

(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2018 00350**

(22) Data de depozit: **17/05/2018**

(41) Data publicării cererii:
29/11/2018 BOPI nr. **11/2018**

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

(72) Inventatori:
• **MIHALCEA BOGDAN-VASILE,
STR. CÂMPIA LIBERTĂȚII NR. 14,
BRAGADIRU, IF, RO;**
• **STOICAN OVIDIU-SORIN,
STR. FIZICIENILOR NR. 6, BL. 4, SC. 2,
ET. 2, AP. 26, MĂGURELE, IF, RO;**
• **GANCIU-PETCU MIHAI, STR. BÎRNOVA
NR. 6, BL. M111C, SC.1, ET.4, AP. 23,
SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **SURMEIAN AGAVNI, STR.BRUTUS NR.7,
SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO**

(54) CAPCANĂ LINIARĂ CUADROPOLARĂ SEGMENTATĂ

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o capcană liniară cuadropolară segmentată, destinată levitării, manipulării sau extracției selective de particule încărcate electric, cu dimensiuni micrometrice sau nanometrice. Capcana conform invenției constă dintr-un sistem de electrozi alcătuit din patru bare metalice, paralele și echidistante, două dintre acestea fiind dispuse în plan vertical, iar celelalte două fiind dispuse în plan orizontal, precum și din doi electrozi-capac, suplimentari, amplasați la capetele sistemului de electrozi și în prelungirea acestora, la o anumită distanță, care constau, fiecare, din patru bare metalice paralele și echidistante, într-una dintre variante, sau dintr-un tub metallic cilindric gol, coaxial cu axa longitudinală a capcanei, într-o altă variantă de realizare a acesteia. Capcana realizată funcționează în aer, în condiții standard de temperatură și presiune (STP). Sistemul de electrozi al capcanei este alimentat în curent alternativ, pentru a genera câmpul de stocare, și în curent continuu. Geometria segmentată a capcanei permite utilizarea mai multor variante de alimentare electrică, ceea ce facilitează manipularea și extracția selectivă a particulelor încărcate electric, și funcționarea aparatului ca spectrometru de masă.

Revendicări: 3
Figuri: 7

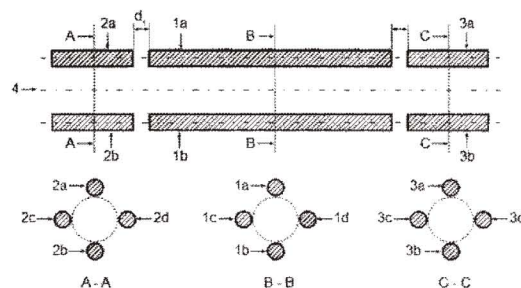


Fig. 1



DESCRIEREA INVENȚIEI

CAPCANĂ LINIARĂ CUADRUPOLARĂ SEGMENTATĂ

Invenția se referă la un sistem de electrozi, alcătuit din 4 bare metalice, paralele și echidistante, două din acestea fiind dispuse în plan vertical în timp ce celelalte două sunt dispuse în plan orizontal, precum și din doi electrozi capac amplasați la capetele acestor electrozi, fiecare din aceștia constând din patru bare metalice paralele într-una din variante, respectiv dintr-un tub metalic cilindric gol, coaxial cu axa longitudinală a capcanei, într-o altă variantă. Sistemul de electrozi realizați, localizați în spațiu și alimentați electric conform invenției, constituie o capcană liniară cuadrupolară segmentată. Aceasta permite menținerea în stare de levitație, în spațiul interior delimitat de cei patru electrozi bară, a unui ansamblu de particule solide, aerosoli sau micropicături cu dimensiuni micrometrice (având dimensiuni cuprinse în intervalul 0.1-100 μ m) sau nanometrice (având dimensiuni cuprinse în intervalul 1-100 nm), care vor fi denumite în continuare, indiferent de dimensiunile, starea de agregare sau natura lor, *particule*, fără contact mecanic cu elect

rozii capcanei sau cu un alt element de susținere. Particulele aflate în stare de levitație, confinate în acest mod, vor fi denumite în continuare *particule stocate*. Mediul în care sunt stocate particulele poate fi lichid sau gazos. În cazul mediului gazos, presiunea gazului poate varia de la presiuni în domeniul ultravidului (mai mici de 10^{-7} Pa), până la presiuni mai mari decât presiunea atmosferică. Particulele pot fi confinate indiferent de valoarea accelerației gravitaționale din spațiul dintre electrozi. De asemenea, capcana liniară cuadrupolară segmentată ce face obiectul invenției poate fi folosită pentru manipularea sau extracția selectivă a particulelor stocate. Prin *extracție selectivă* denumim operația de transport în afara spațiului delimitat de electrozi a particulelor stocate a căror sarcină specifică q/m aparține unui anumit domeniu de valori, unde q și m reprezintă sarcina, respectiv masa particulei.

