

(12) **PARAIŠKOS APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2020 038**
(22) Paraiškos padavimo data: **2020-10-13**
(41) Paraiškos paskelbimo data: **2022-04-25**

(71) Pareiškėjas:
**Vilniaus universitetas, Universiteto g. 3, 01513
Vilnius, LT**
(72) Išradėjas:
**Eugenijus GAUBAS, LT
Tomas ČEPONIS, LT
Vidas KALESINSKAS, LT
Vytautas RUMBAUSKAS, LT
Laimonas DEVEIKIS, LT**
(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
**Jurga PETNIŪNAITĖ, 51, AAA Law, A. Goštauto g.
40B, Verslo centras „Dvyniai“, LT-03163 Vilnius, LT**

(54) Pavadinimas:

Magnetinis reliatyvistinių elektringųjų dalelių analizatorius

(57) Referatas:

Pasiūlymas yra iš branduolinės fizikos matavimo prietaisų inžinerijos srities ir gali būti panaudotas reliatyvistinių elektringųjų dalelių aptikimui, jų šaltinio erdvinės padėties (krypties) nustatymui ir dalelių energetinio spektro matavimams, bei pritaikytas kosminiuose palydovuose tyrinėti reliatyvistinių elektronų srautus ir jų dinamiką Žemės radiacinėse juostose. Pasiūlytuose reliatyvistinių dalelių analizatoriuose vienalytis magnetinis kreipiantysis laukas yra sutelktas stačiojo apskritojo cilindro arba puscilindrio formos srityje, o analizatorių židiniai yra įrengti apskritojo cilindro šoniniame paviršiuje arba 90° fokusavimo plokštumoje. Pasiūlyti apskritojo cilindro paviršiaus ir 90° fokusavimo plokštumos magnetiniai reliatyvistinių dalelių analizatoriai, pasižymi mažesniais gabaritais ir mase, platesniu matuojamųjų energijų spektru, didesniu kanalų išdėstymo tankiu bei matavimų jautriu ir geresniu dalelių kampinio pasiskirstymo tikslumu.

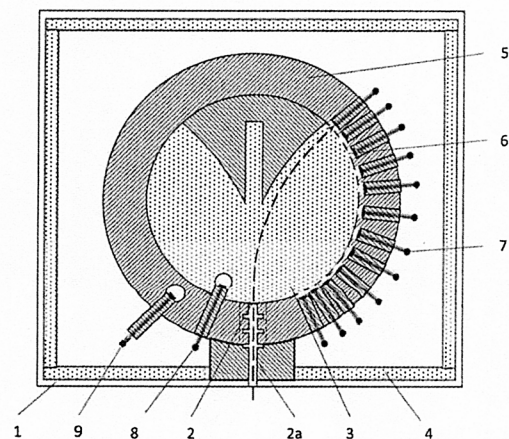


Fig. 1

MAGNETINIS RELIATYVISTINIŲ ELEKTRINGŲJŲ DALELIŲ ANALIZATORIUS

Pasiūlymas yra iš branduolinės fizikos matavimo prietaisų srities ir gali būti panaudotas reliatyvistinių elektringųjų dalelių aptikimui, jų šaltinio erdvinės padėties (krypties) nustatymui ir dalelių energetinio spektro matavimams.

Magnetinio analizatoriaus analogas yra žinomas palydovinis (satellites OV1-9, OV1-13) 180° fokusavimo magnetinis analizatorius, skirtas elektronų spinduliuotės spektroskopijai ir jų erdvinės krypties kampiniam pasiskirstymui matuoti (*F. R. Paolini et. al. "Satellite Instrumentation for Charged Particle Measurements II. Magnetic Analyzer for 0.1 to 1.0 MeV Electrons", IEEE Trans. On Nuclear Science, vol. 15, Issue 1, Feb. 1968, pp. 194-213.*). Magnetinis analizatorius susideda iš spinduliuotę bei išorinius elektrinius laukus ekranuojančio apsauginio gaubto su jame įrengta įėjimo apertūra – anga, per kurią elektronai patenka į analizatoriaus vidų, stačiakampio (santykis 1:2) gretasienio formos nuolatinį magnetų, sujungtų tarpusavyje magnetinį lauką uždarančia magnetų polių jungė, kurių dėka gaubto viduje tuščioje stačiakampio gretasienio formos erdvėje tarp magnetų polių yra sukuriamas vienalytis statmenas elektronų judėjimo trajektorijai nuolatinis magnetinis laukas, elektronų trajektorijos 180° fokusavimo plokštumoje patalpinto ekrano su jame įtaisytomis aštuoniomis išėjimo apertūromis, nuolatinio magnetinio lauko srities išorėje kiekvienos apertūros išėjime patalpintų detektorių gardelės, magnetinio lauko stiprio ir temperatūros matuoklių, kalibravimo dalelių šaltinio ir analizatoriaus elektronikos bloko, susidedančio iš atskirų analizatoriaus išėjimo kanalų stiprintuvų, impulsų skaičiuotuvų, diskriminatorių ir t.t., skirto apdoroti matavimo duomenis ir nuslopinti pašalinių reliatyvistinių dalelių (protonų) sukeltą nepageidaujamą foną.

