



(12)

## BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2012 00646**

(22) Data de depozit: **07/09/2012**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **26/02/2021** BOPI nr. **2/2021**

(41) Data publicării cererii:  
**30/04/2014** BOPI nr. **4/2014**

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

(72) Inventatori:  
• **STOICAN OVIDIU- SORIN,  
STR. FIZICIENILOR NR. 6, BL. 4, SC. 2,  
ET. 2, AP. 26, MĂGURELE, IF, RO;**

• **GROZA ANDREEA-LILIANA,  
STR. STÂNJENEILOR NR. 4, BL. 62, SC. 1,  
ET. 8, AP. 52, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B,  
RO;**

• **GANCIU PETCU MIHAI, STR. BÎRNOVA  
NR.6, BL. M111C, SC. 1, ET. 4, AP. 23,  
SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:  
**RO 111401; RO 109684 RO 111401;  
RO 109684**

(54) **SISTEM DE MENȚINERE ÎN STARE DE LEVITAȚIE  
PENTRU MICROPARTICULE ȘI NANOPARTICULE  
ÎN RECIPIENTE ȘI TUBURI CAPILARE**



1           Invenția se referă la un sistem de menținere în stare de levitație a unui ansamblu de  
particule solide cu dimensiuni de ordinul micrometrilor (care sunt cunoscute sub denumirea  
3 de microparticule) sau nanometrilor (care sunt cunoscute sub denumirea de nanoparticule),  
aflate în interiorul unor recipiente și tuburi capilare, într-o regiune limitată și bine precizată  
5 din spațiu, fără contact mecanic cu pereții recipientului sau tubului capilar în care se află sau  
cu un alt element de susținere. Se va utiliza în continuare pentru această stare termenul de  
7 levitație.

          Microparticulele sau nanoparticulele, la care face referire prezenta invenție, vor fi  
9 denumite în continuare particule, indiferent de dimensiune. Particulele menținute în stare de  
levitație, pot fi fără a se limita la acestea, pulberi conductoare, semiconductoare sau dielec-  
11 trice, inclusiv radioactive, spori, bacterii, germeni, viruși, semințe, insecte, alte materiale bio-  
logice având dimensiuni corespunzătoare. Sistemul poate fi folosit, fără a se limita la acea-  
13 sta, ca parte componentă a instrumentelor, instalațiilor și echipamentelor destinate exa-  
minării, manipulării, măsurării sau determinării caracteristicilor și proprietăților fizico-chimice  
15 ale microparticulelor și nanoparticulelor precum și studiului efectului unor câmpuri de forță  
sau surse de radiație externe asupra acestora, îndeplinind funcția de susținere a probei.

17           Menținerea unor particule solide în stare de levitație, în vederea analizei, observării,  
manipulării sau procesării, reprezintă o problemă de mare interes în știință și tehnică. Ca  
19 urmare, de-a lungul timpului, s-au dezvoltat mai multe metode în acest scop. Levitația acustică  
se obține într-un mediu gazos în care este prezentă o radiație acustică de mare intensitate  
21 rezultată ca urmare a acțiunii unei surse de unde sonore (soluție descrisă de exemplu în  
brevetul **US 4284403**) sau a mai multor surse de unde sonore (soluție descrisă de exemplu  
23 în brevetul **US 5036944**). Într-o incintă având forma și dimensiunile corespunzătoare,  
presiunea generată de către radiația acustică poate echilibra greutatea unei particule  
25 menținând-o în suspensie fără contact mecanic cu pereții incintei. Dezavantajul metodei este  
acela că necesită unde acustice de putere mare (de ordinul kilowaților) ceea ce este dificil  
27 de realizat din punct de vedere practic. De asemenea, performanțele acestei metode depind  
de presiunea gazului din incintă, neputându-se aplica în vid. Similar acesteia este levitația  
29 optică unde în locul radiației acustice se utilizează o radiație optică (vezi A. Ashkin, Physical  
Review Letters, 24, 156-159 (1970)). Particulele sunt menținute în echilibru ca urmare a  
31 presiunii radiației produse de unul sau mai multe fascicule laser (soluții descrise de exemplu  
în **US 4893886**, **US 5512745** și **US 5308976**). Metoda are dezavantajul că necesită  
33 echipamente complicate, mijloace adiționale de plasare a particulelor în regiunea în care se  
propagă radiația laser și se poate aplica numai unui număr mic de particule. Deoarece forța  
35 generată de presiunea radiației optice este de ordinul a  $10^{-12}$  N, prin această metodă pot fi  
menținute în stare de levitație numai particule de dimensiuni foarte mici. O altă metodă de  
37 menținere în suspensie a unor particule solide sau lichide o constituie folosirea unui câmp  
electromagnetic de radiofrecvență generat de către un sistem de bobine având formă și  
39 dimensiuni corespunzătoare. În brevetele **US 4578552** și **US 2686864** sunt descrise sisteme  
de menținere în stare de levitație și de încălzire a unor corpuri conductoare bazate pe această  
41 principiu. Pe lângă faptul că necesită existența unui generator de radiofrecvență de mare  
putere, echipament care este scump și care poate produce perturbații electromagnetice,  
43 metoda are dezavantajul că poate fi aplicată numai pentru particule conductoare electrice. O  
problemă suplimentară apare datorită faptului că particulele menținute în stare de suspensie  
45 cu ajutorul unui asemenea sistem absorb o parte din energia câmpului electric de radiofrec-  
vență ceea ce duce la încălzirea acestora.

Levitația magnetică, cum este aceea descrisă în brevetul **US 7348691** se poate realiza cu ajutorul unui câmp magnetic variabil generat de către electromagneți al căror curent de alimentare este ajustat în permanență de către un sistem electronic care ține seama de poziția corpului suspendat astfel încă acesta să rămână localizat într-o anumită regiune. Metoda are dezavantajul că poate fi aplicată numai în cazul corpurilor magnetice și numai pentru un număr limitat de corpuri. Prin metoda levitației aerodinamice particulele sunt menținute în suspensie ca urmare a acțiunii unui jet de gaz (un astfel de exemplu este descris în brevetul **US 4378209**). Jetul de gaz se află în contact cu particulele care urmează a fi menținute în stare de levitație, ca urmare acestea nu pot fi păstrate în incinte închise ermetic, conducând la pierderi de material sau la pericolul infestării, dacă de exemplu particulele reprezintă material biologic. Incinta trebuie să aibă o geometrie specială pentru că forțele de natură aerodinamică să asigure stabilitatea particulelor atât în plan vertical cât și în plan orizontal. De asemenea, metoda nu poate fi aplicată în vid. În brevetele **RO109684** și **RO111401** sunt descrise o instalație de stocare a microparticulelor în câmpul electric cuadrupolar generat de către un sistem de electrozi format din trei inele metalice respectiv o capcană electrodinamică liniară funcționând în aer la presiune normală. În ambele cazuri, conform descrierii, particulele sunt menținute într-un spațiu deschis, nefiind izolate de mediul extern, existând pericolul infestării, pierderii sau scurgerii de material, iar presiunea și compoziția gazului în care se găsesc acestea nu pot fi controlate.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în aducerea și menținerea unei particule solide sau a unui ansamblu de astfel de particule, având dimensiuni de ordinul micrometrilor sau nanometrilor, aflate în interiorul unui recipient sau tub capilar realizate dintr-un material dielectric, în stare de levitație.

