

Lietuvos
Respublikos
valstybinis
patentų biuras

(11) **LT 7039 B**

(51) Int. Cl. (2023.01):

G01N 1/28
G01N 33/00

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2022 519**
(22) Paraiškos padavimo data: **2022-05-04**
(41) Paraiškos paskelbimo data: **2023-11-10**
(45) Patento paskelbimo data: **2023-12-27**

(73) Patento savininkas:
Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Fizinių ir technologijos mokslų centras, Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius, LT

(72) Išradėjas:
Vidmantas REMEIKIS, LT
Artūras PLUKIS, LT
Artur PLOTNIKOV, LT
Žilvinas EŽERINSKIS, LT
Jevgenij GARANKIN, LT
Laurynas BUTKUS, LT
Elena LAGZDINA, LT

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
Virgina Adolfiną DRAUGELIENĖ, 8, UAB TARPINĖ, A.P.Kavoliuko g. 24-152, LT-04328 Vilnius, LT

LT 7039 B

(54) Pavadinimas:
Radioanglies (¹⁴C) savitojo aktyvumo nustatymo įrenginys

(57) Referatas:

Išradimas yra susijęs su būdais ir įrenginiais, kurių pagalba vertinamas radioaktyvių bandinių aktyvumas ir jie gali būti panaudoti radioaktyviųjų atliekų charakterizavimo srityje. Be to, galimybė vertinti savitąjį aktyvumą įvairios kilmės bandiniuose suteikia galimybę pritaikyti naujus koncepcinius aktyvumo vertinimo metodus biologijos, medicinos ir medžiagotyros srityse. Pasiūlytas įrenginys leidžia įvertinti savitąjį bandinių aktyvumą esant mažam fonui. Šiuo išradimu siekiama padidinus matavimų tikslumą (sumažinus matavimų foną) įvertinti anglies kiekį bandinyje, radioanglies (¹⁴C) nulemtą bandinio aktyvumą, ¹⁴C/¹²C izotopinį santykį bei savitąjį bandinio aktyvumą tuo pačiu praplečiant įrenginio panaudojimo sritis.

TECHNIKOS SRITIS

Išradimas yra susijęs būdais ir įrenginiais, kurių pagalba vertinamas radioaktyvių bandinių aktyvumas ir jie gali būti panaudoti radioaktyviųjų atliekų charakterizavimo srityje. Be to, galimybė vertinti savitąjį aktyvumą įvairios kilmės bandiniuose suteikia galimybę pritaikyti naujus koncepcinius aktyvumo vertinimo metodus biologijos, medicinos ir medžiagotyros srityse.

TECHNIKOS LYGIS

Žinomas radioanglies (^{14}C) savitojo aktyvumo nustatymo įrenginys aprašytas 2018 metais (<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191677>) bei 2020 metais (<https://doi.org/10.15388/vu.thesis.75>).

Žinomas įrenginys susideda iš elementinio analizatoriaus (susidedančio iš autosamplerio, oksidacinės kolonėlės, kurią sudaro degintuvas ir redukcinės kolonėlės, vandens gaudyklės, chromatografinės kolonėlės, temperatūros laidumo detektoriaus (TCD)) ir beta detektavimo sistemos, susidedančios iš dviejų detektorių, dviejų priešstiprintuvių, dviejų vienkanalių analizatorių, kompiuterio bei dujų gaudyklės. Prototipiniame įrenginyje detektoriai nėra sujungti vienas su kitu, atitinkamai, duomenys registruojami nepriklausomai iš abiejų detektorių. Atlikus bandinio deginimą gaudyklių tirpalas sumaišomas su skystiniu scintiliatoriumi. Taip paruoštų bandinių aktyvumas matuojamas naudojant skystinių scintiliatrių skaitliuko (LSC) sistemą. Gautuose LSC spektruose registruojamas grynas ^{14}C β aktyvumas, kitų β spindulių neaptinkama. Remiantis gautais duomenimis apskaičiuotas ^{14}C aktyvumas sudegintame grafito bandinyje.

