

VILNIAUS UNIVERSITETAS
Fizikos fakultetas
Mokomoji atomo ir branduolio fizikos laboratorija

Laboratorinis darbas Nr. 7

KOMPTONO EFEKTO TYRIMAS

Eksperimentinė dalis

2018-12-05

Čia yra tik smulkus matavimo tvarkos aprašas. Ruošiantis darbui, reikia naudoti kitą aprašą, kuriame išdėstyta ne tik darbo metodika, bet ir teorija. Eksperimentinės dalies aprašas visą laiką turi būti prie matavimo įrangos; jo negalima išsinešti iš laboratorijos.

Tyrimo metodo teorija

Komptono sklaidos tyrimo schema pavaizduota 1 pav. Fotonų (γ kvantų) šaltinio (1) vaidmenį atlieka γ radioaktyvus cezio izotopas ^{137}Cs . Kolimatorius (2) – tai siauras kanalas, kuris suformuoja siaurą spinduliuotės pluoštą. Šis pluoštas pataiko į aliuminio strypą (3). Dalis fotonų aliuminyje yra išsklaidomi. Išsklaidytus fotonus detektuoja blyksimasis detektorius (4). Detektorių galima pastatyti įvairiais kampais θ pradinės spinduliuotės krypties atžvilgiu ir taip „atrinkti“ tik duotąją kryptimi išsklaidytus γ kvantus.

Šiame darbe tiriamas išsklaidytos spinduliuotės bangos ilgio padidėjimas (Komptono efektas), esant įvairiems sklaidos kampams. Bangos ilgis matuojamas **filtrų metodu**. Šis metodas pagrįstas tuo, kad γ spinduliuotės silpimo koeficientas medžiagoje priklauso nuo γ kvanto energijos. Žinant šią priklausomybę, pagal išmatuotą silpimo koeficiento vertę galima nustatyti spinduliuotės bangos ilgį (taigi, ir bangos ilgio pokytį).

Tarkime, kad į medžiagos (sugėriklio, „filtro“) sluoksnį, kurio storis x , krinta lygiagretus γ spinduliuotės pluoštas, kurio kryptis statmena sugėriklio paviršiui, o intensyvumas lygus I_0 . Tada praėjusios tos pačios krypties spinduliuotės intensyvumą I nusako ši formulė

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x};$$

kur μ yra **silpimo koeficientas**. Iš šios formulės išplaukia tokia silpimo koeficiento išraiška:

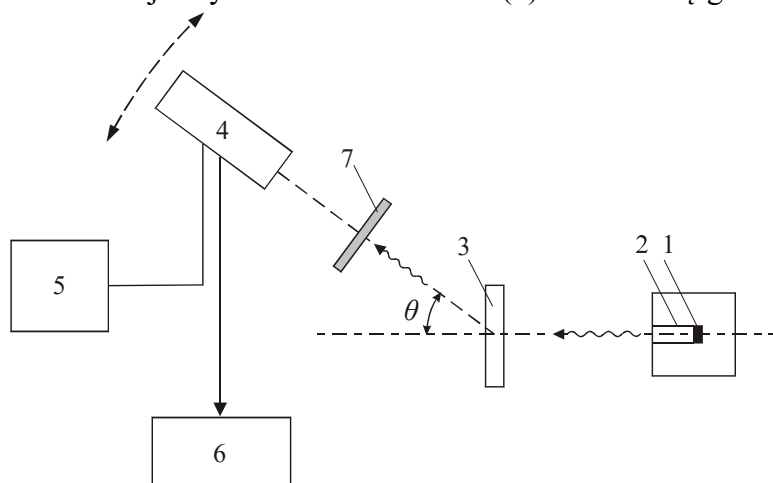
$$\mu = \frac{1}{x} \ln \frac{N_0 - N_f}{N - N_f};$$

