

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2021 00383

(22) Data de depozit: 02/07/2021

(41) Data publicării cererii:  
30/03/2022 BOPI nr. 3/2022

(71) Solicitant:  
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE  
- DEZVOLTARE PENTRU FIZICĂ ȘI  
INGINERIE NUCLEARĂ "HORIA  
HULUBEI"(IFIN-HH), STR.REACTORULUI,  
NR.30, MĂGURELE, IF, RO

(72) Inventatori:  
• BĂLĂCEANU ALEXANDRU, STR.BÂRCĂ  
NR.21, BL.M10, ET.1, AP.5, SECTOR 5,  
BUCUREȘTI, B, RO;  
• DOBRE FLORINA-MĂDĂLINA, STR.SÎRBI  
NR.13, DĂRĂȘTI, IF, RO;  
• GHERGHEL-LASCU ALEXANDRU,  
STR.COZIA, NR.53, PLOIEȘTI, PH, RO;

• NICULESCU-UGLINZANU MIHAI,  
STR.UNIRII, NR.3, AP.5, POGOANELE, BZ,  
RO;  
• MOȘU TOMA-ȘTEFAN,  
STR.PROGRESULUI NR.8 A,  
COMUNA BERCEI, IF, RO;  
• SĂFTOIU ALEXANDRA,  
STR.DRUMUL TABEREI NR.92, BL.C7,  
AP.175, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;  
• SMĂU RALUCA-IOANA, STR.MĂRĂȚEI  
NR.5, BL.S6, SC.C, ET.3, AP.53,  
PIATRA NEAMȚ, NT, RO;  
• STANCA DENIS-IULIAN,  
STR.ING.NICOLAE TEODORESCU, NR.10,  
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;  
• VANCEA CĂTĂLIN-AURELIAN,  
STR.BALABANU NR.605,  
COMUNA ȘTEFAN CEL MARE, AG, RO

(54) DETECTOR MODULAR HIBRID DE ÎNALTĂ REZOLUȚIE  
PENTRU MĂSURAREA FLUXULUI DIRECȚIONAL DE MIUONI  
SECUNDARI ÎN APLICAȚII DE MIUOGRAFIE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un detector modular, hibrid, de înaltă rezoluție, pentru măsurarea fluxului direcțional de muoni secundari în aplicații de miuografie, în vederea scanării obiectelor sau a unor zone ale obiectelor având dimensiuni similare cu detectorul. Detectorul conform invenției cuprinde două elemente de detecție complementare, cu rezoluții diferite, amplasate la distanțe variabile și operate în coincidență, și anume: două plane (1 și 4) de detecție constând în două suprafețe de material scintilator plastic, plasate una deasupra celeilalte la o distanță variabilă, care înregistrează trecerea muonilor prin fenomenul de scintilație și, respectiv, două plane (2 și 3) de detecție, amplasate între primele plane de detecție (1 și 4), alcătuite din suprafețe de detecție de tip GEM (Gas Electron Multiplier), plasate de asemenea una deasupra celeilalte la distanță variabilă, o instalație de gaz care furnizează debite foarte mici de mixtură de Ar-CO<sub>2</sub> în proporții de 70%- 30%, precum și componente electronice, senzori și sistem de achiziție de date.

Revendicări: 1  
Figuri: 2

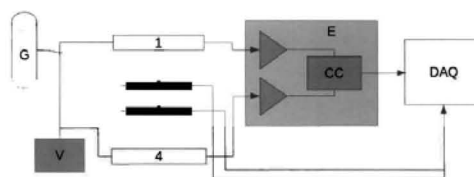


Fig. 2

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



BREVET DE INVENȚIE Nr. <u>02021 00383</u> Depozit <u>0207 2021</u>
--

SECRET

SECRET DE SERVICIU

5/72 28.06.2021

Căminul de Stat pentru Invenții și Mărci Informații Clasificate INTRARE Nr. <u>5/72</u> din <u>020721</u>
--