Žinomo įrenginio trūkumai yra šie:

- Mažas ^{14}C specifinio aktyvumo matavimo intervalas ir aukšta ^{14}C aptikimo riba dėl aukštų aplinkos radioaktyviosios spinduliuotės nulemtojo fono verčių (kosminė spinduliuotė, gamtiniai radionuklidai, urano (U) ir torio (Th) skilimo produktai).

- Žemas statistinis ^{14}C aktyvumo nustatymo tikslumas mažų ^{14}C koncentracijų srityje dėl trumpos ^{14}C aktyvumo matavimo trukmės, kurią nulemia dujų srauto tekėjimo greitis, t.y. laikas, kai ^{14}C yra beta detekcijos kameroje.

- Sudėtingas, chromatografiniu principu veikiantis CO₂ kiekio matavimo mazgas, su neselektyviu CO₂ dujoms TCD detektoriumi. Dėl šių trūkumų prototipo pritaikymas yra ribotas.

SPRENDŽIAMA TECHNINĖ PROBLEMA

Išradimu siekiama sumažinti ¹⁴C aptikimo ribą mažinant aplinkos fono įtaką nustatant savitąjį ¹⁴C aktyvumą bandinyje, didinti statistinį matavimo rezultatų tikslumą realizuojant laisvai pasirenkamą matavimo ekspozicijos laiką bei supaprastinti, atpiginti ir optimizuoti CO₂ kiekio matavimo mazgą tuo pačiu praplečiant įrenginio panaudojimo sritis.

IŠRADIMO ESMĖS ATSKLEIDIMAS

Uždavinio sprendimo esmė pagal pasiūlytą išradimą yra ta, kad radioanglies (¹⁴C) savitojo aktyvumo nustatymo įrenginyje, apimančiame degintuvą, kurio išėjimas sujungtas su vandens ir aerozolių gaudykle, cheminę CO₂ gaudyklę, nešančiųjų dujų balioną, tiekiantį nešančias dujas į įrenginio sistemą, β dalelių detekcijos sistemą, numatyta

- zeolitinė CO₂ gaudyklė, kurios įėjimas per valdomą vožtuvą B susietas su vandens ir aerozolių gaudyklės išėjimu, o minėtos gaudyklės išėjimas per valdomo vožtuvo C pirmąjį išėjimą susietas su optiniu CO₂ kiekio matuokliu, o kitas jo išėjimas, skirtas išleidžiamoms dujoms iš įrenginio pašalinti,

- kriogeninė CO₂ gaudyklė, kurios įėjimas per valdomus vožtuvus susietas su optinio CO₂ kiekio matuoklio išėjimu, o minėtos gaudyklės išėjimas per valdomo vožtuvo F pirmąjį išėjimą susietas su β dalelių detekcijos sistema, kuri yra β dalelių detekcijos kamera, o kitas vožtuvo F išėjimas, skirtas išleidžiamoms dujoms iš įrenginio pašalinti,

- beta dalelių detekcijos kamera turi du puslaidininkinius detektorius, kurių išsidėstymas artimas 4π geometrijai ir kurie generuoja elektrinius impulsus, proporcingus detektuotų beta dalelių energijai, kurie yra intervale tarp elektroninių triukšmų energijos ekvivalento iki energijos, metu

- beta dalelių detekcijos kameroje esantys du puslaidininkiniai detektoriai yra

sujungti atitinkamai su dviem vienkanaliais detektuotų elektrinių impulsų amplitudės analizatoriais, kurių išėjimai sujungti su antisutapčių schema,

- antisutapčių schema sukonfigūruota generuoti išėjimo impulsą, kai į ją ateina per elektrinių impulsų amplitudės analizatorių elektrinis impulsas iš bet kurio vieno puslaidininkinio detektoriaus ir nufiltruoti išėjimo impulsą, kai iš minėtų abiejų puslaidininkinių detektorių per elektrinių impulsų amplitudės analizatorius impulsai ateina į antisutapčių schemą vienu metu,

- antisutapčių schemos išėjimas sujungtas su impulsų skaitikliu, kuris skaičiuoja beta dalelių sukurtų impulsų skaičių, o impulsų skaičius yra naudojamas savitajam ^{14}C aktyvumui vertinti,