Sistemul de menținere în stare de levitație, a unui ansamblu de particule solide cu dimensiuni de ordinul micrometrilor sau nanometrilor, în recipiente și tuburi capilare, conform invenției, este format dintr-un recipient de formă arbitrară, confecționat dintr-un material dielectric, introdus între electrozii unei capcane electrodinamice liniare realizată din patru electrozi paraleli și echidistanți, în formă de bară, fiecare din aceștia având secțiunea sa transversală tangentă unui cerc și din alți doi electrozi cilindrici, coaxiali cu axa a capcanei electrodinamice liniare, conectați electric astfel încât între electrozii și se aplică o tensiune electrică continuă  $U_x$ , a cărei polaritate se poate schimba cu ajutorul unui comutator, electrozii sunt conectați electric împreună, iar între aceștia și electrodul se aplică o tensiune electrică alternativă  $U_a$ , având amplitudinea  $V_0$  și frecvența  $f_0$ , furnizată de către un modul electronic, electrozii sunt conectați electric împreună, iar între aceștia și electrodul se aplică o tensiune electrică continuă  $U_z$ .

Conform unui aspect al invenției, recipientul este transparent, semitransparent sau opac.

Conform unui alt aspect al invenției, recipientul este deschis la ambele capete, închis la un capăt și deschis la celălalt sau închis la ambele capete.

Conform unui alt aspect al invenției, recipientul este umplut cu un gaz, un amestec de gaze sau este vidat.

Conform unui alt aspect al invenției, recipientul are formă de tub capilar, deschis la ambele capete, închis la un capăt și deschis la celălalt sau închis la ambele capete.

Conform unui alt aspect al invenției, unul dintre electrozii săi în formă de bară este detașabil permițând introducerea sau extragerea recipientului în spațiul dintre electrozii săi.

Conform unui alt aspect al invenției, unul sau ambii electrozi capac culisează de-a lungul axei sale permițând introducerea în spațiul dintre electrozi a cel puțin un recipient de diferite lungimi.

1 Conform unui alt aspect al invenției, sistemul conform invenției mai conține un elec-  
trod suplimentar introdus în recipientul sub forma unui fir subțire conductor care traversează  
3 recipientul paralel cu axa sa longitudinală și care este amplasat în apropierea suprafeței sale  
interioare, pe care se aplică un puls electric de înaltă tensiune generat de către un alt modul  
5 electronic.

Conform unui alt aspect al invenției, sistemul conform invenției mai conține un  
7 transformator ridicător de tensiune intercalat în circuitul electric al electrozilor, primarul sau  
fiind conectat la un generator de pulsuri și care produce o supratensiune electrică ce se  
9 suprapune peste tensiunea electrică continuă  $U_x$  existentă între electrozii.

Conform unui alt aspect al invenției, schimbarea bruscă a polarității tensiunii electrice  
11 continue dintre electrozii (se realizează printr-un comutator electronic acționat de către un  
semnal extern produs de un generator de pulsuri).

Conform unui alt aspect al invenției, sistemul conform invenției mai conține o sursă  
13 de radiație ionizantă care poate fi, fără a se limita la acestea, de radiație ultravioletă, radiație  
X sau radiații emise de către o sursă radioactivă, amplasată într-o poziție laterală capcanei  
15 electrodinamice liniare astfel încât dreapta care unește axa capcanei cu regiunea de emisivi-  
tate maximă a sursei să treacă printre electrozii în formă de bară ai capcanei electrodinamice  
17 liniare.

19 Față de soluțiile anterioare, sistemul la care face referire invenția prezintă urmă-  
toarele avantaje:

21 - poate menține în stare de levitație particule din materiale neconductoare electric;  
- poate menține în stare de levitație particule din materiale nemagnetice;  
23 - efectul câmpului electric generat de către electrozii capcanei electrodinamice liniare  
asupra particulelor aflate în stare de levitație este neglijabil. Acesta nu produce încălzirea  
25 sau schimbarea structurii chimice a particulelor aflate în stare de levitație;

- realizare simplă din punct de vedere mecanic folosind materiale, componente și  
27 tehnologii ieftine și bine cunoscute;

- sunt folosite tensiuni electrice de frecvență joasă care nu produc perturbații  
29 electromagnetice;

- nu poluează sonor mediul înconjurător;

31 - dimensiunile și forma recipientului nu sunt restricționate de necesitatea de a forma  
o cavitate rezonanță pentru anumite frecvențe;

33 - poate menține în stare de levitație un număr mare de particule;

- particulele aflate în stare de levitație sunt menținute într-un mediu gazos bine definit,  
35 a cărui natură, compoziție și presiune sunt bine stabilite și controlate;

- particulele pot fi menținute în stare de levitație inclusiv în vid;

37 - deoarece recipientul sau tubul capilar poate fi închis etanș, sunt evitate pierderile  
sau scurgerile de material în mediul exterior;

39 - deoarece recipientul sau tubul capilar poate fi închis etanș, devine posibilă menține-  
rea în stare de levitație și manipularea în vederea studiului a materialelor toxice, radioactive  
41 sau biologice fără pericol de contaminare a personalului sau a mediului exterior;

- recipientul conținând particulele solide care urmează a fi menținute în stare de  
43 levitație poate fi pregătit în altă locație, închis etanș apoi transportat în siguranță și fără  
pericol de contaminare la locul în care se află instrumentul, instalația sau echipamentul de  
45 analiză sau măsura ce conține ca parte componentă sistemul descris în prezenta invenție.