Analoge iš visų elektronų, kurie patenka per įėjimo apertūrą į analizatoriaus vidų, iš tikrųjų, tik nustatyto energijų intervalo elektronai pasiekia atitinkamų kanalų išėjimo apertūras, tam tikru būdu išdėstytas analizatoriaus židinio plokštumoje. Elektronų, patenkančių į atitinkamą energijų intervalą energijų variacija priklauso nuo elektronų kritimo į apertūros plokštumą kampų α ir β (atitinkamai, plokštumoje, statmenoje magnetinio lauko $\mathbf{B}$ jėgų linijoms ir plokštumoje, statmenoje paminėtai plokštumai ir įėjimo apertūros plokštumai), nuokrypio nuo apertūros centro δ ir kanalo numerio N , apibūdinamo elektrono apskritiminės trajektorijos kreivumo spinduliu ρ , nusakomu išraiška

$$\rho = \frac{E}{qcB} \sqrt{1 + \frac{2mc^2}{E}}, \quad (1)$$

Čia: E yra elektringosios dalelės kinetinė energija; B magnetinio lauko indukcija; q dalelės elektrinis krūvis, m dalelės rimties masė, c šviesos greitis vakuume.

Energijos variacija yra nusakoma energijų intervalo pločiu ΔE (pusės maksimalaus energijos dydžio lygyje, PMEL), kuris pagal įprastą paklaidos nuokrypio išplitimo formulę yra apibrėžiamas kaip kvadratinė šaknis iš visų paminėtų nuokrypių indėlių kvadratų sumos, kai laikoma, kad koreliacija tarp paminėtų nuokrypių tipų yra lygi nuliui. Energijos variacija ΔE ir trajektorijos kreivumo spindulio nuokrypis $\Delta\rho$ židinio plokštumoje yra susieti sąryšiu

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta\rho}{\rho} = \alpha^2 + \beta^2 - \frac{\delta}{\rho}. \quad (2)$$

Kiekvieno kanalo energijų intervalo plotis atitinka pasirinktą teorinę energijų skiriamąją gebą (lygią, pvz., 15% PMEL) elektronams, patenkantiems tiksliai į įėjimo apertūros centrą statmenai magnetinio lauko B jėgų linijoms bei apertūros plokštumai (išilgai apertūros ašies, $\alpha=\beta=\delta=0$). Su $\Delta\rho$ tampriai siejasi kanalo jautrumas – didesniems $\Delta\rho$ jis yra didesnis. Analizatoriaus energijų diapazonas priklauso nuo magnetinio lauko B srities (magnetų polių) ploto ir magnetinio lauko stiprio H bei nuo $\Delta\rho$ dydžio. Kanalų energijos yra išdėstytos tolygiais intervalais logaritminėje skalėje.

Analogo trūkumas yra tai, kad analizatoriaus kanalai židinio plokštumoje yra išsidėstę labai netolygiai – mažų energijų kanalai daug tankiau negu didelių energijų kanalai. Dėl to, siekiant užtikrinti pakankamą kanalo jautrumą (proporcingą $\Delta\rho$ dydžiui) mažų energijų srityje, $2\cdot\rho$ ilgio intervale, kuris atitinka magneto poliaus matmenis ($\rho\times 2\cdot\rho$), galima patalpinti nedaug kanalų (maža skiriamoji geba).

Kitas analogo trūkumas yra tai, kad norint padidinti analizatoriaus matuojamų energijų diapazoną, reikia didinti magnetų polių antgalių plotą. Bet koks magnetų polių matmenų padidėjimas (esant fiksuotam magnetinio lauko stipriui), smarkiai padidina analizatoriaus matmenis ir tuo pačiu jo masę, kurie yra visiškai nenaudingi satelitinio analizatoriaus atveju.

Dar vienas analogo trūkumas yra susijęs su elektringųjų dalelių šaltinio erdvinės padėties (šaltinio krypties) nustatymu. Reliatyvistinių dalelių šaltinio krypties (kritimo kampų) nustatymas labai priklauso nuo kanalo energijos dydžio (kampai β yra gerokai didesni mažų energijų kanalams, kuriems ρ yra maži, kadangi $\beta = d/(2\pi\rho)$, čia d yra atstumas tarp magneto polių ir sutampa su vienu iš detektoriaus matmenų, kitą detektoriaus ploto matmenį nusako $\Delta\rho$). Norint tiksliau nustatyti dalelių šaltinio erdvinę padėtį (sumažinti β) reikia sumažinti atstumą d tarp magneto polių, o dėl to, jeigu $\Delta\rho$ išlieka toks pat, sumažėja analizatoriaus jautrumas.

Analogo trūkumams pašalinti, **įtaiso konstrukcija yra padaryta kitaip**, o būtent, magnetiniam laukui B sukurti yra panaudoti vienodo diametro apskritojo cilindro formos magnetai su poliais cilindro galuose, orientuoti išilgai bendros cilindro simetrijos ašies, dalelių įėjimo ir išėjimo apertūros yra įrengtos cilindriniam ekranavimo įdėkle (tuščiaviduriame stačiajame apskritajame cilindre), patalpintame tarp magnetų polių, apertūrų ašis nukreipiant tiesiai į cilindro ašį, o žiedo vidinis paviršius yra sutapdintas su magnetinio lauko B riba ir tarnauja kaip dalelių trajektorijos fokusavimo paviršius.

Įtaiso konstrukcijos antrajame variante, **kitaip** negu pirmajame variante, nuolatiniam magnetiniam laukui B sukurti yra panaudoti puscilindrio formos magnetai (pusė diametraliai padalintų apskritojo cilindro formos magnetų), magnetiniam laukui uždaryti panaudota pasagos formos magnetinių polių jungė, kurios plotis yra lygus cilindro diametrui, lenktieji cilindriniai magnetų šoniniai paviršiai yra nukreipti į pasagos galų išorinę pusę, o dalelių įėjimo ir išėjimo apertūros yra išdėstytos puscilindrio formos magnetų cilindrinio šoninio paviršiaus pusėje.