- beta dalelių detekcijos kamera per valdomus vožtuvus, susieta su chemine CO_2 gaudykle ir vakuuminio siurbliu,

- kontroleris, skirtas duomenų apdorojimo bei įrenginio veikimo kontrolei vykdyti. Optinis CO_2 kiekio matuoklis sukonfigūruotas matuoti pratekančių dujų mišinio sraute šviesos sugertį, kuri priklauso nuo CO_2 koncentracijos, o duomenis integruoti laike, kur integralo vertė yra proporcinga pratekančiam CO_2 dujų kiekiui per integruotą laiko vienetą. Beta detekcijos kameros geometrija yra cilindro formos, o detektoriai disko pavidalo, kur atstumas h tarp detektorių yra apie 2.5 karto mažesnis už jų skersmenį d . Savitojo aktyvumo ^{14}C vertinimo sistema, kurioje panaudotas įrenginys pagal bet kurį išradimo apibrėžties 1-3 punktą.

IŠRADIMO NAUDINGUMAS

Siūlomas įrenginys leidžia sumažinti ^{14}C aptikimo ribą, susietą su fono mažinimu, kuo mažesnis fonas tuo didesnis matavimų tikslumas ir platesnis matavimo diapazonas, todėl siūlomo įrenginio pagalba išplečiamas matavimo diapazonas ir padidinamas matavimo tikslumas, mažinant aplinkos fono įtaką matuojamai ^{14}C aktyvumo vertei. Nurodyti požymiai padidina matavimo tikslumą ir efektyvumą, ypač panaudojant pasiūlytą įrenginį biologijos, medicinos ir medžiagotyros srityse tuo pačiu praplečiamas panaudojimo galimybės vertinant savitąjį ^{14}C aktyvumą bandiniuose, pvz., biologinės kilmės bandiniuose, kuriuose ^{14}C gliukozė yra kaip radioaktyvusis žymeklis. Pasiekiamas norimas statistinis aktyvumo matavimo tikslumas laisvai pasirenkant matavimo ekspozicijos laiką, nepriklausomą

nuo dujų srauto tekėjimo parametrų. Optinis CO₂ kiekio matuoklis mažina įrenginio kainą ir supaprastina prietaiso eksploataciją bei priežiūrą.

Detaliau išradimas paaiškinamas brėžiniais, kur

1 pav. pavaizduota įrenginio blokinė schema.

2 pav. pavaizduota beta detekcijos kameros schema.

Įrenginį sudaro: degintuvas 1, vandens ir aerosolių gaudyklė 2, zeolitinė CO₂ gaudyklė 3, optinis CO₂ kiekio matuoklis 4, kriogeninė CO₂ gaudyklė 5, beta detekcijos kamera 6, vakuuminis siurblys 7, cheminė CO₂ gaudyklė 8, du vieno kanalo elektrinio impulso amplitudės analizatoriai 9' ir 9'', antisutapčių schema 10, impulsų skaitiklis 11, skaitmeninis kontroleris 12, nešančiųjų dujų balionai 13. Beta detekcijos kamera 6 turi du puslaidininkinius disko pavidalo detektorius 14' ir 14'', kurių išėjimai atitinkamai per vienkanalius elektrinio impulso amplitudės analizatorius 9' ir 9'' sujungti su antisutapčių schema 10, skirta nufiltruoti impulsus, ateinančius iš abiejų detektorių vienu metu ir generuoti išėjimo impulsą, kai ateina signalas iš bet kurio vieno iš detektorių 14' ir 14''.

Išradimo realizavimo pavyzdys, kur pagal išradimą pasiūlytas įrenginys pritaikomas savitajam aktyvumui vertinti radioaktyvaus grafito bandiniuose.

Radioaktyvaus grafito bandinys patalpinamas į degintuvą 1, kuriame palaikoma aukšta temperatūra apie 1000°C. Degintuve 1 deguonies aplinkoje bandinys virsta CO₂ dujomis, azoto oksidais ir H₂O. Iš degintuvo 1 toliau į sistemą patenka CO₂ dujos, azoto oksidai ir H₂O garai. Analizuojamų CO₂ dujų pernešimas visoje sistemoje vykdomas nešančiųjų dujų (N₂, Ar, He) 13 pagalba, kurios per vožtuvus A ir D yra paduodamos į sistemą.