Capcana liniară cuadrupolară segmentată ce face obiectul invenției poate fi folosită, fără a se limita la aceasta, ca parte componentă a echipamentelor sau sistemelor utilizate atât în aplicații practice cât și în laborator, pentru:

- detecția, manipularea, extracția selectivă, studiul proprietăților fizice, chimice și optice a poluanților aflați în stare solidă sau sub formă de micropicături, existenți în atmosferă;
- experimente biologice implicând investigații asupra celulelor, bacteriilor, diferitelor specii de polen, biomolecule și fragmente ADN;
- experimente biologice în condiții de microgravitație care necesită confinarea probelor într-o zonă bine definită din spațiu, în condiții de minimă perturbație;

- investigatii chimice asupra materialelor aflate sub formă de pulbere;
- realizarea de ținte pentru laserii de mare și foarte mare putere;
- stocarea de particule în zone multiple ale capcanei și transportul lor între acestea. Această operație este extrem de importantă pentru realizarea de calculatoare cuantice.

Datorită configurației particulare a sistemului de electrozi și alimentării lor electrice, în spațiul interior delimitat de aceștia se generează un potențial electric efectiv care confinează armonice particulele stocate într-o regiune de minim a câmpului, în condiții de stabilitate dinamică. Ca urmare, particulele stocate a căror sarcină specifică q/m aparține unui anumit domeniu de valori determinat de dimensiunile electrozilor și de tensiunile aplicate, sunt confinate în spațiul interior delimitat de electrozi. Pentru detecția, studiul și caracterizarea particulelor stocate, se aplică un fascicul laser orientat de-a lungul axei capcanei. Radiația laser împrăștiată de către particulele stocate este apoi analizată de către detectori sau senzori optici, orientați perpendicular pe axa capcanei sau la un anumit unghi față de aceasta.

De-a lungul timpului au fost descrise și/sau realizate mai multe tipuri de balanțe electromagnetice (capcane cuadrupolare), inclusiv capcane realizate în geometrie liniară, cuadrupolară sau multipolară. Astfel în brevetul 109684C1/1994, *Instalație miniaturizată, pentru stocarea de microparticule ionizate*, este descrisă o instalație miniaturizată destinată confinării de microparticule formată din trei electrozi inelari. Deși permite aplicarea unui fascicul laser în orice punct al regiunii ocupate de particulele stocate, dezavantajul acestui tip de geometrie de capcană constă în faptul că raportul semnal-zgomot este redus datorită stocării unui număr relativ limitat de particule, exclusiv în regiunea localizată în apropierea electrozului central. Capcanele liniare au avantajul că permit creșterea raportului semnal/zgomot, implicit al numărului de nanoparticule confinate. În cazul acestora particulele sunt menținute în stare de levitație în spațiul interior delimitat de electrozii bară și electrozii capac. Pentru compensarea forței gravitaționale, între două din barele opuse, dispuse în plan vertical, se aplică o tensiune electrică continuă. O particulă este menținută în stare de levitație, în condiții de stabilitate, atunci când câmpul electric echilibrează (compensează) forța gravitațională pe care aceasta o resimte, conform relației $qE = mg$, unde q reprezintă sarcina electrică a particulei, m este masa sa, E reprezintă valoarea intensității câmpului electric în punctul respectiv, iar g este accelerația gravitațională. Deoarece sarcina specifică a particulelor q/m prezintă o dispersie iar câmpul electric E este neomogen, teoretic, particulele pot fi confinate în orice punct din spațiul delimitat de electrozii bară ai capcanei. Prin urmare, pentru a efectua o diagnoză completă a particulelor stocate, este necesar ca fasciculul laser să poată fi aplicat pe direcție axială în raport cu axa longitudinală a capcanei, perpendicular pe

orice punct al secțiunii transversale a acesteia. În brevetul RO 111401 B1/1996, *Capcană liniară în aer pentru microplasmă ordonată*, este descrisă o capcană liniară cuadropolară formată din 4 electrozi în formă de bară cilindrică și 2 electrozi capac în formă de disc dispuși central, orientați perpendicular pe axa capcanei. Aceștia obturează un eventual fascicul laser aplicat de-a lungul axei capcanei. În articolul *O. S. Stoican, B. Mihalcea, V. Gheorghe, "Miniaturized microparticle trapping setup with variable frequency"*, *Romanian Reports in Physics*, 53, 3-8, pp. 275-280 (2001) este descrisă o capcană liniară cuadropolară având lungime variabilă, în care unul din electrozii capac este perforat pentru a permite aplicarea radiației laser exclusiv într-o regiune îngustă cu raza de circa 1 mm, localizată de-a lungul axei capcanei. Particulele stocate în afara acestei regiuni nu pot interacționa cu radiația laser. O soluție asemănătoare este descrisă în *P. Hilz et al, "Isolated proton bunch acceleration by a petawatt laser pulse"*, *Nature Communications*, (2018)9:423 unde o capcană electrodinamică liniară cu 4 bare este utilizată în scopul poziționării unei ținte solide pentru un laser de mare putere ce furnizează pulsuri cu durata de 500 fs și energia de 150 J. Dezavantajul acestei soluții este că fasciculul laser poate fi aplicat numai din direcție radială, printre barele capcanei.