Įtaiso konstrukcijos trečiajame variante, **kitaip** negu pirmajame variante, analizatoriaus įėjimo apertūros ašis yra orientuota cilindrinio įdėklo vidinio cilindro stygos kryptimi, pasukta į tą pusę nuo diametro, kurioje dalelės trajektorija nukrypsta į cilindro centro pusę.

Įtaiso konstrukcijos ketvirtajame variante, **kitaip** negu pirmajame variante, analizatoriaus židinis yra įrengtas dalelių trajektorijos kelyje ant plokštumos, esančios šalia cilindrinės magnetinio lauko srities ir orientuotoje lygiagrečiai cilindrinės srities ir įėjimo apertūros ašims (90° fokusavimo magnetinis analizatorius).

Magnetinio analizatoriaus konstrukcijų pirmasis – ketvirtasis variantai yra parodyti, atitinkamai, **Fig. 1 – Fig. 4**, kuriuose punktyrinė rodyklinė linija žymi dalelės trajektoriją, o visų variantų veikimo principų ir savybių iliustracijos yra pateiktos **Fig. 5** ir **Fig. 6**. **Fig. 1 – Fig. 5** skaitmenimis ir simboliais yra pažymėta: **1** – ekranuojantis apsauginis gaubtas; **2** – įėjimo apertūra; **2a** – dalelių kolimatorius; **3** – nuolatiniai atlenkimo magnetai; **4** – feromagnetinė magnetų polių jungė; **5** – apsauginis tinkamo storio nemagnetinės medžiagos (pvz., aliuminio) ekranas; **6** – išėjimo apertūros ($1 \div N$); **7** – detektorių gardelė ($1 \div N$); **8** – magnetinio lauko stiprio ir **9** – temperatūros jutikliai; (x, y, z) ir (x', y', z') – Dekarto koordinačių sistemos; R – magnetų cilindro spindulys; B – nuolatinio magnetinio lauko indukcija; v – dalelės judėjimo greitis; q – dalelės elektrinis krūvis; $x_{0,1}, y_{0,1,2}$, D – atstumas nuo koordinačių pradžios, kuri sutampa su įėjimo apertūros centru; L_p – dalelės trajektorijos magnetiniame lauke ilgis; L_R – židinio atstumas nuo koordinačių pradžios cilindriniam

židinio paviršiuje; ρ – dalelės trajektorijos kreivumo spindulys; 2ρ – židinio atstumas nuo koordinačių pradžios 180° židinio plokštumoje; y'' – židinio atstumas nuo koordinačių pradžios 90° židinio plokštumoje; α – dalelių kritimo kampas y koordinatės atžvilgiu; φ – dalelės kampinis apskritiminės trajektorijos ilgis; θ, θ' – kampiniai židinio atstumai cilindriniam židinio paviršiuje (plokštumoje); A, A', A'' – dalelės trajektorijos ir židinio paviršiaus (plokštumos), $\check{Z}P$, susikirtimo taškai. **Fig. 6** pavaizduotas energijos kanalų išdėstymas analizatoriaus židinyje analogui ir keturiems įtaiso konstrukcijos variantams. Skaitmenimis pažymėta, atitinkamai: **1** – analogo (atstumas 2ρ); **2** – I ir II varianto (atstumas L_R); **3** – III varianto (atstumas L_R); **4** – IV varianto (atstumas y'') kanalų išdėstymai židinio plokštumoje.

Magnetinio elektringųjų dalelių analizatoriaus pirmojo varianto konstrukcija (**Fig. 1**) yra sudaryta iš spinduliuotę bei išorinius elektromagnetinius laukus ekranuojančio apsauginio gaubto **1** su jame įrengta įėjimo apertūra **2** bei papildomai įrengtu dalelių kolimatoriumi **2a**, viduje įtaisytų cilindrinį nuolatinį magnetų **3** ir magnetų polių jungę **4**, kurių dėka gaubto viduje tarp magnetų polių yra sukuriamas vienalytis statmenas dalelės judėjimo trajektorijai nuolatinis magnetinis laukas **B**, dalelės trajektorijos kelyje, analizatoriaus židinyje (židinio plokštumoje), patalpinto ekrano **5** iš nemagnetinės medžiagos, su jame įtaisytomis išėjimo apertūromis **6**, nuolatinio magnetinio lauko srities išorėje kiekvienos apertūros išėjime patalpintų detektorių gardelės **7**, magnetinio lauko stiprio **8** ir temperatūros **9** matuoklių, kalibravimo šaltinio ir analizatoriaus elektronikos bloko (brėžinyje nep parodyti), susidedančio iš atskirų analizatoriaus išėjimo kanalų stiprintuvų, impulsų skaičiuotuvų, diskriminatorių ir t. t., skirtų apdoroti matavimo duomenis ir nuslopinti pašalinių reliatyvistinių dalelių sukeltą nepageidaujamą foną.

Magnetinio analizatoriaus antrojo varianto konstrukcija (**Fig. 2**) yra sudaryta analogiškai pirmojo varianto konstrukcijai (**Fig. 1**), tik šiuo atveju yra panaudoti dvigubai mažesni magnetai, t. y. apskritojo cilindro formos magnetai yra pakeisti į diametraliai padalintus ir tarpusavyje sutapdintus puscilindrio formos magnetus **3**, o magnetiniam laukui uždaryti yra panaudota pasagos formos magnetų polių jungė **4**, kurios plotis yra lygus cilindro diametrui, o magnetų lenktieji cilindriniai šoniniai paviršiai yra nukreipti į pasagos galų išorinę pusę. Įėjimo apertūra **2** ir išėjimo apertūros **6** yra įrengtos puscilindrio formos magnetų cilindrinio šoninio paviršiaus pusėje.