Kitame žingsnyje CO₂ dujų ir gaudyklę 2, kurioje H₂O garai yra sulaikomi. CO₂ dujų srautui vandens ir aerosolių gaudyklė 2 įtakos neturi.

Dujų mišinys kuriame yra CO₂, Rn ir kitos nešančios dujos (N₂, Ar, He) 13 iš vandens ir aerosolių gaudyklės 2 per vožtuvus A ir B toliau patenka į zeolitinę CO₂ gaudyklę 3, kurioje vyksta radono (Rn) atskyrimas temperatūrinio skirtumo pagalba. Kambario temperatūroje gaudyklė surenka ne mažiau kaip 95% CO₂, o kitos dujos, kartu su Rn pro ją praeina ir išleidžiamos iš įrenginio per atidarytą trijų padėčių vožtuvą C, kurį atidaro skaitmeninis kontroleris 12. Šios dujos yra surenkamos dujų

gaudyklės U1 pagalba ir utilizuojamos. Pasibaigus CO₂ rinkimo etapui, skaitmeninis kontroleris 12 perjungia vožtuvą C, o zeolitinė CO₂ gaudyklė 3 pakaitinama iki 70°C temperatūros ir CO₂ iš jos išeina per vožtuvą C į optinį CO₂ kiekio matuoklį 4.

Išvalytos nuo Rn, CO₂ dujos patenka į optinį CO₂ kiekio matuoklį 4. Matuoklio veikimo principas yra pagrįstas gera CO₂ dujų infraraudonosios spinduliuotės sugertimi 4300 nm bangos ilgio srityje, kuris būdingas šioms dujoms. Optinis CO₂ kiekio matuoklis 4 išmatuoja nekoherentinio kietakūnio šaltinio spinduliuotės intensyvumą 4200-4400 nm bangos ilgio srityje ir palyginus išmatuotą vertę su to paties šaltinio spinduliuotės intensyvumu 3500-4000 nm bangos ilgio srityje, gaunamas sugerties koeficientas. Palyginus sugerties koeficientą gautą matuojamoms dujoms su sugerties koeficientu, esant žinomai dujų koncentracijai, palaikant pastovų dujų srautą, gaunamas tikslus pro optinį CO₂ kiekio matuoklį 4 pratekėjusių CO₂ dujų kiekis.

Iš optinio CO₂ kiekio matuoklio 4 CO₂ dujos nukreipiamos į skystu azotu šaldomą kriogeninę CO₂ gaudyklę 5. Tarp optinio CO₂ kiekio matuoklio 4 ir kriogeninės CO₂ gaudyklės 5 įmontuotas skaitmeniniu kontroleriu 12 valdomas vožtuvas E, kuriuo pagalba kriogeninė CO₂ gaudyklė 5 yra izoliuojama nuo sistemos, kai joje yra surinktos CO₂ dujos. Už kriogeninės CO₂ gaudyklės 5 sumontuotas dvipusis vožtuvas F, kuris bandinio surinkimo metu atskiria kriogeninę CO₂ gaudyklę 5 nuo beta detekcijos kameros 6. Kriogeninėje CO₂ gaudyklėje 5 surenkamas CO₂ dujų kiekis yra nustatomas matuojant CO₂ koncentraciją per laiko vienetą įtekančiame dujų mišinyje (CO₂ ir nešančiųjų dujų). Kriogeninės CO₂ gaudyklės 5 tūris nuo 8 iki 10 kartų mažesnis už beta detekcijos kameros 6 tūrį, kur beta detekcijos kamera 6 yra cilindro pavidalo, o jo matmenys lygūs $h=9\text{mm}$ $d=24\text{ mm}$. Suminis dujų tūris (CO₂ ir nešančiųjų dujų) matavimo metu yra lygus beta detekcijos kameros 6 tūriui, CO₂ dujų frakcija suminiame dujų tūryje, į beta detekcijos kamerą 6 perneštame iš kriogeninės CO₂ gaudyklės 5, sudaro nuo 10 iki 25 %. Beta detekcijos kameros 6 tūris yra nuo 4 iki 10 kartų didesnis už suminiame dujų tūryje esančią CO₂ dujų frakciją. CO₂ dujas surinkus kriogeninėje CO₂ gaudyklėje 5, vožtuvas H uždaromas ir kriogeninė CO₂ gaudyklė 5 kartu su beta detekcijos kamera 6 vakuuminio siurblio 7 pagalba per dvipusį vožtuvą G vakuumuojamos tam, kad būtų galima pašalinti visus nešančiųjų dujų likučius ir paruošti beta detekcijos kamerą 6 savitojo ¹⁴C aktyvumo matavimui. Kai vakuumo gylis yra pakankamas matavimams pradėti, vožtuvas G