Modelul de utilitate RO 2011 00045 U1 *Capcană Paul liniară dodecapolară* descrie o capcană (balanță) electrodinamică formată din 12 electrozi în formă de bară cilindrică și 2 electrozi capac în formă de disc, din care unul este perforat. Ca și în cazul precedent, radiația laser nu poate fi aplicată decât particulelor stocate localizate în regiunea axei longitudinale a capcanei.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în aceea că permite aplicarea radiației laser în orice regiune a spațiului în care sunt confinate particule stocate, fără a fi necesare modificări ale geometriei capcanei.

Sistemul de electrozi care formează o capcană liniară segmentată înlătură dezavantajele soluțiilor existente, menționate mai sus, prin aceea că fiecare din electrozii săi capac sunt realizați conform invenției, din patru bare metalice, paralele cu electrozii bară ai capcanei și localizați la o anumită distanță față de aceștia pentru asigurarea izolației electrice, într-una din variante, sau dintr-un tub metalic cilindric gol, coaxial cu axa longitudinală a capcanei, situat la o anumită distanță pentru a asigura izolația electrică, într-o altă variantă. În oricare din variante, conform invenției, electrozii capac pot fi alimentați electric la același potențial, dacă se dorește confinarea particulelor în spațiul dintre electrozi, sau la potențiale diferite dacă se dorește manipularea sau extracția selectivă a particulelor stocate.

Fața de soluțiile anterioare, configurația de electrozi la care face referire invenția prezintă avantajul că expune întreaga secțiune transversală a capcanei permițând astfel aplicarea unui fascicul laser pe direcția axială a capcanei, la oricare din extremitățile capcanei, în oricare punct în raport cu axa longitudinală a capcanei.

Se dau în continuare două exemple de realizare a invenției în legătură cu Figura 1, Figura 2, Figura 3, Figura 4, Figura 5 și Figura 6 care reprezintă:

- Figura 1, secțiune longitudinală și trei secțiuni transversale corespunzătoare planurilor A-A, B-B și C-C ale capcanei liniare cudrupolare segmentate realizate conform invenției, în varianta în care fiecare dintre electrozii săi capac constă din patru bare metalice paralele cu electrozii bară ai capcanei.

- Figura 2, secțiune longitudinală și trei secțiuni transversale corespunzătoare planurilor A-A, B-B și C-C ale capcanei liniare cudrupolare segmentate realizate conform invenției, în varianta în care fiecare dintre electrozii săi capac constă dintr-un tub metalic cilindric gol, coaxial cu axa longitudinală a capcanei.

- Figura 3, schema alimentării electrice a electrozilor capcanei liniare cudrupolare segmentate, în varianta în care fiecare dintre electrozii săi capac constă din patru bare metalice paralele cu electrozii bară ai capcanei liniare

- Figura 4, schema alimentării electrice a electrozilor capcanei liniare cudrupolare segmentate, în varianta în care fiecare dintre electrozii săi capac constă dintr-un tub metalic cilindric gol, coaxial cu axa longitudinală a capcanei.

- Figura 5, amplasarea sistemului de detectori pentru analiza radiației laser împrăștiate de către particulele stocate.

- Figura 6, aplicarea unui fascicul laser, paralel cu axa longitudinală a capcanei și la o anumită distanță față de aceasta.

- Figura 7, aplicarea radiației laser asupra particulelor stocate folosind un expandor de fascicul.

