

# Pasidaryk Vilsono kamerą ir stebėk kosminius spindulius

Marijus Ambrozas  
Fizikos fakultetas, Vilniaus Universitetas

2017 m. lapkričio 18 d.

## Santrauka

Daugelis yra girdėję apie Žemės paviršių pasiekiančius kosminius spindulius, bet ne kiekvienas žino, kad jų egzistavimą galima stebėti savo namuose... Tik reikia specialios įrangos. Mūsų akis yra prisitaikiusi šviesos dalelių – fotonų – stebėjimui, o norint pamatyti kitas daleles, reikia truputį pasistengti. Jei esate linkęs eksperimentuoti, nesunkiai pasigaminsite paprastą Vilsono kamerą – ir galėsite stebėti praskriejančių dalelių pėdsakus.

## Turinys

1 Įvadas: kosminė spinduliuotė ir jos aptikimas	2
2 Vilsono kamerų istorija	2
3 Priemonės Vilsono kamerai	3
4 Pasiruošimas eksperimentui	4
5 Kaip veikia difuzinė Vilsono kamera	7
6 Ką galima pamatyti	8
7 Problemų sprendimai ir dažniausiai užduodami klausimai	9
8 Daugiau apie Vilsono kameras	10
9 Papildoma informacija/idėjos	11
10 Kiti detektoriai	12
Bibliografija	13

# 1 Įvadas: kosminė spinduliuotė ir jos aptikimas

**Kosminė spinduliuotė** - tai energingos dalelės (dažniausiai protonai, helio branduoliai, elektronai, fotonai bei neutrinai), atskriejančios iš įvairių kosmose esančių šaltinių, tokių kaip žvaigždės, galaktikos ar supernovos. Kosminių dalelių energija didžiulė: jos vertės svyruoja nuo  $10^9$  elektronvoltų (eV) iki maždaug  $10^{20}$  eV. Palyginimui: šiuo metu didžiausiame dalelių greitintuve pasaulyje - Europos branduolinių mokslinių tyrimų organizacijai CERN priklausančiame LHC (*Large Hadron Collider* - Didysis hadronų priešpriešinių srautų greitintuvas) protonai įgreitinami iki 13 TeV ( $1.3 \cdot 10^{13}$  eV) - t.y. apie 10 mln. kartų mažesnių energijų. Nors nenusakomi kosminių dalelių kiekiai skrodžia Žemę (o kartu ir mūsų kūnus) kiekvieną sekundę, jos yra labai mažos ir skrieja beveik šviesos greičiu, todėl yra nematomos plika akimi. Šių dalelių pėdsakus įmanoma aptikti naudojant specialius detektorius. Šiais laikais detektoriai yra labai sudėtingi ir susideda iš daugybės skirtingų fragmentų, tačiau prieš maždaug šimtmetį mokslininkai dalelių stebėjimams naudojo Vilsono kameras.

**Vilsono kameros** veikimo principas iš esmės nesudėtingas - sandaraus indo viduje sukuriama persotinti garai - tai tokia medžiagos būseną, kai greitai atvėsinta medžiaga išlieka dujinės būsenos, nors įprastinėmis sąlygomis tokioje temperatūroje ji turėtų kondensuotis. Tokia būseną yra pakankamai nestabili, kad jonizavus mažą medžiagos plotelį aplink jį prasidėtų kondensacijos procesas. Todėl, kai į tokį indą pataiko krūvį turinti dalelė ir savo kelyje jonizuoja keletą dujų molekulių, aplink jas ima kondensuotis maži lašeliai, kuriuos jau galima pamatyti plika akimi. Tokį iš lašelių susidariusį „takelį“ vadiname dalelės treku.

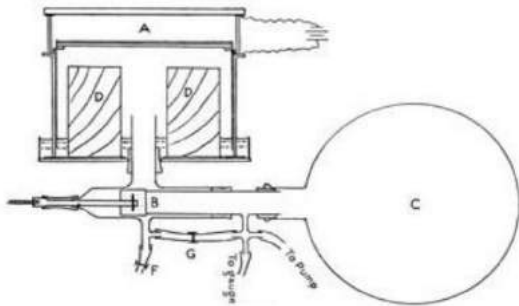
## 2 Vilsono kamerų istorija

Vilsono kamera yra vienas seniausių dalelių detektorių. Jos dėka buvo įvykdyta nemažai atradimų dalelių fizikos istorijoje, o du iš jų net buvo įvertinti Nobelio premijomis!