Magnetinio analizatoriaus trečiojo varianto konstrukcija (**Fig. 3**) yra sudaryta analogiškai pirmojo varianto konstrukcijai (**Fig. 1**), tik šiuo atveju įėjimo apertūros **2** ašis yra orientuota cilindrinio

įdėklo vidinio cilindro stygos kryptimi, pasukta į tą pusę nuo diametro, kurioje dalelės trajektorija nukrypsta į cilindro centro pusę.

Magnetinio analizatoriaus ketvirtąjo varianto konstrukcija (**Fig. 4**) yra sudaryta analogiškai pirmojo varianto konstrukcijai (**Fig. 1**), tik šiuo atveju detektorių gardelė **7** yra patalpinta židinyje, kuris yra įrengtas dalelių trajektorijos kelyje ant plokštumos, esančios šalia cilindrinės magnetinio lauko srities **3**, ir orientuotos lygiagrečiai cilindrinės srities **3** ir įėjimo apertūros **2** ašims (90° fokusavimo magnetinis elektringųjų dalelių analizatorius).

Pirmojo varianto konstrukcijos magnetinis elektringųjų dalelių analizatorius (**Fig. 1**) veikia taip.

Reliatyvistinė dalelė, kurios krūvis q , masė m ir momentas p (arba kinetinė energija E), praėjusi dalelių kolimatorių **2a**, per įėjimo apertūrą **2** patenka į analizatoriaus vidų, kur yra sudarytas vienalytis nuolatinis B intensyvumo magnetinis laukas, statmenas dalelės judėjimo greičiui v (**Fig. 5**). Dalelės trajektorija magnetiniame analizatoriuje yra apskritiminis lankas, kurio kreivumo spindulys ρ su dalelės kinetine energija E yra susietas formule (1). Lanko ilgis (kelias) L_ρ , kurį dalelė nuskrieja magnetiniame lauke tuščioje erdvėje tarp apvalių R spindulio magneto polių, jeigu patenka į analizatoriaus vidų tiksliai per apertūros centrą ir statmenai apertūros plokštumai, yra apskaičiuojamas pasitelkiant formulę

$$L_\rho = \rho \cdot \cos^{-1} \left(1 - \frac{2R^2}{R^2 + \rho^2} \right). \quad (3)$$

Praskriejusi magnetinį lauką B dalelė per išėjimo apertūrą patenka į vieną iš analizatoriaus kanalų, kuriame registruojamos dalelės vidutinė kinetinės energijos vertė (esant tam tikroms q , B ir R fiksuotoms vertėms) yra nusakoma kampu θ (**Fig. 5**):

$$\theta = \cos^{-1} \left(- \frac{\left(\frac{E}{c}\right)^2 + 2mE - (qBR)^2}{\left(\frac{E}{c}\right)^2 + 2mE + (qBR)^2} \right). \quad (4)$$

Dalelių, patenkančių į atitinkamą energijų intervalą, energijų variacija ΔE priklauso nuo kritimo į apertūros plokštumą kampų α ir β (atitinkamai, plokštumoje, statmenoje magnetinio lauko jėgų linijoms ir plokštumoje, statmenoje paminėtai plokštumai ir lygiagrečiai apertūros ašiai), nuokrypio nuo apertūros centro δ ir kanalo numerio, apibūdinamo dalelės kinetine energija E (arba trajektorijos kreivumo spinduliu ρ). Energijos variacija ΔE ir atstumo nuokrypis $\Delta L_R = R \cdot \Delta\theta$ (čia $\Delta\theta$ yra kampinis nuokrypis) židinio paviršiuje yra susieti sąryšiu

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta L_R}{L_R} = \frac{\Delta\theta(\alpha)}{\theta} + \frac{\Delta\theta(\beta)}{\theta} + \frac{\Delta\theta(\delta)}{\theta}, \quad (5)$$

kuriame, atitinkamai:

$$\frac{\Delta\theta(\alpha)}{\theta} = \frac{\cos^{-1}\left(1 - \frac{2\rho^2 \cdot (\cos \alpha)^2}{R^2 - R\rho \sin \alpha + \rho^2}\right)}{\cos^{-1}\frac{R^2 - \rho^2}{R^2 + \rho^2}} - 1; \quad (5 a)$$

$$\frac{\Delta\theta(\beta)}{\theta} = \frac{\cos^{-1}\left(1 - \frac{4\rho^2 \cdot (\cos \beta)^2}{2R^2 + \rho^2 \cdot \cos 2\beta + \rho^2}\right)}{\cos^{-1}\frac{R^2 - \rho^2}{R^2 + \rho^2}} - 1; \quad (5 b)$$

$$\frac{\Delta\theta(\delta)}{\theta} = \frac{\cos^{-1}\left(\frac{2R^3 + R\delta^2 + 2\rho R\delta - (\rho + \delta) \cdot \sqrt{4R^2\rho^2 - 4\rho^2\delta^2 - 4\rho\delta^3 - \delta^4}}{2R \cdot (R^2 + \rho^2 + 2\rho\delta + \delta^2)}\right)}{\cos^{-1}\frac{R^2 - \rho^2}{R^2 + \rho^2}} - 1. \quad (5 c)$$