În Figura 1 este reprezentată o secțiune longitudinală și trei secțiuni transversale corespunzătoare planurilor A-A, B-B și C-C ale capcanei liniare cudrupolare segmentate realizate conform invenției, în varianta în care fiecare dintre electrozii săi capac constă din patru bare metalice paralele cu electrozii bară ai capcanei liniare. Aceasta este formată, conform invenției, din 4 electrozi **1a**, **1b**, **1c** și **1d** realizați din bare metalice, paralele și echidistante, două din acestea, **1a** și **1b** fiind dispuse în plan vertical în timp ce celelalte două **1c** și **1d**, sunt dispuse în plan orizontal, precum și din doi electrozi capac situați la capetele acestor electrozi, fiecare din electrozii capac constând din patru bare metalice, anume **2a**, **2b**, **2c** și

2d, respectiv **3a**, **3b**, **3c** și **3d**, paralele între ele, paralele cu axa longitudinală **4** a capcanei, paralele cu electrozii bară ai capcanei **1a**, **1b**, **1c** și **1d**, cu diametrul egal cu al acestora, dispuse de-a lungul axelor acestora. Pentru asigurarea izolației electrice, electrozii capac formați din barele **2a**, **2b**, **2c** și **2d**, respectiv barele **3a**, **3b**, **3c** și **3d**, sunt situați la distanțele d_1 și respectiv d_2 , care pot fi egale sau diferite, față de electrozii bară **1a**, **1b**, **1c** și **1d**.

În Figura 2 este reprezentată o secțiune longitudinală și trei secțiuni transversale corespunzătoare planurilor A-A, B-B și C-C ale capcanei liniare cudrupolare segmentate realizate conform invenției, în varianta în care fiecare dintre electrozii săi capac constă dintr-un tub metalic cilindric gol cu diametrul interior egal cu distanța dintre barele capcanei. Aceasta este formată, conform invenției, din 4 electrozi **1a**, **1b**, **1c** și **1d** realizați din bare metalice, paralele și echidistante, două din acestea, **1a** și **1b** fiind dispuse în plan vertical, în timp ce celelalte două **1c** și **1d**, sunt dispuse în plan orizontal, precum și din doi electrozi capac amplasați la capetele acestor electrozi, fiecare din electrozii capac constând dintr-un tub cilindric metalic gol, anume **5**, respectiv **6**, coaxial cu axa longitudinală a capcanei **4**. Pentru asigurarea izolației electrice, electrozii capac **5**, respectiv **6**, sunt situați la distanțele d_1 și respectiv d_2 , care pot fi egale sau diferite, față de electrozii bară **1a**, **1b**, **1c** și **1d**.

În Figura 3 este prezentată schema alimentării electrice a electrozilor capcanei liniare cudrupolare segmentate, în varianta în care fiecare dintre electrozii săi capac sunt realizați conform cu Figura 1. Astfel, electrozii bară **1c** și **1d** situați în plan orizontal, sunt conectați împreună la o tensiune electrică alternativă înaltă U_a de amplitudine V_0 și frecvența f_0 , furnizată de către sursa de tensiune alternativă **7**. Între electrozii bară **1a** și **1b**, situați în plan vertical se aplică o tensiune electrică continuă U_x , furnizată de sursa reglabilă de tensiune **8**, a cărei polaritate poate fi schimbată cu ajutorul comutatorului **9**. Tensiunea U_x generează câmpul electric E cu ajutorul căruia se compensează câmpul gravitațional. Barele **2a**, **2b**, **2c** și **2d**, care formează unul din electrozii capac sunt conectate la tensiunea continuă U_{z1} furnizată de sursa reglabilă de tensiune **10**. Barele **3a**, **3b**, **3c** și **3d** care formează celălalt electrod capac, sunt conectate la tensiunea continuă U_{z2} furnizată de sursa reglabilă de tensiune **11**. Tensiunile U_{z1} și U_{z2} pot fi egale, atunci când se urmărește confinarea particulelor în spațiul interior delimitat de electrozii capcanei, sau pot fi diferite atunci când se urmărește deplasarea sau extracția selectivă a particulelor existente în spațiul interior delimitat de electrozii capcanei. Tensiunile U_a , U_x , U_{z1} și U_{z2} , se măsoară față de electrodul **1a** care este conectat la masă, și al cărui potențial electric este considerat egal cu zero.

În Figura 4 este prezentată schema alimentării electrice a electrozilor capcanei liniare cudrupolare segmentate, în varianta în care fiecare dintre electrozii săi capac sunt realizați