atjungia vakuuminį siurbį nuo sistemos, siekiant sumažinti parazitinių sistemų tūrį. Tuomet kriogeninė CO₂ gaudyklė 5 yra pašildoma iki $t > 185$ K. Šildymo metu CO₂ sublimuojasi ir tolygiai pasiskirsto tarp kriogeninės CO₂ gaudyklės 5 ir beta detekcijos kameros 6. Sistemai nusistovėjus pradedamas savitojo ¹⁴C aktyvumo matavimo procesas. Siekiant pasiekti norimą matavimo tikslumą, pasirenkamas statistiniam tikslumui pasiekti reikalingas matavimo laikas. Reikalingas matavimo laikas laikomas pasiektu ir yra fiksuojamas tuomet, kai signalas yra intensyvesnis už triukšmo lygį, t.y. signalo ir triukšmo santykis didesnis už 1.

Beta detekcijos kamera 6 turi du puslaidininkinius silicio β dalelių detektorius 14' ir 14'', sujungtus atitinkamai su dviem vieno kanalo analizatoriais 9' ir 9'', skirtais signalo intensyvumo nustatymui. Dviejų vieno kanalo analizatorių 9' ir 9'', išėjimai sujungti su antisutapčių schema 10, skirta iš abiejų detektorių 14' ir 14'' vienu metu ateinančių elektrinių impulsų nufiltravimui, o jos išėjimas sujungtas su impulsų skaitikliu 11, kuris skaičiuoja beta dalelių sukurtų impulsų skaičių. Beta detekcijos kameroje 6 du minėti puslaidininkiniai detektoriai 14' ir 14'' jutikliais pozicionuojami priešpriešiai ir jų išsidėstymas kameroje artimas 4π geometrijai. 4π geometrija apima visą sferos, esančios aplink beta detekcijos kameroje 6 tiriamas dujas, paviršiaus plotą – sferos spindulys turi būti ne didesnis, nei dalelės siekis. 4π geometrija leidžia užregistruoti dalelę ir jos energiją nepriklausomai nuo dalelės judėjimo krypties šaltinio atžvilgiu. Beta detekcijos kameroje 6 atstumas h tarp detektorių 14' ir 14'' yra apie 2.5 karto mažesnis už jų skersmenį d (2 pav.). Du minėti puslaidininkiniai detektoriai 14' ir 14'', generuoja signalus, proporcingus detektuotų β dalelių energijai. Kiekvienas puslaidininkinis detektorius 14' ir 14'' tam tikru laiko momentu generuoja elektrinį impulsą, kuris yra proporcingas į tą detektorių pataikiusios beta dalelės energijai. Antisutapčių schemoje 10 detektavimo lygiai yra nustatyti taip, kad sugeneruotų impulsą tik kai įėjimo į antisutapčių schemą 10 signalas (proporcingas β dalelės energijai) patenka į intervalą tarp elektroninių triukšmų energijos ekvivalento iki energijos, atitinkančios maksimalią ¹⁴C skilimo metu atsiradusios β dalelės energiją. Antisutapčių schemos 10 išėjime, tuo atveju, kai signalas ateina iš abiejų detektorių vienu laiko momentu, formuojamas draudimo signalas impulsų skaitikliui 11. Iš antisutapčių schemos 10 perduodamas draudimo signalas tuo atveju, kai iš abiejų puslaidininkinių detektorių 14' ir 14'' vienu metu ateina elektriniai impulsai. O registruojamas signalas tuo atveju, kai elektrinis impulsas ateina iš vieno

puslaidininkinio detektoriaus tam tikru laiko momentu. Galutinis impulsų skaičius yra naudojamas savitajam ^{14}C aktyvumui vertinti. Tokia schema yra reikalinga tam, kad užtikrinti, jog bus skaičiuojami tik ^{14}C skilimo metu atsiradusios β dalelės, o visi kiti impulsai būtų atmesti. Duomenų apdorojimą bei sistemos kontrolę vykdo skaitmeninis kontroleris 12.