## DESCRIERE

Brevet

**Detector modular hibrid de înaltă rezoluție pentru măsurarea fluxului direcțional de muoni secundari în aplicații de miuografie**

**Domeniul tehnic la care se referă invenția. Stadiul tehnicii**

Miuografia este o tehnică nouă ce a început să se dezvolte în anii '70 și, odată cu progresul tehnic și creșterea vitezei achiziției de date, a ajuns să fie utilizată în tot mai multe aplicații. Miuografia este o tehnică similară cu radiografia și este utilizată în scopul scanării neinvazive a unui obiect/volum. Dacă în cazul radiografiei clasice se utilizează raze X ce pot pătrunde în interiorul obiectului și apoi pot fi înregistrate după ce au interacționat cu acesta, în cazul miuografiei nu sunt utilizate surse artificiale, ci sunt utilizați muonii secundari din radiația cosmică, componentă a fondului natural de radiație. Acești muoni secundari sunt particule elementare generate în atmosfera terestră în urma interacției radiației cosmice primare cu nucleeele din atmosferă. Termenul de 'secundar' provine din faptul că muonii sunt un rezultat al interacțiunii ce are loc în atmosferă, nu sunt generați într-o sursă astrofizică așa cum este radiația cosmică primară. Fondul de muoni este astfel un fond natural care există pe toată suprafața terestră și la care viața pe Terra s-a adaptat.

La nivelul solului, muonii ajung cu un spectru energetic care se întinde pe multe ordine de mărime de la keV la sute de TeV. Acest spectru energetic are o descreștere, odată cu creșterea energiei, care urmează spectrul energetic al radiației cosmice primare. De asemenea, datorită distribuției izotrope a radiației cosmice primare în combinație cu distanța parcursă prin atmosferă a particulelor secundare generate de aceasta, distribuția unghiurilor de incidență ale muonilor secundari prezintă un spectru care descrește odată cu creșterea unghiului zenital [Grieder2001].

Miuonul, fiind de 206 ori mai greu decât electronul, și pierzând puțină energie, este o particulă ce pătrunde ușor prin materie, fiind prezent chiar și în subteran până la adâncimi de ~10 km. Astfel poate fi utilizat pentru scanarea neinvazivă a obiectelor, a volumelor de rocă sau a infrastructurii. Miuografia și numeroasele sale aplicații sunt prezentate în Review-uri precum [Procureur2018, Bonechi2020, Bonomi2020].

Miuografia poate fi împărțită în miuografie de deviație sau miuografie de transmisie.

În miuografia de transmisie se înregistrează fluxul de muoni secundari după ce aceștia au trecut prin volumul de interes. Detectorul este plasat sub obiectul de scanat. Informația de interes este numărul de muoni care au trecut prin volum și au ajuns la detector în raport cu numărul de muoni de deasupra detectorului. Această cantitate se numește transmisie. Transmisia poate furniza informații în legătură cu densitatea internă a volumului scanat. Miuografia prin transmisie este, în general, utilizată în vederea scanării volumelor mari, a zăcămintelor, a vulcanilor, a exploatărilor subterane sau siturilor arheologice [Alvarez1970, Zenoni2015, Saracino2017]. Poate fi utilizată și pentru scanarea de volume mici, cu condiția ca traiectoria muonilor să fie înregistrată cu o precizie ridicată.