conform cu Figura 2. Astfel, electrozii bară **1c** și **1d** amplasați în plan orizontal, sunt conectați împreună la o tensiune electrică alternativă înaltă U_a de amplitudine V_0 și frecvența f_0 , furnizată de către sursa de tensiune alternativă **7**. Între electrozii bară **1a** și **1b** situați în plan vertical, se aplică o tensiune electrică continuă U_x , furnizată de sursa reglabilă de tensiune **8** a cărei polaritate poate fi schimbată cu ajutorul comutatorului **9**. Tensiunea U_x generează câmpul electric E cu ajutorul căruia se compensează câmpul gravitațional. Tubul cilindric metalic gol **5**, care formează unul dintre electrozii capac este conectat la tensiunea continuă U_{z1} furnizată de sursa reglabilă de tensiune **10**. Tubul cilindric metalic gol **6** care formează celălalt electrod capac este conectat la tensiunea continuă U_{z2} furnizată de sursa reglabilă de tensiune **11**. Tensiunile U_{z1} și U_{z2} pot fi egale, atunci când se urmărește confinarea particulelor în spațiul interior delimitat de electrozii capcanei, sau pot fi diferite atunci când se urmărește deplasarea sau extracția selectivă a particulelor confinate în spațiul interior delimitat de electrozii capcanei. Tensiunile U_a , U_x , U_{z1} și U_{z2} , se măsoară față de electrodul **1a** care este conectat la masă și al cărui potențial electric este considerat egal cu zero.

În Figura 5 este ilustrată amplasarea sistemului de detectori **12**, perpendicular pe axa capcanei **4**, folosit pentru analiza radiației laser împrăștiate **13** de către particulele stocate **14**, menținute în stare de levitație în spațiul interior definit de electrozii bară **1a**, **1b**, **1c** și **1d**.

În Figura 6 este prezentat modul de aplicare a fasciculului laser **15**, generat de către laserul **16**, paralel cu axa longitudinală **4**, la o anumită distanță D față de aceasta, pentru o capcană liniară cuadrupolară segmentată, realizată conform cu Figura 1. Distanța D poate fi variată prin deplasarea laserului **16** în plan vertical, fără a fi necesară modificarea geometriei sau dispunerii în spațiu a electrozilor capcanei.

În Figura 7 este prezentat modul de aplicare al radiației laser **15**, generată de laserul **16**, folosind expandorul **17**. În acest fel întreg volumul de particule stocate **14** este supus acțiunii radiației laser. Capcana liniară cuadrupolară segmentată este realizată conform cu Figura 1.

Ca exemplu de aplicare este prezentată capcana liniară cuadrupolară segmentată, realizată conform geometriei din Figura 1. Lungimea barelor capcanei **1a**, **1b**, **1c** și **1d**, confecționate din alamă, este de 50 mm, fiecare dintre acestea având diametrul de 3 mm. Distanța dintre barele **1a** și **1b**, respectiv **1c** și **1d**, este de 9 mm. Fiecare din electrozii capac **2a**, **2b**, **2c** și **2d**, respectiv **3a**, **3b**, **3c** și **3d**, este format din 4 bare din alamă de 20 mm, având diametrul de 3 mm. Distanța d dintre electrozii capac și electrozii bară este de 2 mm.

De asemenea s-a realizat o capcană liniară segmentată conform geometriei prezentate în Figura 2. În acest caz fiecare din electrozii capac constă dintr-un cilindru gol, confecționat din tablă subțire de cupru, cu lungimea de 10 mm și diametrul interior de 9 mm. Restul sistemului

de electrozi a rămas neschimbat. Cu ajutorul capcanelor descrise mai sus s-au menținut în stare de levitație, pentru un interval de timp mai mare de 1 oră, microparticule de alumină (Al_2O_3) (notate cu **14** în Figura 5, 6 și 7) cu diametrul cuprins între 60 -100 μm . Caracteristicile tensiunilor electrice aplicate electrozilor sunt: $V_0 = 3.5 \text{ kV}$, $f_0 = 50 \text{ Hz}$, $U_x = 0 - 1000\text{V}$, $U_{z1} = 0 - 1000\text{V}$, $U_{z2} = 0 - 1000\text{V}$.

REVENDICĂRI

1. Capcană liniară cuadrupolară, destinată stocării, manipulării sau extracției selective de particule cu dimensiuni micrometrice sau nanometrice, **caracterizată prin aceea** că fiecare dintre electrozii săi capac este format din patru bare metalice, și anume **2a, 2b, 2c și 2d**, respectiv **3a, 3b, 3c și 3d**, paralele între ele, paralele cu axa longitudinală a capcanei **4**, paralele cu electrozii bară ai capcanei **1a, 1b, 1c și 1d**, dispuse de-a lungul axelor acestora și situați față de aceștia la distanțele d_1 , respectiv d_2 , pentru asigurarea izolației electrice.
2. Capcană liniară cuadrupolară, destinată stocării manipulării sau extracției selective de particule cu dimensiuni micrometrice sau nanometrice, **caracterizată prin aceea** că fiecare dintre electrozii săi capac constă dintr-un tub cilindric metalic gol **5**, respectiv **6**, coaxiali cu axa longitudinală **4** a capcanei, situați la distanțele d_1 , respectiv d_2 , față de electrozii bară **1a, 1b, 1c și 1d**, pentru asigurarea izolației electrice.
3. Capcană liniară cuadrupolară, destinată stocării manipulării sau extracției selective de particule cu dimensiuni micrometrice sau nanometrice, ai cărui electrozi capac sunt realizați conform revendicării 1 sau revendicării 2, **caracterizată prin aceea** că este folosită pentru poziționarea și menținerea țintelor pentru laserii de mare putere sau foarte mare putere, fasciculul laser fiind aplicat pe direcția axială a capcanei, în orice punct din spațiul dintre electrozii bară ai capcanei **1a, 1b, 1c și 1d**.