Se dă în continuare un exemplu de realizare al invenției, în legătură și cu fig. 1...7  
47 care reprezintă:

- fig. 1, secțiune longitudinală și două secțiuni transversale corespunzătoare planurilor  
49 A-A și B-B, conform invenției, ale sistemului de menținere în stare de levitație pentru micro-  
particule și nanoparticule în recipiente și tuburi capilare utilizând ca exemplu o capcană elec-  
51 trodinamică liniară cuadrupolară, cu 4 electrozi în formă de bară, și un recipient cilindric;

- fig. 2, exemple de recipiente în secțiune longitudinală și transversală având diverse forme care pot fi folosite ca parte componentă a sistemului de menținere în stare de levitație pentru microparticule și nanoparticule în recipiente și tuburi capilare;	1 3
- fig. 3, schema alimentării electrice a capcanei electrodinamice liniare ce face parte, conform invenției, din sistemul de menținere în stare de levitație pentru microparticule și nanoparticule în recipiente și tuburi capilare, utilizând ca exemplu o capcană electrodinamică liniară cuadrupolară, cu 4 electrozi în formă de bară;	5 7
- fig. 4, exemplu de sistem pentru electrizarea particulelor aflate într-un recipient sau tub capilar dielectric folosind un electrod suplimentar introdus în acesta;	9
- fig. 5, exemplu de sistem pentru electrizarea particulelor aflate într-un recipient sau tub capilar dielectric prin aplicarea unei supratensiuni între doi din electrozii în formă de bară ai capcanei electrodinamice liniare;	11
- fig. 6, exemplu de sistem pentru electrizarea particulelor aflate într-un recipient sau tub capilar dielectric prin inversarea bruscă a polarității tensiunii aplicate între electrozii în formă de bară ai capcanei electrodinamice liniare ale căror axe sunt plasate în plan vertical;	13 15
- fig. 7, exemplu de sistem pentru electrizarea particulelor aflate într-un recipient sau tub capilar dielectric folosind o sursă de radiație ionizantă și utilizând ca exemplu un recipient cilindric.	17
Sistemul de menținere în stare de levitație pentru microparticule și nanoparticule în recipiente și tuburi capilare înlătură dezavantajele metodelor menționate mai sus, conform invenției, este alcătuit dintr-un recipient de formă arbitrară care poate fi deschis la ambele capete, închis la un capăt și deschis la celălalt capăt, închis complet la ambele capete sau închis parțial la ambele capete, confecționat dintr-un material dielectric, conține particulele ce urmează a fi menținute în stare de levitație și este introdus între electrozii unei capcane electrodinamice liniare. Materialul dielectric din care este confecționat recipientul poate fi, conform invenției, transparent, semitransparent sau opac. Recipientul, conform invenției, poate avea diverse forme și dimensiuni, poate fi inclusiv un tub capilar, și poate fi umplut cu un gaz, un amestec de gaze sau poate fi vidat. Sistemul include în compunerea sa, conform invenției, o capcană electrodinamică liniară. O capcană electrodinamică liniară este formată dintr-un șir de electrozi având forma unor bare cilindrice, în număr par, paralele și echidistante, punctele de intersecție dintre axele lor și un plan perpendicular acestora situându-se pe conturul unui cerc. Suplimentar, în plane perpendiculare electrozilor în formă de bară, la o anumită distanță unul față de celălalt și la distanță egală față de fiecare din electrozii în formă de bară, sunt amplasați alți doi electrozi denumiți în continuare electrozi capac. Capcana electrodinamică liniară la care face referire prezenta invenție poate avea un număr arbitrar de electrozi, cu condiția că acest număr să fie par și mai mare sau cel puțin egal cu 4. Numărul de electrozi în formă de bară determină ordinul câmpului multipolar obținut în spațiul dintre acestia. Astfel, un câmp electric cuadrupolar este generat de către 4 electrozi în formă de bară, un câmp electric hexapolar este generat de către 6 electrozi în formă de bară, un câmp electric octopolar este generat de către 8 electrozi în formă de bară, s.a.m.d. Polarizarea electrozilor capcanei electrodinamice liniare depinde de numărul acestora, unii dintre electrozi fiind conectați la surse de curent continuu în timp ce alții sunt conectați la o sursă de curent alternativ, astfel încât în spațiul dintre aceștia să ia naștere un câmp electric multipolar. În spațiul dintre electrozii capcanei electrodinamice liniare, de-a lungul dreptei care unește cei doi electrozi capac, câmpul electric este nul, formându-se o groapă de potențial. Drept consecință se poate demonstra că, în anumite condiții (vezi R. F. Wuerker, H. Shelton, R. V. Langmuir, Journal of Applied Physics, 30, 342-349 (1959) și H. Winter, H. W. Ortjohann, American Journal of Physics, 59, 807- 813 (1991)) particule solide electrizate	19 21 23 25 27 29 31 33 35 37 39 41 43 45 47

aflate în interiorul spațiului delimitat de electrozii unei capcane electrodinamice pot fi menținute în suspensie într-o regiune situată la mijlocul distanței dintre electrozi, pentru un timp îndelungat și fără contact mecanic cu nici un alt element constructiv. Prezenta invenție se bazează pe această caracteristică particulară a câmpurilor electrice multipolare. Condițiile fizice în care realizează o astfel de stare, cunoscută sub numele de levitație, depind de sarcina specifică  $Q / M$  a particulelor electrizate, de dimensiunile electrozilor capcanei electrodinamice, de valoarea tensiunilor electrice continue aplicate acestora precum și de amplitudinea, respectiv frecvența tensiunii electrice alternative aplicate acestora. În cazul general al unei capcane electrodinamice liniare cu  $2N$  electrozi în formă de bară, unde  $N = 2, 3, \dots$  este un număr natural, atunci când tensiunile continue aplicate electrozilor sunt nule iar coordonata polară  $r$  este mult mai mică decât distanța  $r_0$  dintre axa capcanei și suprafața electrozilor în formă de bară, câmpul electric multipolar generat în regiunea din apropierea axei capcanei, în punctul definit de coordonatele polare  $r$  și  $\phi$ , este aproximat de relația (vezi: O. Asvany, S. Schlemmer, International Journal of Mass Spectrometry, 279, 147-155 (2009)):

$$\Phi(r, \phi, t) = V_0 (r_0 / r)^N \cos(N\phi) \sin(2\pi f_0 t)$$

unde  $V_0$  reprezintă amplitudinea tensiunii alternative aplicate electrozilor,  $f_0$  frecvența acesteia, iar  $t$  timpul. De exemplu, în cazul în care tensiunile continue aplicate electrozilor sunt nule, pentru o capcană cuadrupolară cu  $N = 2$ , pe baza relațiilor teoretice (vezi: R. E. March, Journal of Mass Spectroscopy, vol 32, 351-369 (1997) și J. Pedregosa, C. Champenois, M. Houssin, M. Knoop, International Journal of Mass Spectrometry, 290, 100- 105 (2010)) se poate deduce că menținerea în stare de suspensie a particulelor, în condiții optime, are loc dacă:

$$\frac{Q}{M} < \frac{1,816\pi^2 r_0^2 f_0^2}{V_0}$$

Amplitudinea  $V_0$  și frecvența  $f_0$  tensiunii alternative, precum și valoarea tensiunilor continue aplicate electrozilor capcanei electrodinamice liniare pot fi modificate, conform invenției, în scopul găsirii unor valori optime din punctul de vedere al îndeplinirii condiției mai sus menționate, al vizibilității și numărului de particule aflate în stare de levitație. Unul dintre electrozii în formă de bară ai capcanei electrodinamice liniare, este, conform invenției, detașabil permițând introducerea sau extragerea unui recipient dielectric în spațiul dintre electrozii săi. Unul sau ambii electrozi capac ai capcanei electrodinamice liniare, conform invenției, pot culisa de-a lungul axei sale permițând introducerea în spațiul dintre electrozi recipient dielectrici de diferite lungimi.