BĂLĂCEANU ALEXANDRU  DOBRE FLORINA-MĂDĂLINA  GHERGHEL-LASCU ALEXANDRU 

NICULESCU-OGLINZANU MIHAILA  MOȘU TOMA-ȘTEFAN  SĂFTOIU ALEXANDRA 

SMĂU RALUCA-IOANA  STANCA DENIS-IULIAN  VANCEA CĂTĂLIN-AURELIAN 

~~SECRET DE SERVICIU~~

Miuografia de deviație utilizează doi detectori, unul plasat înainte ca fluxul de muoni să străbată obiectul investigat și unul plasat sub obiectul investigat, înregistrând muonii care au trecut prin obiect. În miuografia de deviație se urmărește reconstrucția deviației traiectoriei miuonului, prin împrăștiere Coulomb multiplă, care apare la trecerea prin material. Acest unghi de deviație este sensibil la densitatea materialului străbătut și crește odată cu aceasta. Deoarece această tehnică necesită doi detectori cu rezoluție în poziție ridicată, pentru a observa deviațiile mici ale traiectoriei, deoarece deviația crește cu dimensiunea volumului străbătut, această tehnică fiind utilizată pentru obiecte de dimensiuni mici. Miuografia prin deviație este aplicată cu succes în scanarea de volume în vederea sporirii securității nucleare.

În general, detectorii pentru miuografie pot avea ca volum sensibil scintilatori, emulsii nucleare sau gaz.

Detectorii cu scintilator utilizează plane de detecție segmentate pe o direcție (e.g. bare scintilatoare lungi și înguste) care, fiind plasate apoi câte doua poziționate perpendicular furnizează 'pixeli' de detecție, CRIPT [Anghel2015], MURAY [Ambrosino2014], MURAVES [Saracino2017]. Prin înregistrarea de semnal în doi sau mai mulți pixeli se poate reconstrui traiectoria miuonului. Acești detectori necesită multiple componente și câte un senzor optic pentru fiecare bară utilizată, crescându-i astfel complexitatea.

Detectorii cu gaz pentru identificarea de particule pot fi de diferite feluri, în funcție de elementele constructive care conduc la citirea semnalului efectiv, cum ar fi Rezistive Plate Chambers (RPC) [Ambrosino2015], Mulți Wire Proportional Chambers (MWPCs) [Nyitrai2016] sau detectori MPGD (Micropattern Gaseous Detector) [Sauli2016]. Detecția particulelor în gaz se produce în urma colectării sarcinilor generate în gazul respectiv prin ionizări și multiplicarea acestora în avalanșă.

### **Problema tehnică pe care o rezolvă invenția în corelație cu stadiul tehnicii**



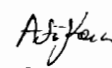
Problema pe care o abordează produsul ce face obiectul acestei invenții este scanarea de obiecte, sau zone din obiecte, prin principiul miuografiei de transmisie sau deviație, cu o rezoluție crescută, înregistrând fluxul direcțional de muoni după trecerea acestuia prin volumul scanat. Astfel se obține o îmbunătățire a calității reconstrucției traiectoriei particulei incidente și constrângerea naturii acesteia într-un mod simplu care nu necesită componente suplimentare.



Scopul final este utilizarea acestui produs, sau a mai multor module de detector de același fel, în reconstrucția cu precizie ridicată a traiectoriilor miuonilor care străbat obiecte sau zone din obiecte/volume cu dimensiuni similare cu dimensiunea detectorului.

### **Expunerea invenției**

Invenția este reprezentată de un produs, detector pentru înregistrarea fluxului direcțional de muoni secundari, compus din două elemente de detecție distincte. Detectorul este astfel hibrid. Este de asemenea compact și modular, având înălțimea variabilă, în funcție de aplicația pentru care este necesar.