DESENE EXPLICATIVE

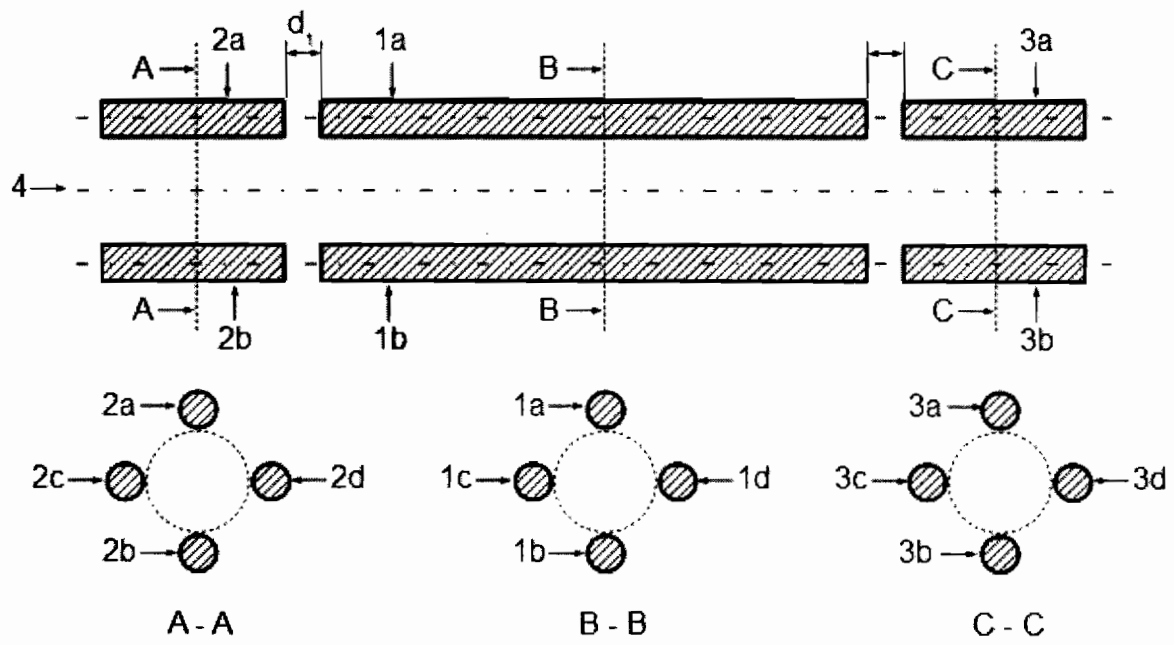


Figura 1

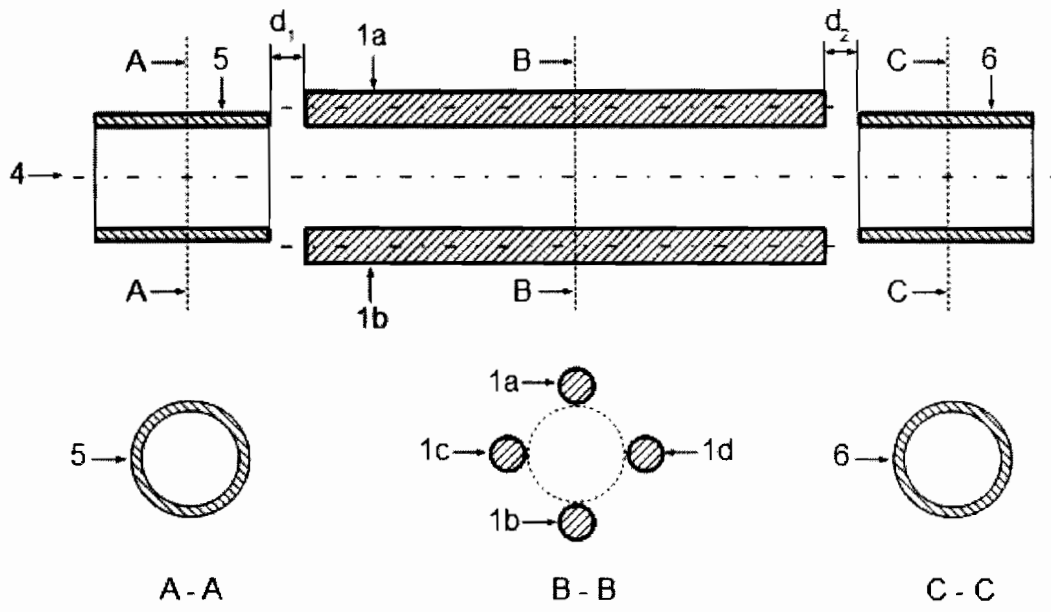


Figura 2