Analizatoriaus kanalų diskretinės energijų vertės ($E_1 \div E_N$) yra išdėstomos pagal norimą pasiskirstymą (dažniausiai logaritminėje skalėje) ir pagal (4) formulę apskaičiuojamos atitinkamų kanalų kampinės padėties $\theta_1 \div \theta_N$ židinio plokštumoje. Energijų intervalo vidurys $E_{N/2}$ parenkamas iš sąlygos $\rho(E_{N/2}) = R$, pasinaudojant formule (1). ΔE_i , atitinkamoms α , β ir δ vertėms, yra apskaičiuojamas pagal įprastą paklaidos nuokrypio išplitimo formulę kaip kvadratinė šaknis iš visų paminėtų nuokrypių (5a÷5c) indėlių kvadratų sumos.

Kampas β priklauso nuo atstumo d tarp magnetų polių, kuris yra parenkamas pakankamai mažas, kad magnetinio lauko iškraipymai magneto kraštuose būtų minimalūs, bet būtų suderintas su naudojamo detektoriaus matmenimis, ir kiekvienam kanalui apibrėžiamas taip:

$$\beta_i = \tan^{-1} \frac{d}{2\rho_i \cdot \cos^{-1}\left(\frac{\rho_i^2 - R^2}{\rho_i^2 + R^2}\right)}. \quad (6)$$

Stačiakampio formos įėjimo apertūros plotis, siekiant gauti maksimalų jautrumą, taip pat imamas tokio pat dydžio kaip atstumas tarp magneto polių d , o aukštis $2 \cdot \delta$, kartu su kampo α verte parenkamas taip, kad $\Delta E/E$ (Eq. 5) būtų, pvz., 15%. (Apertūra gali būti ir apvali, spindulio δ).

Toliau atliekamas magnetinio analizatoriaus kalibravimas pasinaudojant etaloniniais dalelių šaltiniais:

- energijos kalibravimas, t. y. nustatoma kiekvieno kanalo vidutinė energijos vertė E_i ir energijos variacijos plotis ΔE_i ;
- išmatuojamas kiekvieno kanalo detektavimo efektyvumas η_i įskaitant ir stiprintuvų signalas/triukšmas santykį, bei stiprinimo koeficientus ir diskriminatorių slenksčius;
- sukalibruojami kanalų impulsų skaitikliai;
- išmatuojami įėjimo apertūrų parametrai: apertūrų plotai A_i , kampinė apertūros priklausomybė $(A_\Omega)_i$ ir erdviniai matymo kampai Ω_i .

Atliekant kalibravimą yra kontroliuojama aplinkos temperatūra ir koreguojamos magnetinio lauko indukcijos vertės (laikoma, kad ρ tiesiškai priklauso nuo B). Didesniam tikslumui pasiekti, kalibravimai atliekami silpname vakuume.

Galutinis kanalo impulsų skaitiklio koeficientas yra skaičiuojamas pasitelkiant sąryšį:

$$R_i = j_0(E_i) [(A_\Omega)_i \Delta E_i \eta_i], \quad (7)$$

kur $j_0(E_i)$ yra dalelių pasiskirstymas apie E_i ($\text{cm}^2 \cdot \text{ster} \cdot \text{eV}^{-1}$), o η_i detektavimo efektyvumas.

Antrojo varianto konstrukcijos magnetinis elektringųjų dalelių analizatorius (Fig. 2) veikia visiškai taip pat kaip ir pirmojo varianto magnetinis analizatorius.

Trečiojo varianto konstrukcijos magnetinis elektringųjų dalelių analizatorius (Fig. 3) veikia panašiai kaip ir pirmojo, tiksliai diskretinės išėjimo kanalų apertūrų kampinės padėties θ' analizatoriaus židinyje (židinio plokštumoje) (Fig. 5) yra apskaičiuojamos pasitelkiant formulę

$$\theta' = \cos^{-1} \left[- \frac{\left[\left(\frac{E}{c} \right)^2 + 2mE \right] \cdot \cos(2\alpha) + 2(qBR) \cdot \sin(\alpha) \cdot \sqrt{\left(\frac{E}{c} \right)^2 + 2mE - (qBR)^2}}{\left(\frac{E}{c} \right)^2 + 2mE - 2(qBR) \cdot \sin(\alpha) \cdot \sqrt{\left(\frac{E}{c} \right)^2 + 2mE + (qBR)^2}} \right], \quad 0 < \theta' < 2\pi. \quad (8)$$

$$\theta' = 2\pi - \theta', \quad \frac{E \cdot \sin(\alpha)}{q c B} \sqrt{1 + \frac{2mc^2}{E}} > R.$$

Čia α yra pažymėtas kampas tarp įėjimo apertūros simetrijos ašies ir cilindro diametro, pravesto per apertūros centrą.

Ketvirtojo varianto konstrukcijos magnetinis elektringųjų dalelių analizatorius (Fig. 4) veikia panašiai kaip ir pirmojo, tiksliai diskretinės kanalų išėjimo apertūrų padėties židinio plokštumoje (Fig. 5) yra apskaičiuojamos pagal formulę

$$y_i'' = R - D \cdot \cot(\theta_i). \quad (9)$$

Čia D yra pažymėtas židinio plokštumos atstumas nuo įėjimo apertūros centro.