BĂLĂCEANU ALEXANDRU  DOBRE FLORINA-MĂDĂLINA  GHERGHEL-LASCU ALEXANDRU 

NICULESCU-OGLINZANU MIHAILA  MOȘU TOMA-ȘTEFAN  SĂFTOIU ALEXANDRA 

SMĂU RALUCA-IOANA  STANCA DENIS-IULIAN  VANCEA CĂTĂLIN-AURELIAN 

~~SECRET DE SERVICIU~~

2/5

~~SECRET DE SERVICIU~~~~SECRET~~

Elementele detectorului care face obiectul acestei invenții sunt prezentate în figura 1 și sunt următoarele: patru plane de detecție, instalația de gaz, electronica aferentă achiziției de date. Planele de detecție 1 și 4 sunt două suprafețe de material scintilator plastic (poliviniltoluen impurificat) de 1x25x25 cm, plasate una deasupra celeilalte la distanță variabilă. Aceste plane înregistrează trecerea unui miuon prin fenomenul de scintilație și sunt operate în coincidență. Între planele 1 și 4 se află planele de detecție 2 și 3, alcătuite din suprafețe de detecție de tip GEM (Gas Electron Multiplier), plasate una deasupra celeilalte la distanță variabilă. Acestea constau în folii de cupru, depus pe suport plastic cu incizii de 50-70 μm la distanțe de 140 μm și sunt disponibile comercial. Informația este citită prin intermediul a 256 de canale (128 pentru axa x și 128 pentru axa y).

Detectorul este hibrid deoarece utilizează două tehnici de detecție diferite, detecția în gaz, în planele 2 și 3, și detecția prin scintilație, în planele 1 și 4. Aceste două tehnici sunt utilizate complementar, în coincidență, pentru a furniza traiectoria particulei incidente și pentru a valida atât traiectoria cât și natura particulei. Utilizarea planelor 1 și 4 are rolul de a furniza trigger pentru planele 2 și 3 și de a valida evenimentul ținând cont de timpul de zbor prin cele patru plane și de faptul că particula care va străbate toate planele va fi miuon cu o probabilitate de 99%, eliminând astfel zgomotul indus de electroni sau fotoni într-o manieră simplă (care nu necesită, de exemplu, ecrane sau anticoincidențe).




Rezoluția finală în reconstrucția traiectoriei este dată de rezoluția planelor GEM. Planele de detecție GEM sunt sensibile la orice particulă care le străbate. Fără a exista o coincidență cu planele 1 și 4 nu s-ar putea discerne între semnalul indus de un miuon și cel indus de un electron.


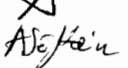
Detectorul este compact, dimensiunea exterioară fiind apropiată de dimensiunea mediului activ al planelor 1 și 4, deoarece acestea utilizează senzori optici de tip SiPM care permit miniaturizarea. Amprenta totală exterioară a detectorului este de 30x30 cm iar înălțimea este variabilă până la 1.5 m.

Distanțele variabile între planele de detecție permit scanarea de obiecte cu diverse forme/dimensiuni, prin micșorarea sau mărirea unghiului solid disponibil. Pentru distanțe mari, deci unghiuri solide mici, se va scana o porțiune îngustă dintr-un obiect. Pentru distanțe mici, deci unghiuri solide mari, se va scana un obiect de dimensiuni mai mari. De obicei, aceasta este scanarea primară a unui obiect și are avantajul ca este rapidă, urmând ca apoi să se investigheze zone mai înguste, cu un timp de expunere mai mare. Pentru unghiuri solide mici, mai puțini miuoni vor putea să genereze evenimente valide.

Detectorul este modular deoarece dispozitivul din figura 1 poate fi replicat și mai multe module de acest fel pot fi plasate unul lângă celălalt. Astfel rezultă un detector cu suprafață mai mare, fiecare modul fiind operat individual și păstrându-și rezoluția. În acest fel se reduce timpul de expunere, reducere necesară în special pentru măsurători efectuate în subteran, unde fluxul de miuoni este scăzut.

Operarea detectorului implică punerea în funcțiune a instalației de gaz care furnizează debite foarte mici de mixtură de Ar-CO<sub>2</sub> în proporții de 70%-30%, alimentarea componentelor electronice, senzori și sistem de achiziție bazat pe FPGA.