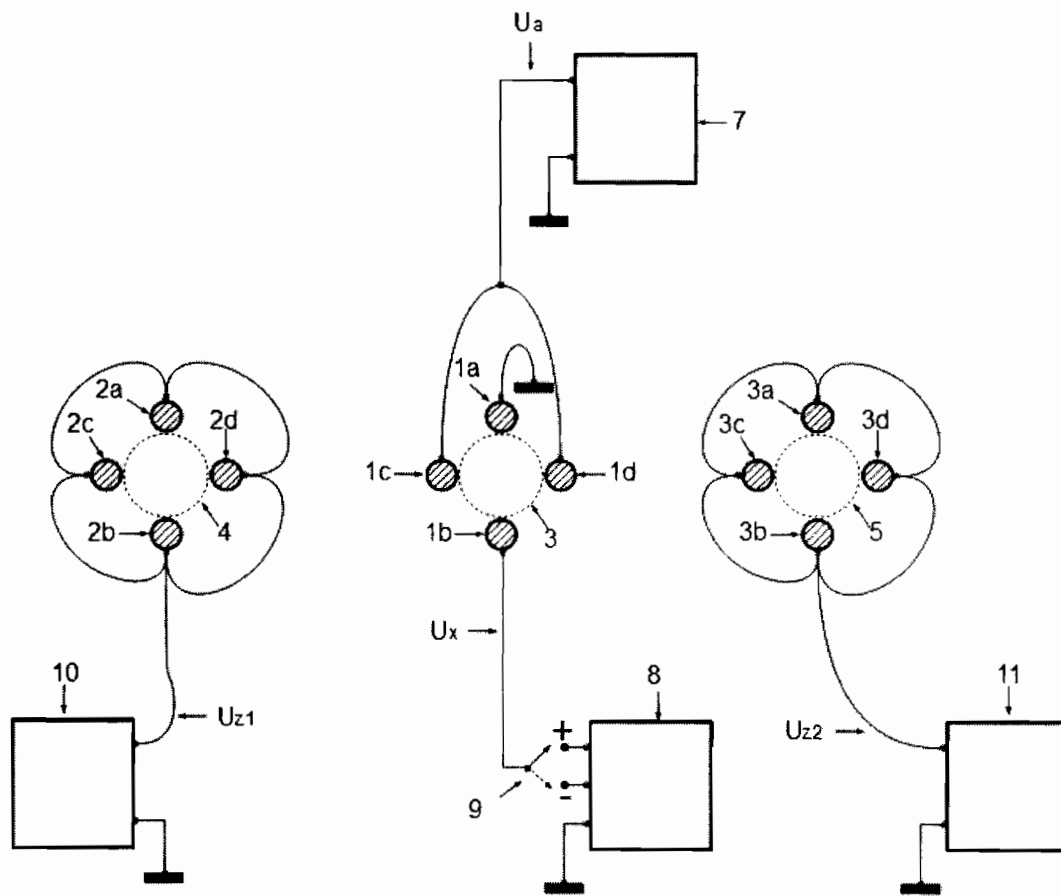


Figura 3

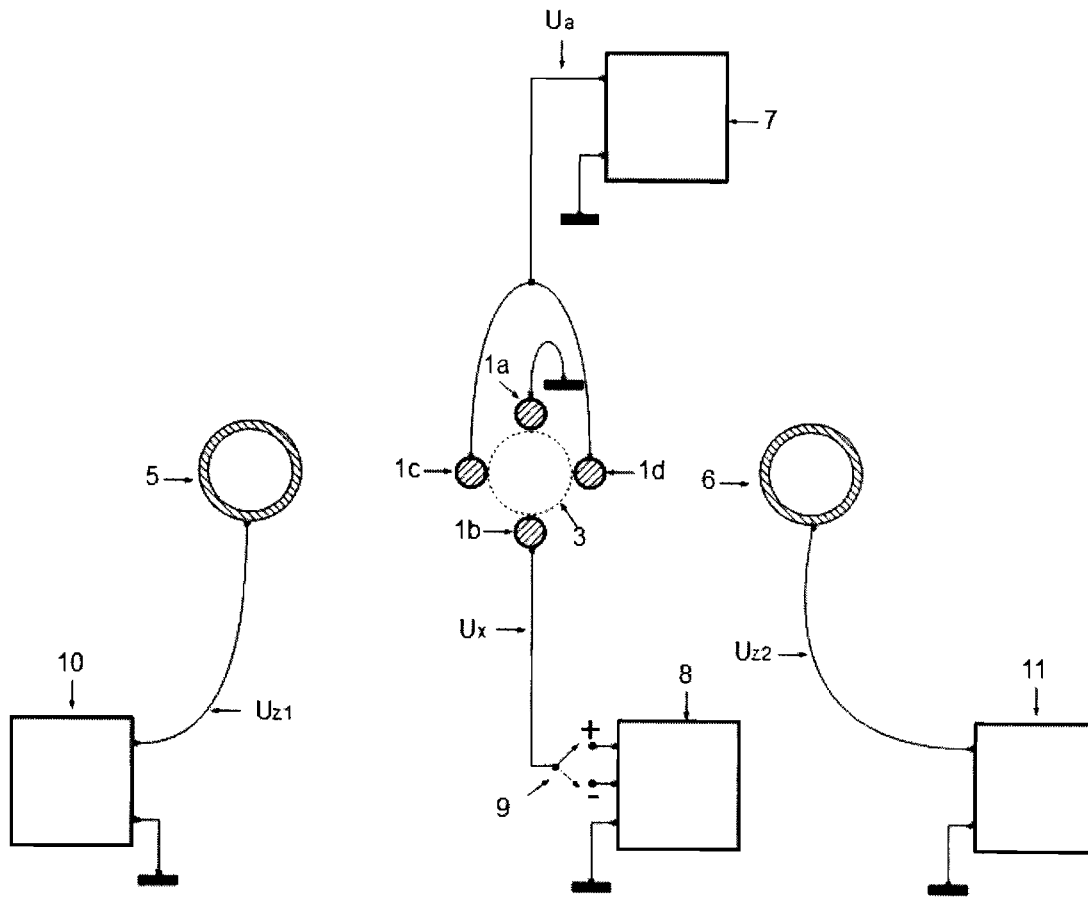


Figura 4

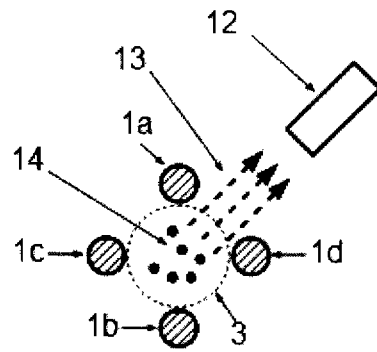