Daugiau informacijos (anglų kalba) apie istorinius kosminių dalelių tyrimus, kuriuos galima atkartoti mokyklose, rasite čia: <http://timeline.web.cern.ch/timelines/Cosmic-rays>

### Čarlzas T. R. Vilsonas (1869-1959)

Škotų fizikas modeliavo debesų formavimąsi bei optinius reiškinius drėgname ore ir pastebėjo, kad prietaisas jautrus radioaktyvumui ir kosminei spinduliuotei. 1911 metais jis išstobulino pirmąjį tokį dalelių detektorių, o 1927 metais už tai atsiėmė Nobelio premiją.

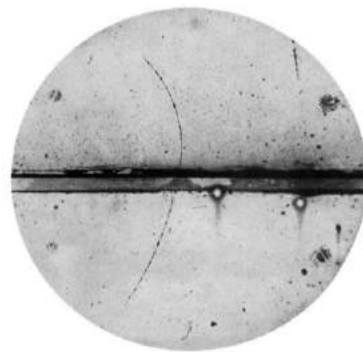


Vilsono kameros diagrama. Cilindrinė kamera (A) yra 16.5 cm ilgio ir 3.4 cm gylio.

Vilsonas (*Wilson*, 1912 m.)

### Karlas Andersonas (1905-1991)

Amerikiečių fizikas naudodamas Vilsono kameras 1932 metais atrado pozitroną, o 1936 metais - miuoną. 1936 metais jis buvo apdovanotas Nobelio premija. Andersonas detektorių buvo patalpinęs į stiprų magnetinį lauką bei vietoje vandens naudojo alkoholį.



Andersonas (*Anderson*, 1933 m.)

### 3 Priemonės Vilsono kamerai

---



#### Plastikinė dėžė

Skaidri, permatoma stačiakampė dėžė atviru viršumi  
Dydis apytiksliai 20 × 30 × 15 cm (9 litrai)

**Alternatyvos:** permatoma plastikinė talpa, akvariumas, ...



#### Veltinis

Storas (bent kelių milimetrų) veltinis, kuris bus tvirtinamas prie dėžės apačios

**Alternatyvos:** kempinė, ...



#### Dvipusė lipni juosta arba klijai

Skirta pritvirtinti veltinį prie dėžės apačios

Klijai (taip pat ir juostelės klijai) turi netirpti izopropanolyje ir lipti prie veltinio

**Alternatyvos:** smeigtukai, vielos, magnetai, medvaržčiai ...



#### Putplasčio dėžė

Šiek tiek didesnė už skardą, ant kurios bus plastikinė dėžė  
Į ją bus dedamas sausas ledas ir metalinė skarda

Aukšti (didesni nei 5 cm) kraštai kiek užstoja vaizdą, bet padidina persotintų garų tūrį

Turi gerai izoliuoti šilumą

**Alternatyvos:** Kartoninė, plastmasinė, arba medinė dėžutė, ...  
(šiais atvejais būtų gerai dėžę iš vidaus izoliuoti putplasčiu)



#### Juoda metalinė skarda

Tinka paprasčiausia kepimo skarda ne per aukštais kraštais

Turi pilnai uždengti atvirąją plastikinės dėžės dalį

Turi būti juoda, gali turėti griovelius, į kuriuos įsistatytų dėžutė

**Alternatyvos:** keptuvė, knygų laikiklis, metalinė ploštė arba lėkštė, apklijuota juoda izoliacine juosta, ...



#### Šviesos šaltinis

Gerai šviečiantis prožektorius

Kuo plačiau ir ryškiau šviečia, tuo geriau

Geriau matosi, jei lemputė tik viena (taškinis šviesos šaltinis)

**Alternatyvos:** skaidrių projektorius, LED žibintas, telefono prožektorius ...



### Apsaugos priemonės

Naudojant izopropanolį ir sausą ledą būtina naudotis apsauginėmis priemonėmis:

- Apsauginiais akiniais (izopropanoliui ir sausam ledui)
- Neperšlampančiomis pirštinėmis (izopropanoliui)
- Odinėmis apsauginėmis pirštinėmis (sausam ledui)
- Tinkamu kastuvėliu (sausam ledui)

### Sausas ledas

Kietosios būsenos anglies dioksidas. Jo temperatūra  $-78^{\circ}\text{C}$

#### **Būtina perskaityti saugumo instrukcijas!**

Prisilietus nušalama oda

Naudokite tinkamą kastuvėlį (vientisas metalinis kastuvėlis netinka)

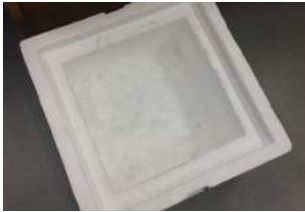
Garuojantis sausas ledas pripildo patalpos orą  $\text{CO}_2$  dujomis

#### **Naudoti tik gerai vėdinamose patalpose!**

Sandariose talpose laikomas sausas ledas jų viduje sukuria didelį slėgį

#### **Kur įsigyti:**

- Google paieškokite „Sausasis ledas užsakyti“  
Forma nėra svarbu: granulės arba plytelė