Particulele din recipientul sau tubul capilar pot fi electrizate, conform invenției, prin una din următoarele metode:

- electrizarea ca urmare a contactului fizic reciproc dintre particulele aflate în recipientul dielectric fără a fi necesară existența unor electrozi suplimentari sau a altor surse de ionizare;
- interacția cu pereții dielectrici ai recipientului fără a fi necesară existența unor electrozi suplimentari sau a altor surse de ionizare;
- aplicarea unui puls electric de înaltă tensiune asupra unui electrod de forma unui fir subțire care traversează recipientul paralel cu axa sa longitudinală și care este amplasat în apropierea suprafeței sale interioare;
- aplicarea unei supratensiuni electrice suprapusă peste tensiunea de alimentare a unuia dintre electrozii capcanei electrodinamice liniare;

- schimbarea bruscă a polarității tensiunii continue dintre electrozii în formă de bară ai capcanei electrodinamice liniare ale căror axe sunt plasate în plan vertical, manual sau folosind un comutator electronic;

- utilizarea unei surse de radiație ionizantă, care poate fi, fără a se limita la acestea, radiație ultravioletă, radiație X sau radiații emise de către o sursă radioactivă.

Este descris în continuare un exemplu de realizare a sistemului de menținere în stare de levitație pentru microparticule și nanoparticule în recipiente și tuburi capilare. În exemplul prezentat sistemul include în compunerea sa o capcană electrodinamică cuadrupolară liniară, cu 4 electrozi în formă de bară.

În fig. 1 sunt prezentate secțiunea longitudinală respectiv două secțiuni transversale ale sistemului de menținere în stare de levitație pentru microparticule și nanoparticule în recipiente și tuburi capilare dielectrice din compunerea căruia face parte o capcană electrodinamică cuadrupolară liniară cu 4 electrozi, paraleli și echidistanți, fiecare având forma unei bare cilindrice, notați prin **1a**, **1b**, **1c** și **1d**. Geometric, electrozii **1a**, **1b**, **1c** și **1d** sunt dispuși în spațiu astfel încât, în orice punct de-a lungul acestora, secțiunea lor transversală, care este de forma unei suprafețe circulare, este tangentă unui cerc 3 de rază  $r_0$ . Conform cu fig. 1, axele electrozilor **1a** și **1b** se află în plan vertical, în timp ce axele electrozilor **1c** și **1d** se află în plan orizontal. Conform cu fig. 1, dreapta 4 paralelă cu electrozii în formă de bară **1a**, **1b**, **1c** și **1d**, situată la distanță egală față din fiecare dintre aceștia va fi denumită în continuare axa capcanei electrodinamice liniare. Coaxial cu axa 4 sunt amplasați cei doi electrozi capac, **2a** și **2b**, de formă cilindrică. Electrozii **2a** și **2b** pot fi ambii perforați, unul perforat și celalalt neperforat sau ambii neperforați. În exemplu din fig. 1, ambii electrozi **2a** și **2b** sunt perforați de-a lungul axei lor longitudinale permițând trecerea unei raze laser **5** ceea ce face posibilă vizualizarea particulelor **10** aflate în stare de levitație, localizate în vecinătatea axei **4**. În acest scop o rază laser **5** generată de către o sursă externă de radiație laser **6** este direcționată de-a lungul axei **4**. Sursa externă de radiație laser **6** poate să lipsească dacă în cursul utilizării sistemului descris în prezenta invenție particulele **10** aflate în stare de levitație fie sunt observate direct, fie sunt observate emisiile radioactive sau emisiile de radiații X datorate acestora. Particulele solide **10** care urmează a fi menținute în stare de levitație sunt introduse, conform invenției, într-un recipient **8** care la rândul său este fixat în spațiul delimitat de electrozii **1a**, **1b**, **1c**, **1d**, **2a** și **2b** ai capcanei electrodinamice liniare. Din punct de vedere mecanic, recipientul **8** poate fi poziționat prin intermediul a două inele distanțoare **9a** și **9b** dispuse la capetele sale. Ansamblul electrozilor **1a**, **1b**, **1c**, **1d**, **2a** și **2d**, alimentați electric conform cu exemplul din fig. 3 alcătuiesc o capcană electrodinamică liniară cuadrupolară. Dacă sarcina specifică  $Q / M$  a particulelor **10** îndeplinește condiția menționată mai înainte, iar recipientul **8** este realizat dintr-un material dielectric, particulele **10**, electrizate prin una din metodele de mai sus, inițial așezate datorită gravitației în partea de jos a recipientului **8** și aflate inițial în contact cu pereții acestuia, se deplasează pe verticală în sus, se desprind de pereții recipientului **8**, rămânând în final localizate pentru un timp îndelungat în jurul și de-a lungul axei **4**, fără contact cu pereții recipientului **8**, conform cu exemplul din fig. 1. Radiația **12** provenită de la particulele **10** aflate în stare de levitație, observată într-un plan perpendicular pe axa **4**, poate fi radiație optică împrăștiată de către acestea, emisii radioactive sau radiații X generate de către acestea fie ca urmare a interacției cu câmpuri sau surse externe de radiație fie datorate emisiilor proprii. Această radiație ce traversează pereții recipientului **8** și care trece printre electrozii în formă de bară **1a** și **1d**, este observată cu ajutorul instrumentului **13** care poate fi, fără a se limita la acestea, ochiul

unui operator uman, obiectivul unui microscop sau al altui instrument optic, o cameră CCD, un foto multiplicator sau o arie formată din una sau mai multe celule fotoelectrice, un contor Geiger sau orice alt fel de senzor care permite punerea în evidență a emisiilor radioactive sau de raze X.