Už beta detekcijos kameros 6 sumontuota cheminė CO_2 gaudyklė 8 su 3 M NaOH tirpalu. Prieš cheminę CO_2 gaudyklę 8 sumontuotas atbulinis vožtuvas apsaugo nuo reagentų patekimo iš cheminės CO_2 gaudyklės 8 į beta detekcijos kamerą 6. Cheminėje CO_2 gaudyklėje 8 surinktos dujos gali būti naudojamos atliekant matavimus skystųjų scintiliatorių metodu, o taip pat CO_2 masei įvertinti.

IŠRADIMO APIBRÉŽTIS

1. Radioanglies (^{14}C) savitojo aktyvumo nustatymo įrenginys, apimantis degintuvą (1), kurio išėjimas sujungtas su vandens ir aerozolių gaudykle (2), cheminę CO_2 gaudyklę (8), nešančiųjų dujų balioną, tiekiantį nešančias dujas į įrenginio sistemą, β dalelių detekcijos sistemą, b e s i s k i r i a n t i s t u o, kad numatyta

- zeolitinė CO_2 gaudyklė (3), kurios įėjimas per valdomą vožtuvą B susietas su vandens ir aerozolių gaudyklės (2) išėjimu, o minėtos gaudyklės (3) išėjimas per valdomo vožtuvo C pirmąjį išėjimą susietas su optiniu CO_2 kiekio matuokliu (4), o kitas jo išėjimas, skirtas išleidžiamoms dujoms iš įrenginio pašalinti,

- kriogeninė CO_2 gaudyklė (5), kurios įėjimas per valdomus vožtuvus susietas su optinio CO_2 kiekio matuoklio (4) išėjimu, o minėtos gaudyklės (5) išėjimas per valdomo vožtuvo F pirmąjį išėjimą susietas su β dalelių detekcijos sistema, kuri yra β dalelių detekcijos kamera (6), o kitas vožtuvo F išėjimas, skirtas išleidžiamoms dujoms iš įrenginio pašalinti,

- beta dalelių detekcijos kamera (6) turi du puslaidininkinius detektorius ($14'$ ir $14''$), kurių išsidėstymas artimas 4π geometrijai ir kurie generuoja elektrinius impulsus, proporcingus detektuotų beta dalelių energijai, kurie yra intervale tarp elektroninių triukšmų energijos ekvivalento iki energijos, atitinkančios maksimalią ^{14}C skilimo metu atsiradusios β dalelės energiją,

- beta dalelių detekcijos kameroje (6) esantys du puslaidininkiniai detektoriai ($14'$ ir $14''$) yra sujungti atitinkamai su dviem vienkanaliais detektuotų elektrinių impulsų amplitudės analizatoriais ($9'$ ir $9''$), kurių išėjimai sujungti su antisutapčių schema (10),

- antisutapčių schema (10) sukonfigūruota generuoti išėjimo impulsą, kai į ją ateina per elektrinių impulsų amplitudės analizatorių ($9'$ ar $9''$) elektrinis impulsas iš bet kurio vieno puslaidininkinio detektoriaus ($14'$ ar $14''$) ir nufiltruoti išėjimo impulsą, kai iš minėtų abiejų puslaidininkinių detektorių ($14', 14''$) per elektrinių impulsų amplitudės analizatorius ($9', 9''$) impulsai ateina į antisutapčių schemą (10) vienu metu,