čia N_0 yra vidutinis užregistruotų per duotąjį laiką γ kvantų skaičius, kai tiriamosios (išsklaidytosios) spinduliuotės kelyje nėra sugėriklio, N yra vidutinis užregistruotų γ kvantų skaičius, kai tiriamoji spinduliuotė praeina pro sugėriklio sluoksnį, kurio storis d , o N_f yra vidutinis „fono“ impulsų skaičius per tą patį laiką. Fonas atsiranda dėl radioaktyviojo šaltinio 1 (žr. 1 pav.) spinduliuotės sklaidos pašaliniuose objektuose (ne bandinyje 3), dėl statybinėse medžiagose esančių radioaktyviųjų nuklidų spinduliuotės, dėl kosminės spinduliuotės ir dėl įvairių matavimo įrangos elektroninių triukšmų. Kadangi šiame darbe tiriamą išsklaidytą spinduliuotę, tai sugėriklį reikia statyti tarp aliuminio strypo 3 ir detektoriaus 4 (žr. 1 pav.).

Darbo įranga

- 1) Blyksimasis detektorius БДЭГ2-22 su NaI(Tl) scintiliatoriumi (1 pav. schemoje – Nr. 4). Scintiliatoriaus kristalo storis $x = 2$ cm, skersmuo $D = 4$ cm.
- 2) Aukštos įtampos šaltinis VS-23 (1 pav. schemoje – Nr. 5). Blyksimojo detektoriaus maitinimo įtampa turi būti $(1,4 \pm 0,1)$ kV.
- 3) Detektoriaus impulsų skaičiavimo įrenginys „Komptono spektrometras“ (1 pav. schemoje – Nr. 6).
- 4) 7,6 mm storio geležies plokštelė (1 pav. schemoje – Nr. 7).

Šiame darbe naudojamo ^{137}Cs radioaktyviojo šaltinio aktyvumas 1979 m. buvo $6,65 \text{ GBq} = 6,65 \cdot 10^9 \text{ skil./s}$; ^{137}Cs skilimo pusamžis lygus 30,04 m.



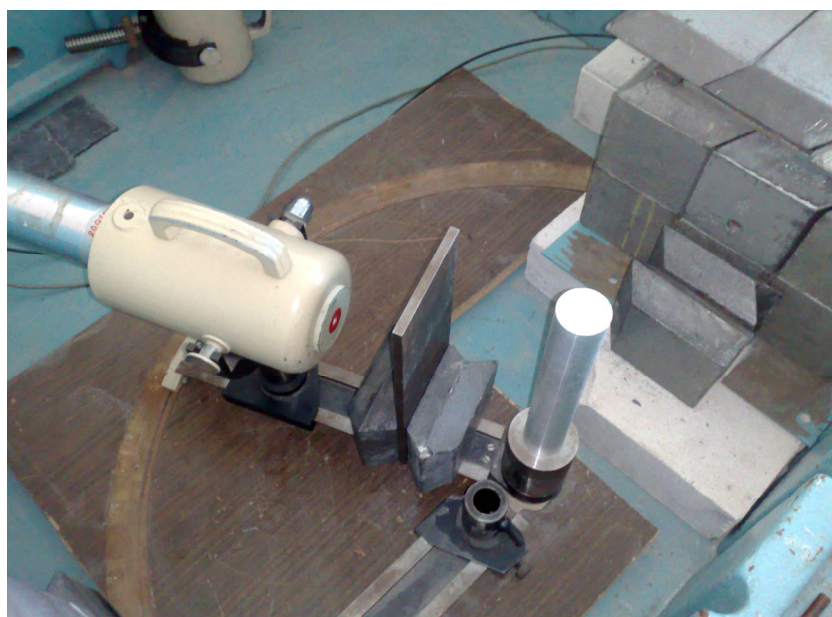
1 pav. Komptono sklaidos tyrimo įrangos struktūrinė schema. 1 – γ radioaktyvusis šaltinis, 2 – kolimatorius, 3 – aliuminio strypas, kuriame vyksta Komptono sklaida, 4 – išsklaidytų γ kvantų detektorius, 5 – detektoriaus maitinimo blokas (aukštos įtampos šaltinis), 6 – impulsų skaičiavimo įrenginys, 7 – filtras (sugėriklis) išsklaidytos spinduliuotės bangos ilgiui matuoti

