17 care, prin rotirea în jurul unei axe perpendiculare pe planul de reflexie a fiecăreia dintre
oglinzi și prin translatarea lor corespunzătoare, pot regla fin defazajul între componentele S
19 și P ale polarizării, și pot păstra, în același timp, condiția de coliniaritate a fasciculului
incident și a celui de ieșire din sistem.

21 4. Sistem conform revendicării 3, **caracterizat prin aceea că** pentru obținerea
fasciculului laser circular polarizat mai este alcătuit dintr-un cadru (**4**) fix care are atașat un
23 subsistem (**6**) de ghidare circular cu axa de rotație în jurul axei determinate de direcția de
propagare a fasciculului incident, astfel încât să asigure rotirea unui alt cadru (**5**) suport
25 pentru subansamblul format din cele trei oglinzi (**1, 2, 3**), oglinda (**1**) frontală, oglinda
superioară (**2**) și oglinda posterioară (**3**), cu ajutorul unui ansamblu format dintr-o roată (**7**)
27 dințată, cu axa de rotație în jurul axei determinată de direcția de propagare a fasciculului
incident și un subsistem (**8**) electro-mecanic de acționare care permite inclinarea cadrului (**5**),
29 în care oglinda (**1**) frontală este sprijinită pe o montură (**13**), susținută cu ajutorul a doi piloni
(**12**), de o parte și de alta a oglinzii (**1**), ghidată cu ajutorul unor ghidaje (**11**) pe șină, care
31 asigură un grad de libertate prin înclinarea oglinzii cu ajutorul unui subsistem (**9**)
electro-mecanic de acționare, iar oglinda (**2**) superioară este sprijinită pe o montură (**13**),
33 susținută cu ajutorul a doi piloni (**12**), ghidată cu ajutorul unor ghidaje (**11**) pe șină, iar
subansamblul astfel alcătuit este susținut de un subsistem (**10**) mecanic, care permite
35 translația subansamblului și rotirea oglinzii (**2**) cu ajutorul unui subsistem (**9**) electro-mecanic
de acționare, asigurându-se, în acest fel, două grade de libertate pentru oglinda (**2**)
37 superioară, și o oglindă (**3**) posterioară ce permite două grade de libertate, subsistemele
mecanice de acționare fiind similare sistemului pentru oglinda (**2**) superioară.

39 5. Sistem conform revendicărilor precedente, **caracterizat prin aceea că**, pentru
obținerea fasciculului laser circular polarizat de ultra-înaltă intensitate, atât oglinzile (**1, 2, 3**),
41 cât și toate subansamblele (**5...13**) mecanice și electrice sunt compatibile cu vidul.

(51) Int.Cl.
G02B 27/28 (2006.01);
G02B 5/30 (2006.01)