Fig. 6 yra pateiktas analogo ir pasiūlytų magnetinio analizatoriaus variantų palyginimas, pavaizduojant išėjimo apertūrų išsidėstymą analizatoriaus židinio paviršiuje (plokštumoje). (Skaičiavimuose naudoti parametrai: $d=1[\text{cm}]$; $B=0.1[\text{T}]$; $q=e[\text{C}]$; $S=\pi R^2=50[\text{cm}^2]$; $D-R=0.3[\text{cm}]$; $\alpha=45^\circ$) Visi kiti analizatorių parametrai, išskyrus magnetus ir židinių paviršius yra vienodi. Matome, kad visų pasiūlytų variantų matuojamųjų energijų diapazonas yra didesnis negu analogo. Kanalai židinyje yra pasiskirstę tolygiau ir mažiau priklauso nuo kanalo energijos. Antrojo ir trečiojo variantų atveju magnetų polių paviršių plotai (magnetinio lauko sritis) yra dvigubai mažesni (dvigubai mažesnė ir magnetų masė). Ketvirtojo varianto atveju žemų energijų srityje apertūros išsidėstę žymiai rečiau (didesniais atstumais) negu analogo atveju, dėl to galima pasiekti žymiai didesnę jautrumą, kuris bendru atveju yra proporcingas detektoriaus plotui, arba, esant toms pačioms sąlygoms, padidinti skiriamąją gebą. Pirmojo, antrojo ir trečiojo variantų atvejais įvairių kanalų dalelių trajektorijos yra žymiai trumpesnės ir vienodesnio ilgio negu analogo, dėl to erdviniai matymo kampai mažiau priklauso nuo kanalo energijos. Dėl pasiekto didesnio analizatoriaus jautrumo (didesnių atstumų tarp kanalų apertūrų) galima įrengti papildomą dalelių kolimatorių, kurio dėka galima padidinti dalelių šaltinio erdvinės padėties nustatymo skiriamąją gebą.

Palyginus su analogu, pasiūlyti magnetiniai reliatyvistinių elektringųjų dalelių analizatoriai pasižymi mažesniais gabaritais ir mase, platesniu matuojamųjų energijų spektru, didesniu kanalų išdėstymo tankiu bei matavimų jautriu ir geresniu dalelių kampinio pasiskirstymo tikslumu.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Magnetinis reliatyvistinių elektringųjų dalelių analizatorius, sudarytas iš apsauginio ekranuojančiojo gaubto su jame įrengta įėjimo apertūra – anga, per kurią dalelės patenka į analizatoriaus vidų, nuolatinių atlenkimo magnetų ir magnetų polių jungės, apjungiančios magnetų polių galus ir nukreipiančios magnetinio lauko srautą aplink ekranuojamą tūrį, kurie gaubto viduje tuščioje srityje tarp magnetų polių sukuria vienalytį statmeną dalelės judėjimo trajektorijai magnetinį lauką B , dalelės trajektorijos kelyje analizatoriaus židinio plokštumoje patalpinto ekrano, su jame tam tikru būdu išdėstytomis išėjimo apertūromis, ir kiekvienos apertūros išėjime magnetinio lauko B srities išorėje patalpintų detektorių gardelės, **besiskiriantis** tuo, kad tarp magnetų polių yra suformuota nuolatinio vienalyčio magnetinio lauko B sritis, kurios forma yra statusis apskritasis cilindras su ašimi orientuota išilgai magnetinio lauko linijų, dalelių įėjimo ir išėjimo apertūros yra įrengtos cilindriname įdėkle – tuščiaviduriame stačiajame apskritajame cilindre, patalpintame tarp magnetų polių, ir apertūrų ašys yra nukreiptos į cilindrinio įdėklo ašį, o cilindrinio įdėklo vidinis paviršius yra sutapdintas su magnetinio lauko B riba ir atlieka fokusavimo plokštumos funkciją.
2. Magnetinis reliatyvistinių elektringųjų dalelių analizatorius, pagal 1 punktą, **besiskiriantis** tuo, kad tarp magnetų polių yra suformuota nuolatinio vienalyčio magnetinio lauko B sritis, kurios forma yra statusis apskritasis puscilindris, o magnetinio lauko B linijoms uždaryti sumontuota pasagos formos magnetų polių jungė, kurios plotis yra lygus puscilindrio diametrai, o lenktieji magnetų šoniniai paviršiai yra nukreipti į pasagos galų pusę ir dalelių įėjimo ir išėjimo apertūros yra išdėstytos lenktojoje puscilindrio srities paviršiaus pusėje.
3. Magnetinis reliatyvistinių elektringųjų dalelių analizatorius, pagal 1 punktą, **besiskiriantis** tuo, kad analizatoriaus įėjimo apertūros ašis yra orientuota cilindrinio įdėklo vidinio cilindro stygos kryptimi pasukta į tą pusę nuo diametro, kurioje dalelės trajektorija yra nukreipta link cilindro centro.

4. Magnetinis reliatyvistinių elektringųjų dalelių analizatorius, pagal 1 punktą, **besiskiriantis** tuo, kad analizatoriaus židinyje yra įrengtas dalelių trajektorijos kelyje ant plokštumos, esančios cilindrinės magnetinio lauko srities išorėje, ir orientuotos lygiagrečiai abiem, cilindrinės srities ir įėjimo apertūros, ašims.
5. Magnetinis reliatyvistinių elektringųjų dalelių analizatorius, pagal 1–4 punktus **besiskiriantis** tuo, kad priešais įėjimo apertūrą yra papildomai įrengtas reliatyvistinių dalelių kolimatorius.