Šio darbo įranga yra 621 k. (o ne 605 k., kur yra šios laboratorijos įrangos didžioji dalis). Darbo įrangos bendras vaizdas parodytas 2 pav. Kadangi naudojamo radioaktyviojo šaltinio aktyvumas yra palyginti didelis, jis yra apdengtas $10 \times 10 \times 5$ cm švino plytomis (jos matomos 3 pav. viršutiniame dešiniajame kampe). Po tomis plytomis yra švino konteineris, į kurį įdėtas radioaktyvusis šaltinis. Pilnutinis apsauginio švino sluoksnio, kuris skiria šaltinį nuo aplinkos, storis yra maždaug 15 cm. Tame sluoksnyje yra pragrežtas maždaug 1 cm skersmens kanalas, kuris suformuoja siaurą spinduliuotės pluoštą, kuris nukreiptas į aliuminio bandinį (anga, iš kurios išeina spinduliuotė, yra matoma 3 pav.). Kai neatliekami matavimai, angą uždengia dvi švino plytos (3 pav. jos nėra matomos; jos turi būti uždėtos ant dviejų plytų, kurios matomos 3 pav. dešinėje, žemiau angos).

Detektoriaus padėtis keičiama sukant slankųjį petį, ant kurio yra detektoriaus stovas. Sklaidos kampas nustatomas pagal skalę, kuri yra ant lanko formos varinės juostos, išilgai kurios slankioja detektorius keičiant jo padėtį (žr. 4 pav.). Ant tos juostos kas dešimt laipsnių yra padalos (balti taškai). Prie kai kurių padalų yra užrašyta kampo reikšmė. Detektoriaus padėtį galima užduoti maždaug $1 - 2^\circ$ tikslumu pagal raudoną rodyklę (žr. 4 pav.). Pvz., 4 pav. sklaidos kampas lygus 60° .



2 pav. Darbo įrangos bendras vaizdas



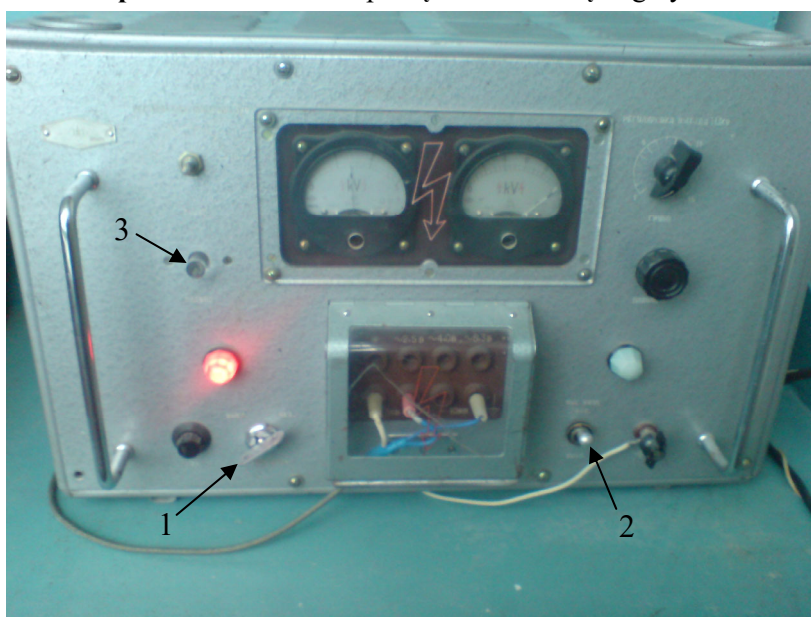
3 pav. Detektorius, geležies plokštelė, aliuminio strypas ir švino plytos, po kuriomis yra Cs^{137} šaltinis. Tuščias juodos spalvos stovas, kuris matomas apačioje, apriboja slankiojo peties eigą (mažiausias sklaidos kampas yra 45°).