Instrumentul **13** este orientat astfel încât direcția **11** pentru care sensibilitate sa este maximă să fie perpendiculară pe axa **4** și să treacă printre electrozii **1a** și **1d**. Conform invenției, unul sau ambii electrozi, **2a** și **2b**, pot culisa de-a lungul axei **4** astfel încât poate fi modificat volumul spațiului interior delimitat de către aceștia. În fig. 1 este exemplificată posibilitatea deplasării electrodului **2b** de-a lungul axei **4**, noua sa poziție fiind reprezentată prin linie întreruptă. În acest mod pot fi introduse în spațiul dintre electrozii **1a, 1b, 1c, 1d, 2a** și **2d**, recipiente **8** de diferite lungimi. Conform invenției unul sau mai mulți din electrozii **1a, 1b, 1c** și **1d**, sunt detașabili permițând introducerea sau extragerea recipientului **8** ce conține particulele **10** și care urmează a fi menținute în stare de levitație. În fig. 1 este exemplificată posibilitatea detașării electrodului **1a** pentru a putea introduce recipientul dielectric **8** în spațiul dintre electrozii **1a, 1b, 1c, 1d, 2a** și **2d**, noua sa poziție fiind reprezentată prin linie întreruptă. În exemplul din fig. 1, după introducerea recipientului **8** în spațiul dintre electrozii **1b, 1c, 1d, 2a** și **2d**, electrodul **1a** se monteaza în poziția inițială reprezentată prin linie continuă. Recipientul **8** este realizat, conform invenției, dintr-un material dielectric transparent, semitransparent sau opac, cum este de exemplu polipropilena sau polistirenul. Recipientul **8** poate avea diverse forme și dimensiuni, secțiunea sa transversală poate varia de-a lungul axei sale longitudinale, poate avea sau nu simetrie cilindrică, poate fi deschis la ambele capete, închis la un capat și deschis la celălalt capat, închis complet la ambele capete sau închis parțial la ambele capete. Dimensiunile maxime ale secțiunii transversale a recipientului confecționat din material dielectric **8** trebuie să fie astfel încât să permită amplasarea acestuia între electrozii **1a, 1b, 1c, 1d, 2a** și **2b**. Dimensiunile interioare minime ale recipientului **8** confecționat din material dielectric trebuie să fie mai mari decât diametrul particulelor care urmează a fi menținute în stare de levitație. În acest fel pot fi folosite recipiente având diverse forme și dimensiuni, inclusiv tuburi capilare. În exemplul din fig. 1, recipientul **8** este cilindric și închis complet la ambele capete.

În fig. 2 sunt prezentate în secțiune longitudinală și secțiune transversală exemple pentru diverse variante constructive ale recipientului **8**. În fig. 2, recipientul **8a** este închis la ambele capete, este de formă cilindrică cu secțiune transversală circulară, constantă de-a lungul axei sale, recipientul **8b** este închis la un capat și deschis la altul, este de formă cilindrică cu secțiune transversală circulară, constantă de-a lungul axei sale, recipientul **8c** este deschis la ambele capete, este de formă cilindrică cu secțiune transversală circulară, constantă de-a lungul axei sale, recipientul **8d** este închis la ambele capete, este de formă cilindrică cu secțiune transversală cliptică, constantă de-a lungul axei sale, recipientul **8e** este închis la ambele capete, este de forma unui paralelipiped, cu secțiune dreptunghiulară, cu secțiune constantă de-a lungul axei sale, recipientul **8f** este închis la ambele capete, este de forma a doi cilindri cu axele paralele, cu secțiune transversală circulară, secțiune constantă de-a lungul axelor lor, așezați unul lângă altul și aflați în contact, comunicând unul cu celalat în zona de contact prin fante executate de-a lungul generatoarei comune, recipientul **8g** este închis la ambele capete, este de forma unui cilindru cu secțiune transversală circulară, constantă de-a lungul axei sale, închis la fiecare din cele două capete prin două suprafețe fiecare având forma unui trunchi de con, recipientul **8h** este închis la ambele capete și are forma unui elipsoid de rotație, recipientul **8i** este închis la ambele capete și are



forma unui trunchi de con cu secțiune transversală circulară. Varianta adoptată pentru recipientul **8** depinde de instrumentul, instalația sau echipamentul în care este încorporat sistemul, de natura, forma și dimensiunile particulelor **10** și de scopul pentru care acestea sunt menținute în stare de levitație.

În fig. 3 este exemplificat circuitul de alimentare electrică a electrozilor capcanei electrodinamice liniare cu **4** electrozi în formă de bară. Doi din electrozii opuși, în forma de bară, anume **1c** și **1d** în exemplul din fig. 3, sunt conectați la o tensiune electrică alternativă înaltă  $U_a$  având amplitudinea  $V_0$  și frecvența  $f_0$ , furnizată de către modulul electronic **14**. Între cei doi electrozi în formă de bară ale caror axe sunt plasate în plan vertical, anume **1a** și **1b** în exemplul din fig. 3, se aplică o tensiune electrică continuă  $U_x$  a cărei polaritate poate fi schimbată cu ajutorul comutatorului **18**. Acesta poate fi un comutator manual, ca în exemplul din fig. 3, sau un comutator electronic **26** comandat de către un generator de pulsuri **27**, ca în exemplul din fig. 6.

Funcție de poziția comutatorului **18** tensiunea electrică  $U_x$  este furnizată fie de sursa reglabilă de tensiune **16** fie de sursa reglabilă de tensiune **17**. Electrozii capac **2a** și **2b** sunt conectați împreună la o altă tensiune electrică continuă  $U_z$  furnizată de sursa reglabilă de tensiune **15**. Tensiunile  $U_a$ ,  $U_x$  și  $U_z$  se masoară față de electrodul la care este conectat la masă și al cărui potențial electric este considerat potențial de referință.

Sistemul de electrozi astfel alcătuit și polarizat electric generează în spațiul dintre aceștia un câmp electric cuadrupolar. Tensiunea electrică alternativă  $U_a$  generează câmpul electric cuadrupolar în spațiul dintre electrozii capcanei. Tensiunea electrică continuă  $U_x$  compensează efectul câmpului gravitațional și permite deplasarea în plan vertical a ansamblului format din particulele **10** aflate în stare de levitație. Tensiunea electrică continuă  $U_z$  are rolul de a stabili mișcarea particulelor aflate în stare de levitație de-a lungul axei **4**. Pentru a atinge condițiile optime din punctul de vedere al stabilității în timp și spațiu, al vizibilității și numărului de particule aflate în stare de levitație, conform invenției, amplitudinea  $V_0$  și frecvența  $f_0$  tensiunii alternative  $U_a$  aplicate, precum și valoarea tensiunilor continue  $U_x$  și  $U_z$  pot fi modificate. În acest scop modulul electronic **14** este prevăzut cu posibilitatea modificării amplitudinii  $V_0$  și frecvenței  $f_0$  a tensiunii alternative  $U_a$  furnizate la ieșire în timp ce sursele reglabile de tensiune continuă **15**, **16** și **17**, sunt prevăzute cu posibilitatea modificării tensiunii de ieșire.