- antisutapčių schemas (10) išėjimas sujungtas su impulsų skaitikliu (11),

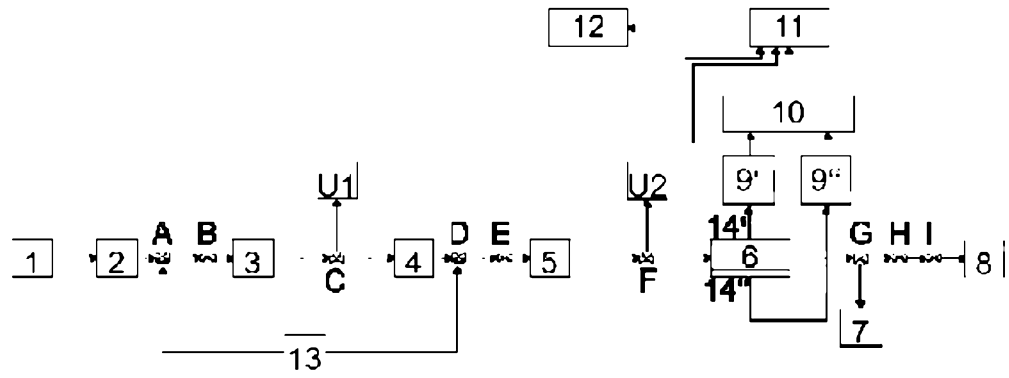
kuris skaičiuoja beta dalelių sukurtų impulsų skaičių, o impulsų skaičius yra naudojamas savitajam ^{14}C aktyvumui vertinti,

- beta dalelių detekcijos kamera (6) per valdomus vožtuvus, susieta su chemine CO_2 gaudykle (8) ir vakuuminiu siurbliu (7),
- kontroleris (12), skirtas duomenų apdorojimo bei įrenginio veikimo kontrolei vykdyti.

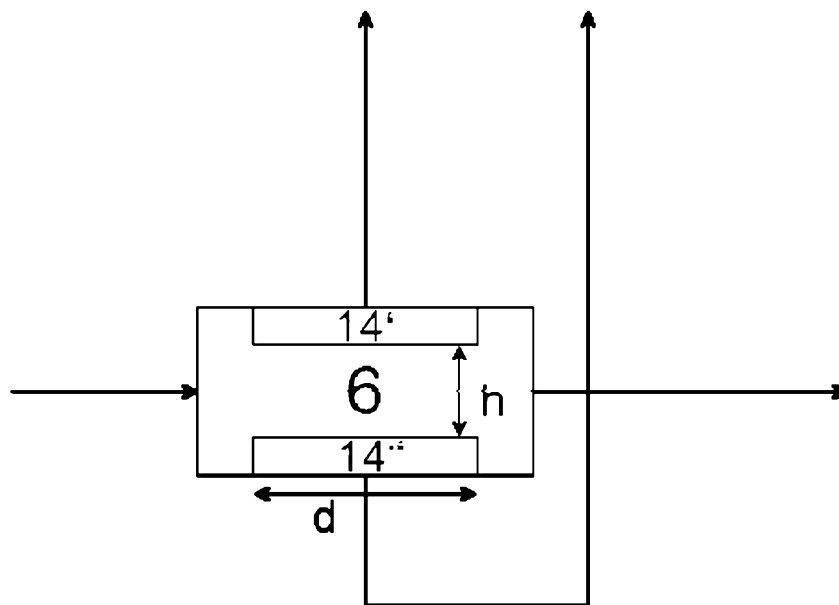
2. Įrenginys pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad optinis CO_2 kiekio matuoklis (4) sukonfigūruotas matuoti pratekančių dujų mišinio sraute šviesos sugertį, kuri priklauso nuo CO_2 koncentracijos, o duomenis integruoti laike, kur integralo vertė yra proporcinga pratekančiam CO_2 dujų kiekiui per integruotą laiko vienetą.

3. Įrenginys pagal bet kurį iš 1-2 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad beta detekcijos kameros (6) geometrija yra cilindro formos, o detektoriai disko pavidalo, kur atstumas h tarp detektorių $14'$ ir $14''$ yra apie 2.5 karto mažesnis už jų skersmenį d .

4. Savitojo aktyvumo ^{14}C vertinimo sistema, kurioje panaudotas įrenginys pagal bet kurį išradimo apibrėžties 1-3 punktą.



1 pav.



2 pav.