BĂLĂCEANU ALEXANDRU  DOBRE FLORINA-MĂDĂLINA  GHERGHEL-LASCU ALEXANDRU 

NICULESCU-OGLINZANU MIHAIL  MOȘU TOMA-ȘTEFAN  SĂFTOIU ALEXANDRA 

SMĂU RALUCA-IOANA  STANCA DENIS-IULIANA  VANCEA CĂTĂLIN-AURELIAN 

~~SECRET DE SERVICIU~~

3/5

~~SECRET DE SERVICIU~~~~SECRET DE SERVICIU~~**Avantajele invenției**

Detectorul, așa cum este prezentat în figura 1, prezintă următoarele avantaje:

- Permite îmbunătățirea reconstrucției traiectoriei miuonilor secundari prin utilizarea modulelor de detecție de tip GEM, complementar cu plăci scintilatoare, reconstrucție necesară în aplicații de miuografie. Planele 2 și 3 pot reconstrui cu precizie ridicată traiectoria, iar planele 1 și 4 constrâng suplimentar traiectoria și validează natura particulei incidente de interes, respingând zgomotul, fără a fi necesare alte echipamente
- Detectorul poate fi utilizat pentru scanarea de obiecte/zonă care nu pot fi scanate utilizând alte tehnici, e.g. raze X, gamma sau ultrasunete, fondul natural de miuoni fiind neinvaziv, prezent oriunde, chiar și la adâncimi de ~ 10 km în subteran
- Detectorul nu utilizează surse de emisie, fiind un detector pasiv
- Distanțele variabile între planele de detecție permit scanarea de obiecte de diverse dimensiuni
- Detectorul este modular, poate fi replicat, astfel mărindu-se suprafața de detecție
- Achiziția de date se face automat, datele sunt preluate și prelucrate în timp real, fiind disponibile eveniment cu eveniment
- Detectorul poate fi operat de la distanță, nu necesită prezența permanentă a unui utilizator. Totuși, instalația de gaz trebuie verificată/alimentată la câteva zile
- Detectorul nu prezintă risc pentru operatori, tensiunile de alimentare fiind mici (max. ~30 V), nefiind necesare surse de radiație
- Detectorul nu prezintă risc pentru mediu, nu utilizează componente toxice sau inflamabile

**Explicarea figurilor**

Figura 1 – schema detectorului

- 1,4 – plane de detecție cu scintilator
- 2,3 – plane de detecție GEM
- E – electronica sistemului de achiziție și alimentare
- G – elementele instalației de gaz Ar-CO<sub>2</sub> 70%-30%

Figura 2 – Schema tehnică a detectorului cu elementele constitutive și relațiile funcționale dintre acestea

- 1,4 – plane de detecție cu scintilator
- 2,3 – plane de detecție GEM
- E – electronica sistemului de achiziție și alimentare
- G – elementele instalației de gaz Ar-CO<sub>2</sub> 70%-30%
- V – sursa de alimentare High Voltage 30 V și Low Voltage 5 V
- CC – unitatea de coincidență
- DAQ – sistemul de achiziție

BĂLĂCEANU ALEXANDRU *B* DOBRE FLORINA-MĂDĂLINA *DF* GHERGHEL-LASCU ALEXANDRU *AL*

NICULESCU-OGLINZANU MIHAILA *M* MOȘU TOMA-ȘTEFAN *MS* SĂFTOIU ALEXANDRA *AS*

SMĂU RALUCA-IOANA *SI* STANCA DENIS-IULIAN *DI* VANCEA CĂTĂLIN-AURELIAN *CA*

~~SECRET DE SERVICIU~~




4/5

~~SECRET DE SERVICIU~~~~NESECRET~~**Aplicare industrială**



Detectorul ce permite scanarea de obiecte sau zone din obiecte cu dimensiuni similare cu detectorul este destinat aplicațiilor de miuografie, tehnică recent dezvoltată și care a permis investigarea non-invazivă în multiple cazuri, de la supravegherea materialului radioactiv și lupta împotriva contrabandei cu material radioactiv și până la scanarea de vulcani, structuri arheologice și galerii subterane pentru evaluarea riscului de apariție a unor eventuale surpări. Acest tip de detector poate deveni comercial cu aplicații în scanarea non-invazivă.