În fig. 4 este prezentat exemplul unui sistem de electrizare a particulelor **10**, care, conform invenției, constă în aplicarea unui puls electric de înaltă tensiune  $U_p$  pe un electrod introdus în recipientul dielectric **8**. Conform cu exemplul din fig. 4, fără a fi limitat la aceasta, electrodul respectiv poate consta dintr-un fir subțire conductor **22** care traversează recipientul **8** paralel cu axa **4** și amplasat în apropierea suprafeței interioare a recipientului **8** pentru a nu perturba semnificativ distribuția câmpului electric din regiunea axei **4**. Firul conductor **22** este conectat la modulul electronic **23** care furnizează la ieșirea sa pulsuri de înaltă tensiune de amplitudine  $U_p$ .

În fig. 5 este prezentat exemplul unui sistem de electrizare a particulelor **10**, care, conform invenției, constă în aplicarea unei supratensiuni electrice peste tensiunea electrică continuă  $U_x$  existentă între electrozii **1a** și **1b**, pentru o scurtă perioadă de timp. În acest scop în circuitul electrodului în formă de bară **1b** este intercalată înfășurarea secundară a transformatorului ridicător de tensiune **24**. Înfășurarea sa primară este conectată la generatorul de pulsuri **25**.

În fig. 6 este prezentat exemplul unui sistem de electrizare a particulelor **10**, care, conform invenției, constă în schimbarea bruscă a polarității tensiunii continue aplicate electrozilor în formă de bară, **1a** și **1b**, ale căror axe sunt plasate în plan vertical. Acest lucru se poate face fie acționând comutatorul manual **18** fie folosind un comutator electronic **26** acționat de către un semnal extern produs de către un generator de pulsuri **27** și care schimbă, brusc polaritatea tensiunii  $U_x$ , ca în exemplul din fig. 6.

În fig. 7 este prezentat exemplul unui sistem de electrizare a particulelor **10**, prin care, conform invenției, particulele care urmează a fi aduse și menținute în stare de levitație, aflate în incinta **8** sunt supuse pentru o anumită perioadă de timp acțiunii unui fascicul de radiație ionizantă, care poate fi, fără a se limita la acestea, radiație ultravioletă, radiație X sau radiații emise de către o sursă radioactivă. Conform cu fig. 7, o sursă de radiație ionizantă **19**, este amplasată într-o poziție laterală capcanei electrodinamice liniare astfel încât dreapta **20** care unește axa **4** cu regiunea de emisivitate maximă a sursei **19** să treacă printre electrozii **1a** și **1c**.

Radiația ionizantă **21** emisă de către sursa **19** interacționează cu particulele **10** producând ionizarea suprafeței acestora și implicit electrizarea lor.

Ca exemplu, într-o capcană electrodinamică având geometria asemănătoare celei prezentate în fig. 1, cu  $r_0=5\text{mm}$ , pot fi menținute în stare de levitație, pentru un interval de timp mai mare de 1 oră, particule de alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (notate cu **10** în fig. 1) cu diametrul cuprins între 60-200  $\mu\text{m}$  aflate într-un recipient de formă cilindrică, închis la ambele capete, transparent, realizat din polipropilenă (notat cu **8** în fig. 1). Caracteristicile tensiunilor electrice aplicate electrozilor **1a**, **1b**, **1c**, **1d**, **2a** și **2b** în cazul acestui exemplu sunt:  $V_0=3.24\text{kV}$ ,  $f_0=65\text{Hz}$ ,  $U_x=1010\text{V}$ ,  $U_z=520\text{V}$ . Electrizarea particulelor de alumina din exemplul menționat mai sus s-a făcut prin schimbarea bruscă a polarității tensiunii electrice aplicate între electrozii **1a** și **1b**.

1. Sistem de menținere în stare de levitație a unui ansamblu de particule solide cu dimensiuni de ordinul micrometrilor sau nanometrilor, în recipiente și tuburi capilare, **caracterizat prin aceea că**, este format dintr-un recipient (8) de formă arbitrară, confecționat dintr-un material dielectric, introdus între electrozii unei capcane electrodinamice liniare realizată din patru electrozi paraleli și echidistanți, în formă de bară, (1a), (1b), (1c) și (1d), fiecare din aceștia având secțiunea sa transversală tangentă unui cerc (3) și din alți doi electrozi cilindrici (2a) și (2b), coaxiali cu axa (4) a capcanei electrodinamice liniare, conectați electric astfel încât între electrozii (1b) și (1a) se aplică o tensiune electrică continuă  $U_x$ , a cărei polaritate se poate schimba cu ajutorul unui comutator (18), electrozii (1c) și (1d) sunt conectați electric împreună, iar între aceștia și electrodul (1a) se aplică o tensiune electrică alternativă  $U_a$ , având amplitudinea  $V_0$  și frecvența  $f_0$ , furnizată de către un modul electronic (14), electrozii (2a) și (2b) sunt conectați electric împreună, iar între aceștia și electrodul (1a) se aplică o tensiune electrică continuă  $U_z$ . 3 5 7 9 11 13 15
2. Sistem de menținere, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, recipientul (8) este transparent, semitransparent sau opac. 17
3. Sistem de menținere, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, recipientul (8) este deschis la ambele capete, închis la un capăt și deschis la celălalt sau închis la ambele capete. 19
4. Sistem de menținere, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, recipientul (8) este umplut cu un gaz, un amestec de gaze sau este vidat. 21
5. Sistem de menținere, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, recipientul (8) are formă de tub capilar, deschis la ambele capete, închis la un capăt și deschis la celălalt sau închis la ambele capete. 23 25
6. Sistem de menținere, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, unul dintre electrozii săi în formă de bară (1a) este detașabil permițând introducerea sau extragerea recipientului (8) în spațiul dintre electrozii săi. 27
7. Sistem de menținere, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, unul sau ambii electrozi capac (2a) și (2b), pot culisa de-a lungul axei sale permițând introducerea în spațiul dintre electrozi a cel puțin un recipient (8) de diferite lungimi. 29 31
8. Sistem de menținere, conform revendicărilor 1-7, **caracterizat prin aceea că**, mai conține un electrod suplimentar (22) introdus în recipientul (8) sub forma unui fir subțire conductor care traversează recipientul (8) paralel cu axa sa longitudinală și care este amplasat în apropierea suprafeței sale interioare, pe care se aplică un puls electric de înaltă tensiune generat de către un alt modul electronic (23). 33 35
9. Sistem de menținere, conform revendicărilor 1-7, **caracterizat prin aceea că**, mai conține un transformator ridicător de tensiune (24) intercalat în circuitul electric al electrozilor (1a) și (1b), primarul sau fiind conectat la un generator de pulsuri (25) și care produce o supratensiune electrică ce se suprapune peste tensiunea electrică continuă  $U_x$  existentă între electrozii (1a) și (1b). 37 39 41
10. Sistem de menținere, conform revendicărilor 1-7, **caracterizat prin aceea că** schimbarea bruscă a polarității tensiunii electrice continue dintre electrozii (1a) și (1b), se realizează printr-un comutator electronic (26) acționat de către un semnal extern produs de un generator de pulsuri (27). 43 45