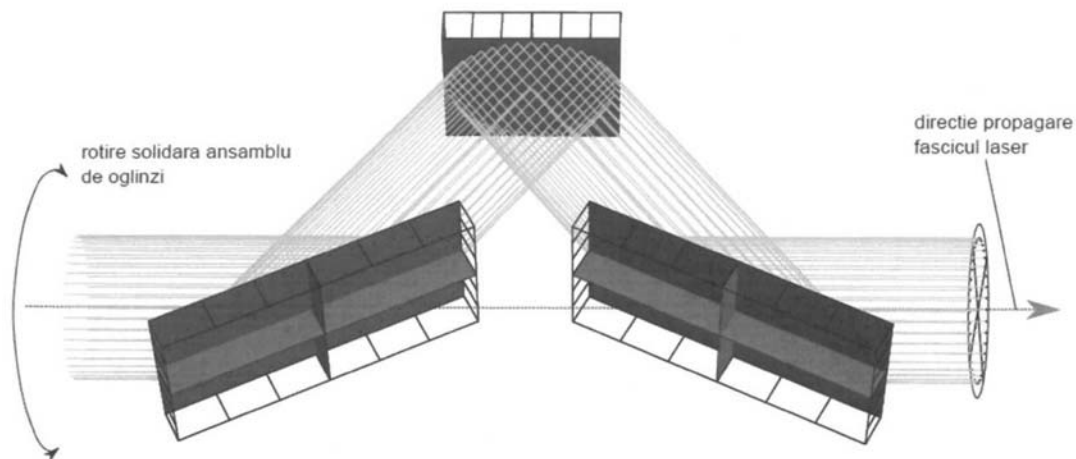


Fig. 1

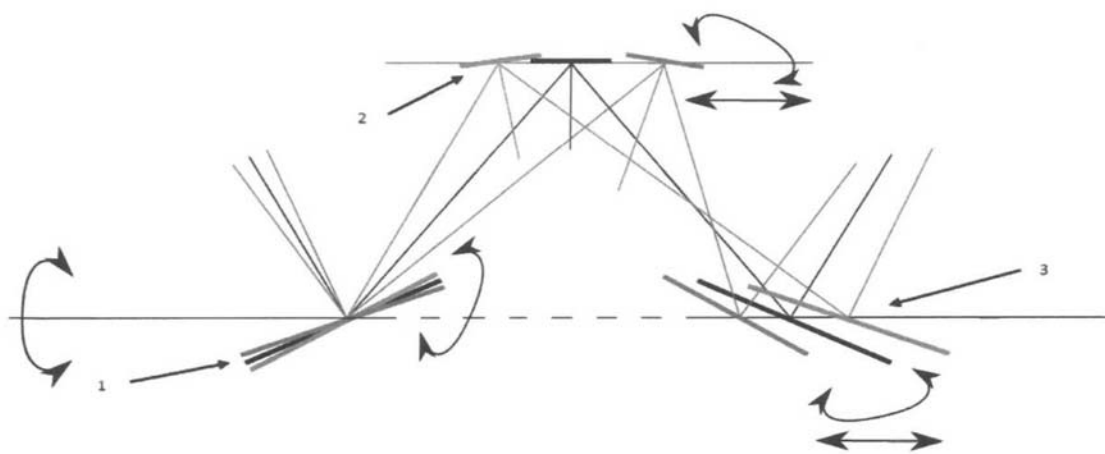


Fig. 2

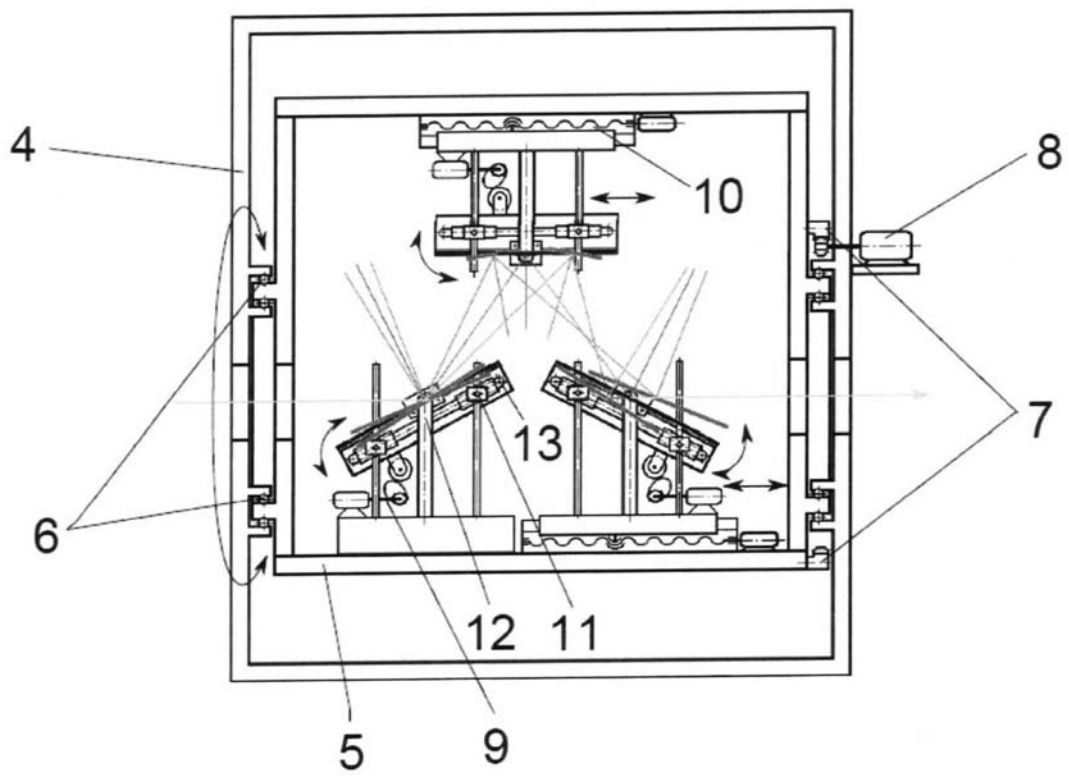


Fig. 3

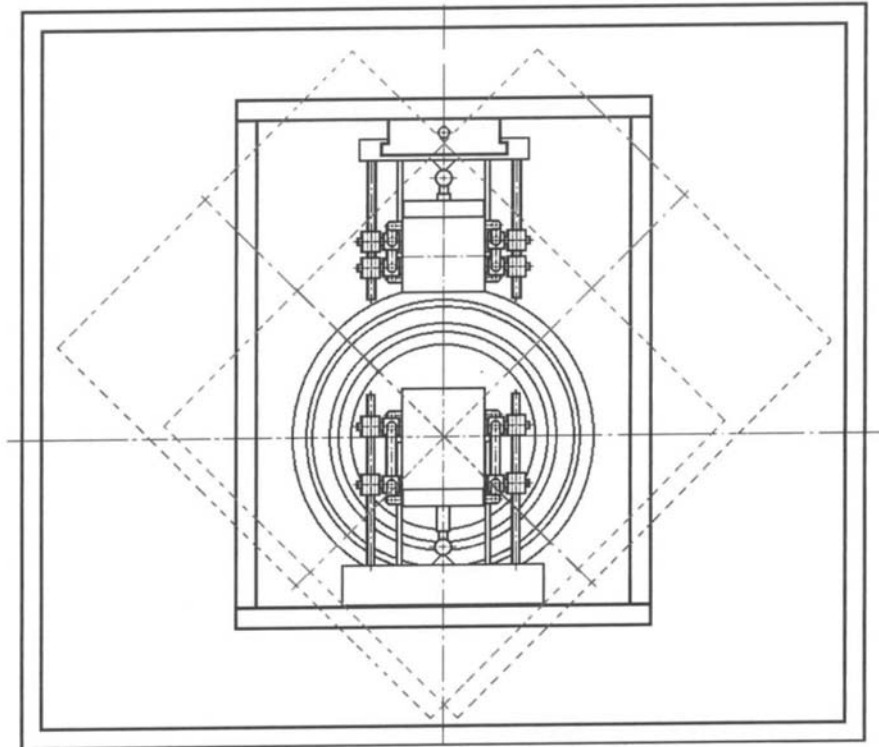


Fig. 4