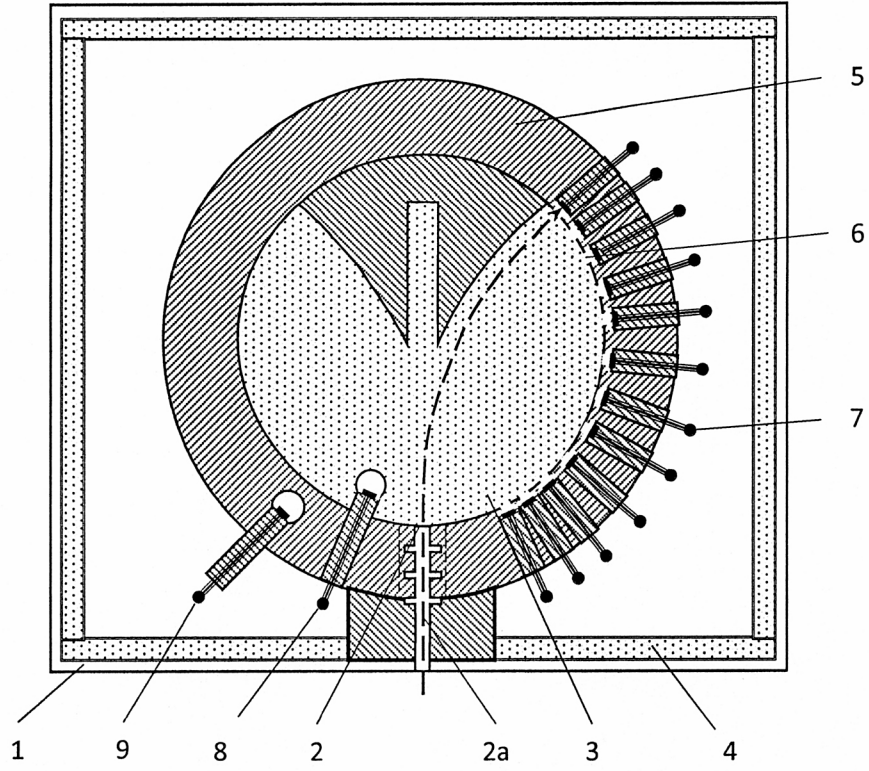


Fig. 1

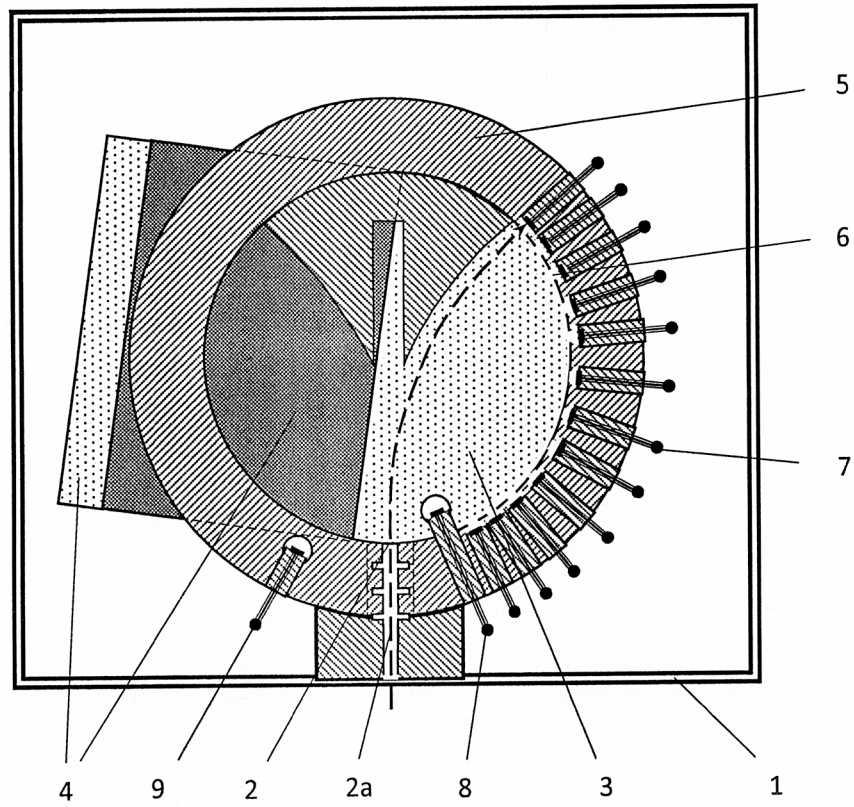


Fig. 2

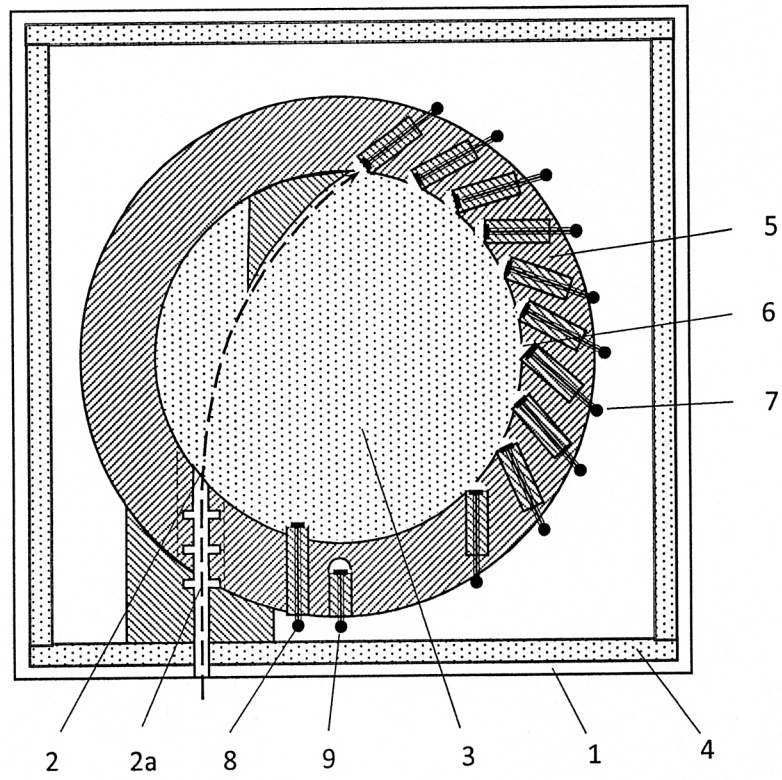