Figura 5

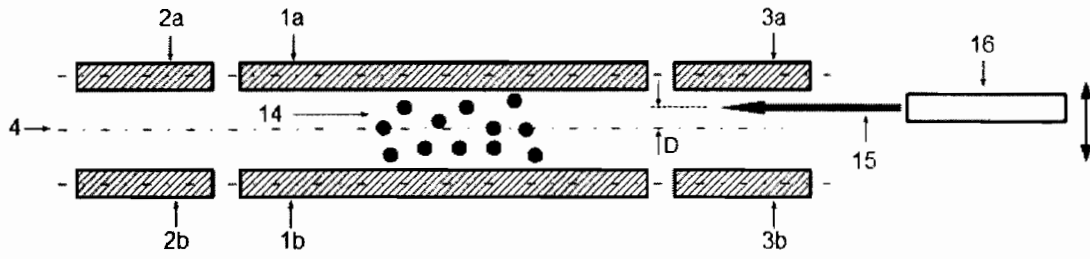


Figura 6

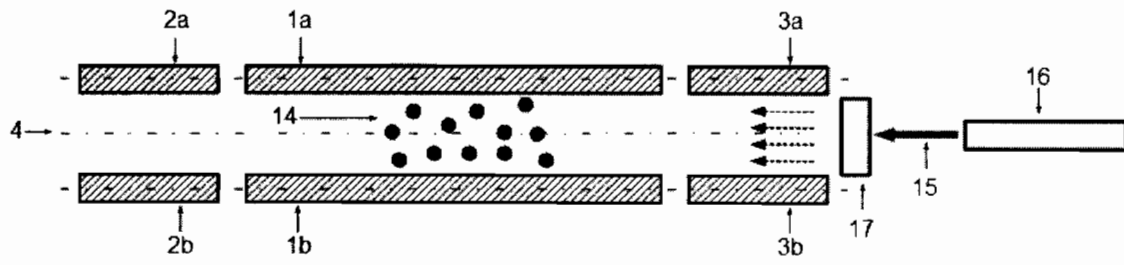


Figura 7