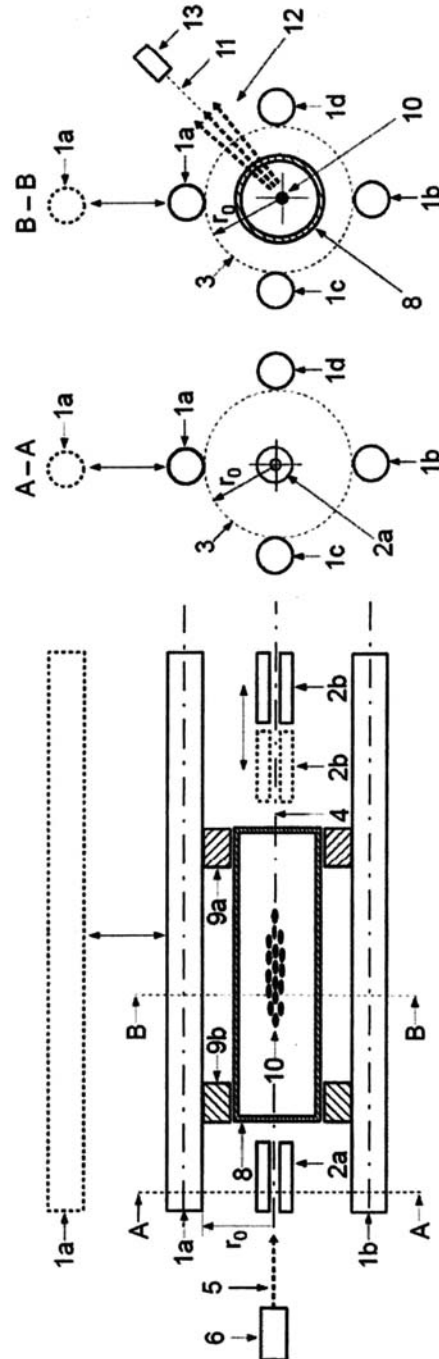
## RO 129406 B1

- 1                    11. Sistem de menținere, conform revendicărilor 1-7, **caracterizat prin aceea că**, mai  
conține o sursă de radiație ionizantă **(19)** care poate fi, fără a se limita la acestea, de radiație  
3 ultravioletă, radiație X sau radiații emise de către o sursă radioactivă, amplasată într-o poziție  
laterală capcanei electrodinamice liniare astfel încât dreapta **(20)** care unește axa capcanei  
5 **(4)** cu regiunea de emisivitate maximă a sursei **(19)** să treacă printre electrozii în formă de  
bară ai capcanei electrodinamice liniare.

**(51) Int.Cl.**

***H01J 3/40*** (2006.01).

**B82Y 99/00** (2011.01)



**Fig. 1**

(51) Int.Cl.

H01J 3/40 (2006.01),

B82Y 99/00 (2011.01)