Fig. 3

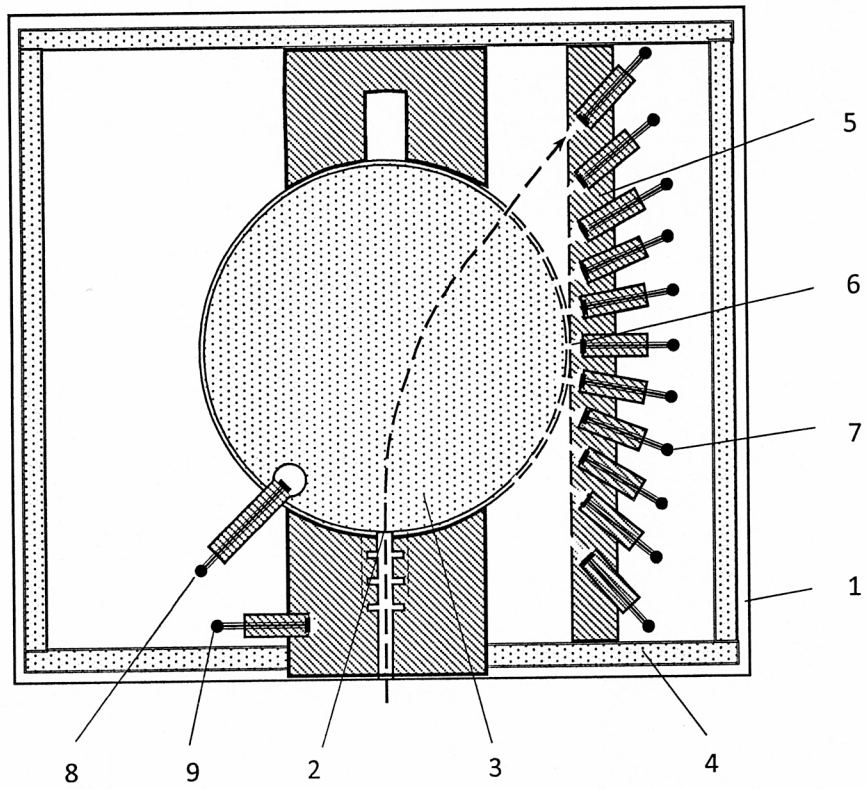


Fig. 4

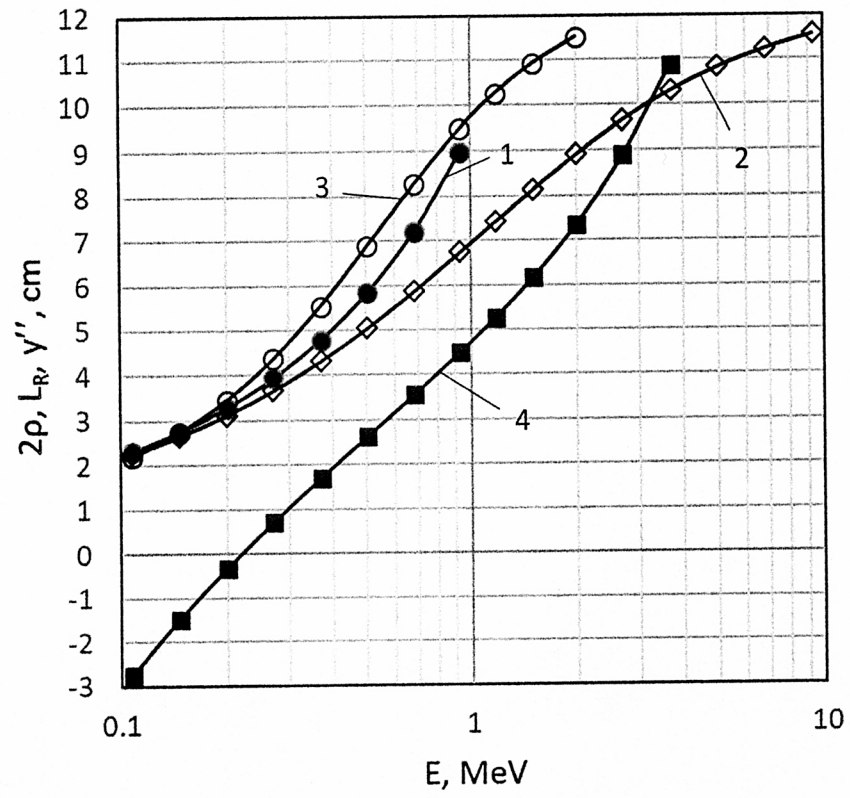


Fig. 6