**Bibliografie**

- [Alvarez1970] L.W. Alvarez, Search for hidden chambers in pyramids, Science 167 (1970) 832  
 [Ambrosino2014] F. Ambrosino et al., The MU-RAY project: detector technology and first data from Mt. Vesuvius, JINST 9 (2014) C0209  
 [Ambrosino2015] F. Ambrosino et al., Joint measurement of the atmospheric muon flux through the Puy de Dome volcano with plastic scintillators and resistive plate chambers detectors, J. geophys. Res. 120 (2015) 7290  
 [Anghel2015] V. Anghel, A plastic scintillator-based muon tomography system with an integrated muon spectrometer, NIM A 798 (2015) 12-23  
 [Bonechi2020] L. Bonechi et al., Atmospheric muons as an imaging tool, Reviews in Physics 5 (2020) 100038  
 [Bonomi2020] G. Bonomi, Applications of cosmic ray muons, Progress in particle and Nuclear Physics 112 (2020) 20180060  
 [Grieder2001] P. K. F. Grieder, Cosmic Rays at Earth, ISBN: 0-444-507-108, 2001, Elsevier  
 [Niytrai2016] G. Niytrai et al., High Efficiency Gaseous Tracking Detector for Cosmic Muon Radiography, Advances in High Energy Physics (2016) 1962317  
 [Procureur2018] S. Procureur et al., Muon imaging: Principles, technologies and applications, NIM A 878 (2018) 169-179  
 [Saracino2017] G. Saracino et al., The MURAVES muon telescope: technology and expected performances. Ann. Geophys. Italy 60 (2017) S0103  
 [Sauli2016] F. Sauli, The gas electron multiplier (GEM): Operating principles and applications, NIM A 805 (2016) 2-24  
 [Zenoni2015] A. Zenoni et al., Historical building stability monitoring by means of a cosmic ray tracking system, 2014 4th International Conference on Advances in Nuclear Instrumentation Measurements Methods and their Applications (ANIMMA), Lisbon, Portugal, pp. 1-8

BĂLĂCEANU ALEXANDRU  DOBRE FLORINA-MĂDĂLINA  GHERGHEL-LASCU ALEXANDRU 

NICULESCU-OGLINZANU MIHAI  MOȘU TOMA-ȘTEFAN  SĂFTOIU ALEXANDRA 

SMĂU RALUCA-IOANA  STANCA DENIS-IULIAN  VANCEA CĂTĂLIN-AURELIAN 

~~SECRET DE SERVICIU~~

5/5

~~SECRET~~

SECRET DE SERVICIU

S/72. 28.06.2021

## REVENDICĂRI

Brevet

Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci Informații Clasificate INTRARE Nr. <u>S/14</u> din <u>02/21</u>
---

**Detector modular hibrid de înaltă rezoluție pentru măsurarea fluxului direcțional de muoni secundari în aplicații de miuografie**

Revendicăm produsul detector hibrid, modular și compact pentru măsurarea fluxului direcțional de muoni în vederea scanării de volum în aplicații de miuografie **caracterizat prin aceea că utilizează două elemente de detecție complementare, cu rezoluții diferite, plasate la distanțe variabile, operate în coincidență, configurația propusă conducând la îmbunătățirea calității reconstrucției traiectoriei și validarea naturii particulei incidente.**

BĂLĂCEANU ALEXANDRU *[Signature]* DOBRE FLORINA-MĂDĂLINA *[Signature]* GHERGHEL-LASCU ALEXANDRU *[Signature]*

NICULESCU-OGLINZANU MIHAILA *[Signature]* MOȘU TOMA-ȘTEFAN *[Signature]* SĂFTOIU ALEXANDRA *[Signature]*

SMĂU RALUCA-IOANA *[Signature]* STANCA DENIS-IULIAN *[Signature]* VANCEA CĂTĂLIN-AURELIAN *[Signature]*

NESECRET

SECRET DE SERVICIU

5172 28.06.2021

Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci

Informații Clasificate

INTRARE

Nr. 514 din 02.07.21

DESENE

Detector modular hibrid de înaltă rezoluție pentru măsurarea fluxului direcțional de muoni secundari în aplicații de miuografie