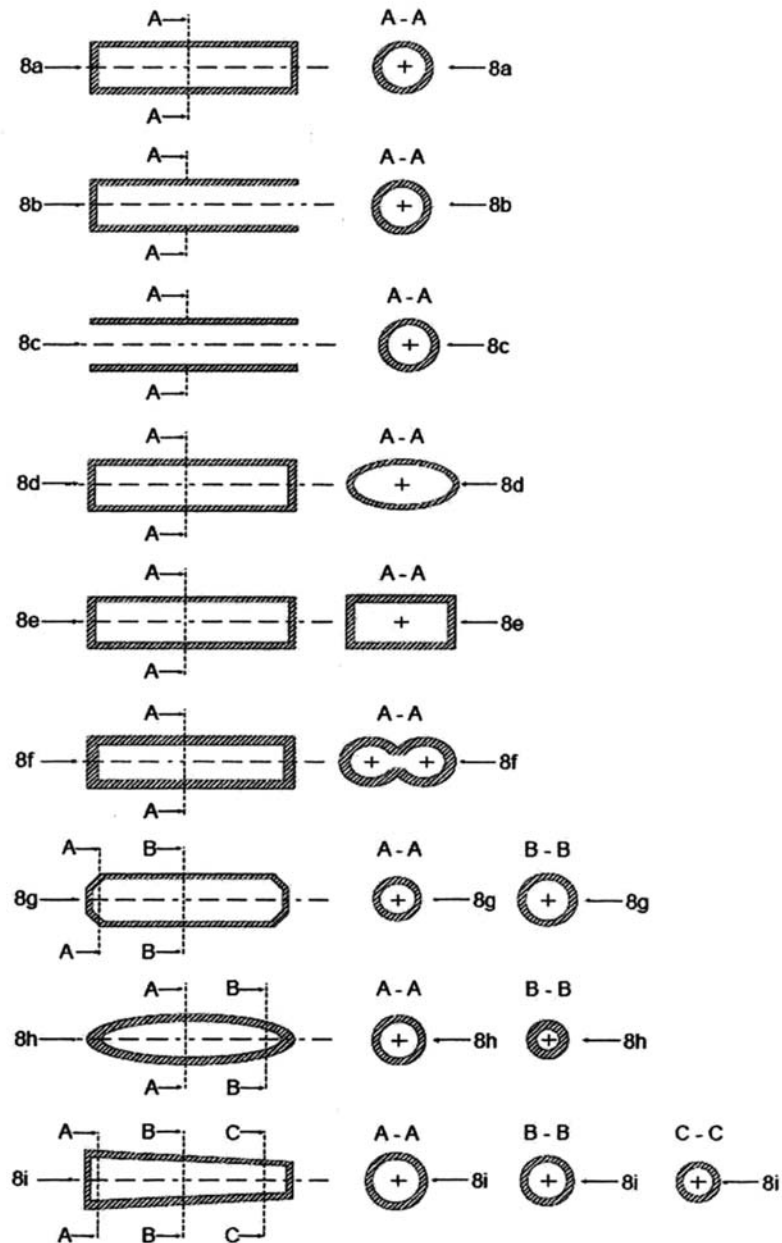


Fig. 2

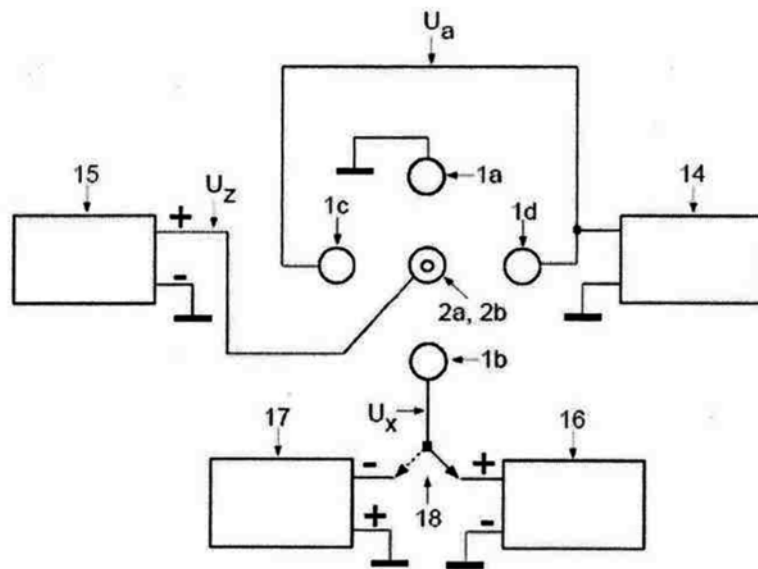


Fig. 3

(51) Int.Cl.

H01J 3/40 (2006.01),

B82Y 99/00 (2011.01)

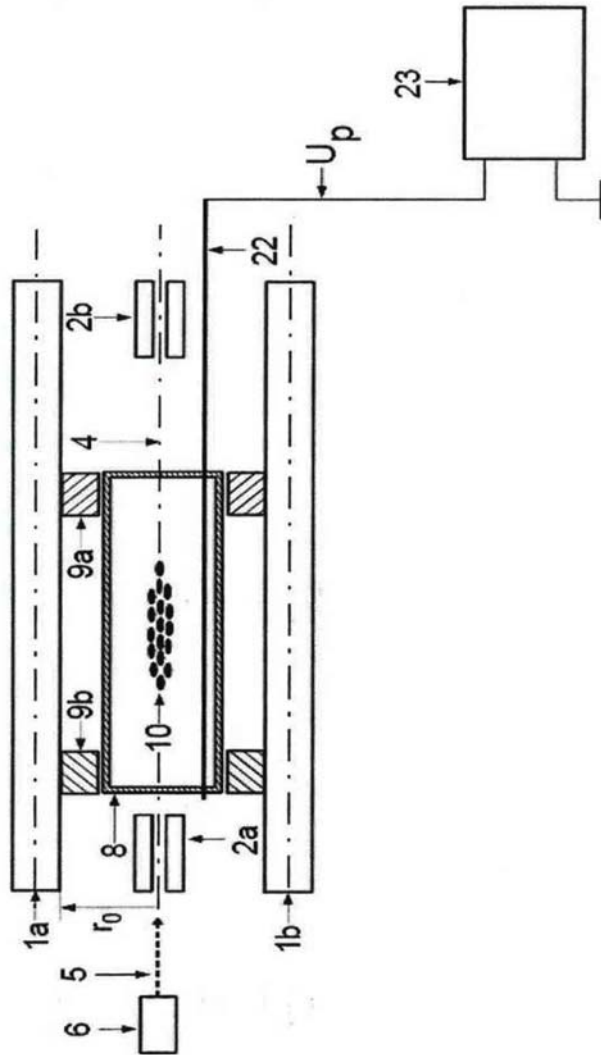
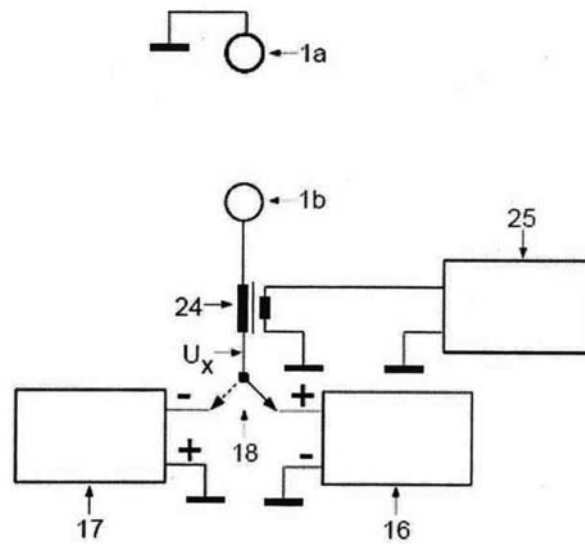


Fig. 4

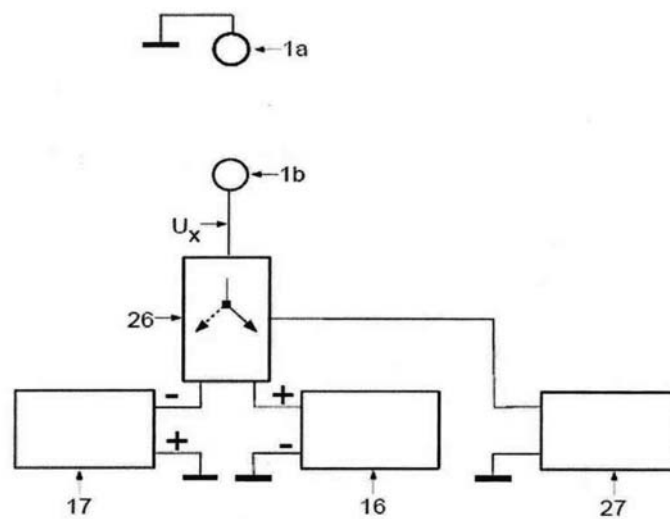


**(51) Int.Cl.**

**H01J 3/40** (2006.01);  
**B82Y 99/00** (2011.01)



**Fig. 5**



**Fig. 6**

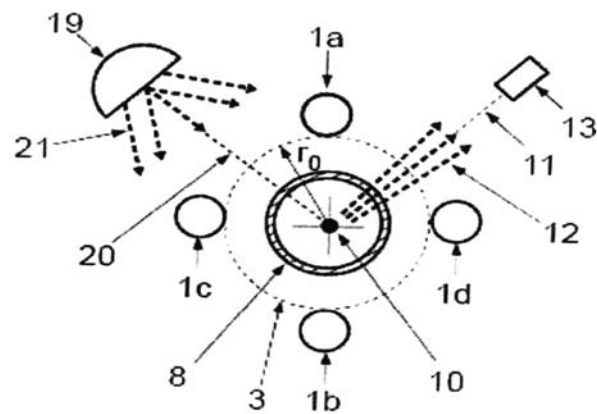


Fig. 7