4 pav. Varinė juosta, ant kurios atidėti sklaidos kampai. Padalos (balti taškai) yra kas 10° . Sklaidos kampas nustatomas pagal raudoną rodyklę. Šiame pavyzdyje sklaidos kampas yra 60°



5 pav. Detektoriaus impulsų skaičiavimo įrenginys



6 pav. Aukštos įtampos šaltinis. Skaičiais pažymėti: 1 – elektros tinklo jungiklis, 2 – aukštos įtampos jungiklis, 3 – aukštos įtampos reguliatorius

Matavimo tvarka

1. Įjungiamas impulsų skaičiavimo įrenginys (raudonas mygtukas; žr. 5 pav., kairysis apatinis kampas).
2. Aukštos įtampos šaltinis įjungiamas į elektros tinklą: raktų pavidalo jungiklis „CETБ“, kuris yra aukštos įtampos šaltinio priekinės sienelės apačioje ir kairėje (6 pav. jis pažymėtas „1“), pasukamas pagal laikrodžio rodyklę į padėtį, kuri matoma 6 pav.
3. Po 1 min įjungiamas aukšta įtampa. Tuo tikslu aukštos įtampos jungiklis „ББIC. HAIP.“, kuris yra aukštos įtampos šaltinio priekinės sienelės apačioje ir dešinėje (6 pav. jis pažymėtas „2“), perjungiamas į viršutinę padėtį, kaip parodyta 6 pav. Aukštos įtampos vertė rodoma kairiojoje iš dviejų skalių, kurios yra priekinės sienelės viršuje (žr. 6 pav.). Ta įtampa turėtų būti maždaug 1,4 kV (leistinas nukrypimas iki 0,1 kV, t. y. pusė padalos). Šią įtampą galima patikslinti sukant reguliatorių „ПЛJABHO“, t. y. apatinį iš dviejų reguliatorių, kurie yra į kairę nuo pirmosios skalės (6 pav. jis pažymėtas „3“). **Dėmesio!** Draudžiama sukoti reguliatorių „ГРУБО“, t. y. viršutinį iš dviejų reguliatorių, nes tada detektoriaus maitinimo įtampa gali tapti tokia didelė, kad detektorius suges. Siekiant sumažinti galimybę, kad šis reguliatorius bus pasuktas, nuo jo yra nuimta rankena ir yra matomas tik metalinis reguliatoriaus strypas.
4. Atidengiamas radioaktyvusis šaltinis. Tam nuimamos dvi viršutinės iš keturių švino plytų, kurios uždengia angą apsauginiame švino sluoksnyje. Dvi nuimtas plytas reikia padėti taip, kad į jas nekristų spinduliuotės pluoštas, pvz., ant stalo arba ant švino plytų, kurios uždengia radioaktyvųjį šaltinį. Dviejų apatinių plytų nereikia liesti (dvi apatinės plytos matomos 3 pav. dešinėje, žemiau angos). **Dėmesio!** Kadangi šiame darbe naudojamas didelio aktyvumo šaltinis, negalima laikyti rankų prieš angą, iš kurios išeina gama spinduliuotės pluoštas.
5. 10 min palaukiama (šis laikas reikalingas, kad įkaistų aukštos įtampos šaltinio elektroninės lempos ir kad blyksimasis detektorius „adaptuotųsi“). Šiame laikotarpyje spinduliuotės, kuri krinta į detektorių, intensyvumas turėtų būti kuo didesnis. Todėl aliuminio strypas turi būti darbinėje padėtyje (kaip 2 ir 3 pav.), o geležies plokštelė turi būti ištraukta (kaip 2 pav.).
6. Įsitikinama, kad yra nuspausti šie skaičiavimo įrenginio mygtukai: **1)** du juodi mygtukai, virš kurių yra užrašas "2", **2)** du juodi mygtukai "IMP", **3)** baltas mygtukas "T".