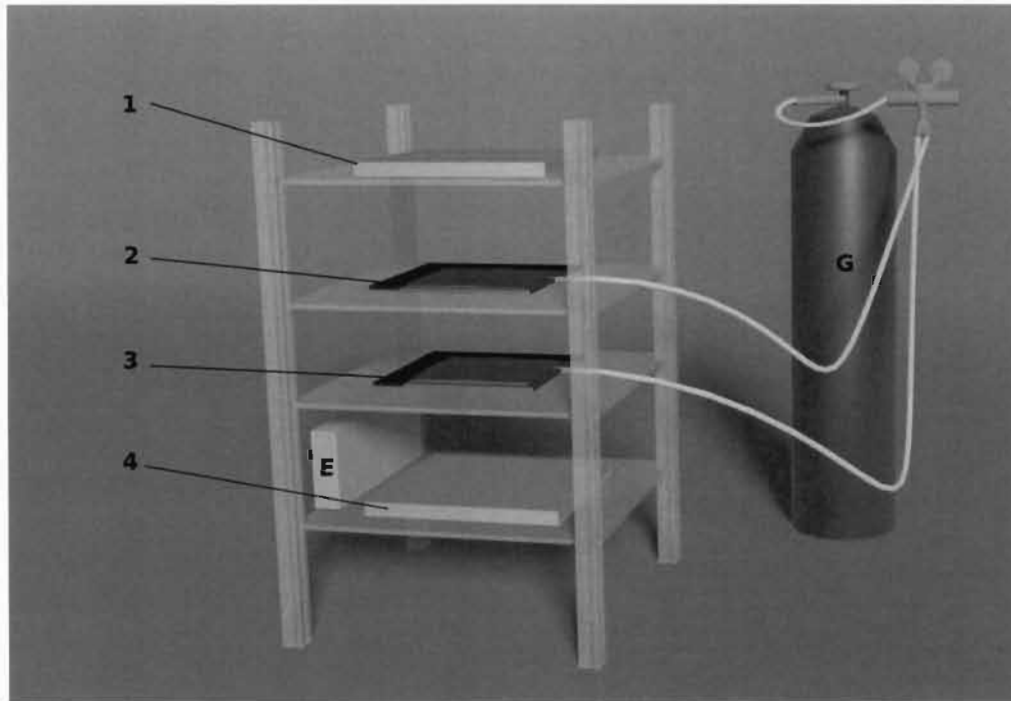


Figura 1.

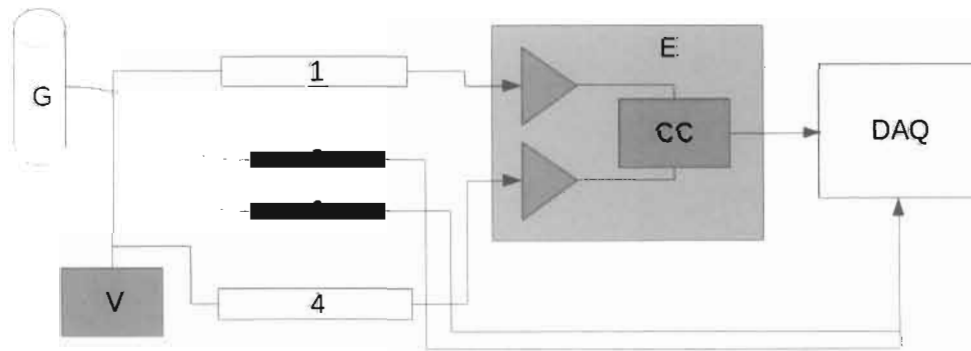


Figura 2.

BĂLĂCEANU ALEXANDRU DOBRE FLORINA-MĂDĂLINA GHERGHEL-LASCU ALEXANDRU

NICULESCU-OGLINZANU MIHAIL MOȘU TOMA-ȘTEFAN SĂFTOIU ALEXANDRA

SMĂU RALUCA-IOANA STANCA DENIS IULIAN VANCEA CĂTĂLIN-AURELIAN