7. Įsitikinama, kad kairysis iš dviejų skaičiavimo įrenginio perjungiklių "T/s/" yra padėtyje "10", o dešinysis – padėtyje "6" (tie perjungikliai matomi 5 pav., rodytuvo dešinėje). Tokios šių perjungiklių padėtyje atitinka 60 s matavimo trukmę. [Kairysis perjungiklis užduoda matavimo trukmės didumo eilę ($10^{-2} - 10^6$ s), o dešinysis – daugiklį (1 – 9).]
8. Detektorius pastatomas į padėtį, kuri atitinka sklaidos kampą $\theta = 45^\circ$ (kampas vertės užrašytos ant lanko formos varinės juostos, kuri matoma 4 pav.). Aliuminio strypas, kuriame vyksta γ spinduliuotės sklaida, pašalinamas iš spinduliuotės pluošto. Išmatuojamas fono impulsų skaičius (matuojant foną, radioaktyviojo šaltinio uždengti nereikia). Matavimo trukmė – 1 min. Atliekami 3 matavimai ir apskaičiuojamas vidurkis N_f . Skaičiavimo įrenginio startavimui ir nustatymui į nulį naudojami skaičiavimo įrenginio mygtukai "START" ir "NUMET". **Pastaba:** Tarp jų yra mygtukas „STOP“, kuris reikalingas matavimo sustabdymui „rankiniu būdu“, tačiau šiame darbe jo neturėtų prireikti, nes matavimas sustabdomas automatiškai, kai pračina 60 s po mygtuko „START“ nuspaudimo (tada nustoja didėti skaičius, kurį rodo skaičiavimo įrenginys).
9. 8 punkto matavimai pakartojami, kai spinduliuotės kelyje yra aliuminio strypas. Apskaičiuojamas vidurkis N_0 .
10. 8 punkto matavimai pakartojami, kai maždaug pusiaukelėje tarp detektoriaus ir aliuminio strypo yra $d = 7,6$ mm storio geležies plokštelė („filtras“). Geležies plokštelė turi būti įkišta į tarpą tarp dviejų švino plytų, kurios yra ant slankiojo peties, prieš detektorių (žr. 3 pav.). Vienintelė tų dviejų plytų paskirtis – geležies plokštelės prilaikymas; jų padėties nereikia keisti. Apskaičiuojamas vidurkis N . **Pastaba:** kadangi šiame darbe yra matuojamas išsklaidytos spinduliuotės silpimo koeficientas geležyje, tai geležies plokštelę reikia talpinti tarp spinduliuotės sklaidančio objekto (aliuminio strypo) ir detektoriaus (o ne tarp radioaktyviojo šaltinio ir aliuminio strypo).
11. 8 – 10 punktai pakartojami dar penkiems sklaidos kampams: $\theta = 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ, 105^\circ$ ir 120° . **Pastaba:** Foną reikia matuoti kiekvienam kampui, nes, kaip minėta tyrimo metodo teorijos apraše, viena iš fono komponentų yra pašaliniuose objektuose (ne aliuminio strype) išsklaidyta radioaktyviojo šaltinio spinduliuotė, kurios intensyvumas priklauso nuo detektoriaus padėties.
12. Baigus matavimus, radioaktyviojo šaltinio kolimatoriaus anga uždengiama švino plytomis. Išjungiamas aukšta įtampa (aukštos įtampos jungiklis „ББIC. HAIP.“, kuris yra aukštos įtampos šaltinio priekinės sienelės apačioje ir dešinėje, perjungiamas į apatinę padėtį), paskui skaitiklio aukštos įtampos šaltinis ir registravimo įrenginys išjungiami iš elektros tinklo, t. y. nuspaudžiamas registravimo įrenginio mygtukas „TINKLAS“ ir išjungiamas aukštos įtampos šaltinio elektros tinklo jungiklis „CETБ“ (sukant jį prieš laikrodžio rodyklę).

Po lentelėmis su matavimo duomenimis pasirašo darbo vadovas arba laborantas.