### Izopropanolis / Propan-2-olis

Naudojamas grynas ( $>90\%$ ) izopropilo alkoholis

#### **Būtina perskaityti saugumo instrukcijas!**

Saugoti nuo vaikų, jokių būdu negerti

Naudojant dėvėti pirštines ir akinius. Sausina odą

#### **Kur įsigyti:**

- Google paieškokite „Izopropilo alkoholis užsakyti“



### Fotoaparatas

Trekų užfiksavimui, kad būtų galima peržiūrėti vėliau

**Alternatyvos:** filmavimo kamera, išmanusis telefonas, ...

## 4 Pasiruošimas eksperimentui

### 1 etapas. Pritvirtinkite veltinį prie plastikinės dėžės dugno

Įsitikinkite, kad dvipusė lipni juostelė tvirtai kabinasi į veltinį ir gerai limpa prie dėžės paviršiaus (ji turės išlaikyti izopropanoliu sušlapintą veltinį!). Taip pat išbandykite, ar jos klijai ir ji pati netirpsta izopropilo alkoholyje. Jei juostelę keisite klijais, nenaudokite įprastų klijų, nes izopropilo alkoholis juos ištirpins. Galima pasinaudoti terminiais klijais (tepamais klijų pistoletu).

Ant plastikinės dėžės dugno (vidinėje dėžės pusėje) priklijuokite dvipusę lipnią juostą (ar kitą lipnią priemonę). Prie kitos lipnios juostos pusės prilipinkite veltinį. Įsitikinkite, kad veltinis gerai laikosi. Vėliau veltinis bus išmirkytas alkoholyje, kad sukurtų „lietų“ – rūką iš mažų alkoholio lašelių.

## 2 etapas. Paruoškite Vilsono kamerą

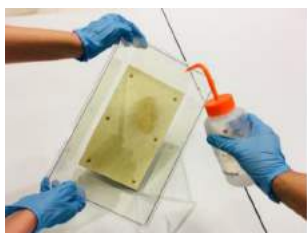


Užsidėkite odines pirštines ir apsauginius akinius. Sudėkite sausą ledą ant putplasčio dėžės dugno.

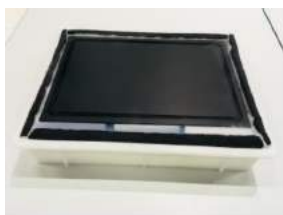


Ant veltinio pilsime izopropanolio, todėl būtinai užsidėkite plastikines pirštines ir apsauginius akinius. Dar kartą primename - jokia būdu nebandykite gerti alkoholio ir laikykite jį toli nuo vaikų!

**Taip pat labai svarbu naudoti tinkamą alkoholį. Naudojant kitos rūšies alkoholį trekų nesimatys!**



Sudrėkinkite veltinį izopropanoliu. Iš izopropanolio susiformuos migla, kurioje bus galima pamatyti dalelių trekus. Pildami izopropanolį, dėžę laikykite šiek tiek pakreiptą. Kai veltinis jau bus pilnai išmirkęs, dėžės kampe pamatysite besikaupiančią izopropanolio „balą“. Likusį izopropanolį vėliau dar bus galima panaudoti kameros užsandarinimui.



Uždėkite skardą ant sauso ledo. Jeigu nepavyko gauti **juodos** skardos arba metalo plokštės, galite paimti bet kokią metalinę plokštę ir apklijuoti ją juoda izoliacine juosta, tik prieš tai patikrinkite, ar ji netirpsta izopropanolyje. Ant sauso ledo skardą uždėkite tik paruošę dėžę su sudrėkintu veltiniu. Jeigu skarda pernelyg sušals, ore esantys vandens garai ims kondensuotis ir šalti prie skardos, sukurdami „sniego sluoksnį“. Kadangi gerai matosi tik ant juodo paviršiaus, sniegą reikėtų nuvalyti.



Jeigu norite, netoli skardos kraštų galite pripilti šiek tiek izopropanolio: tose vietose, kur į skartą remsis apverstos dėžės kraštai. Surinkus detektorių, izopropanolis neleis orui patekti į plastikinės dėžės vidų.



Apverskite plastikinę dėžutę dugnu aukštyn ir pastatykite ją ant skardos. Dėžutę galite šiek tiek pastumdyti į šonus ir paspausti žemym, kad ji kuo geriau liestųsi su skarda ir oras negalėtų pro niekur patekti į kamerą. Kai temperatūra pakankamai nukris, plastikinė dėžė turėtų net „prilipti“ prie skardos. Jeigu įsitikinote, kad viskas sandaru – jūsų detektorius paruoštas darbui. Dabar reikia palaukti keletą minučių kol viskas atvės.

Iš pradžių turėtumėte matyti tik į lietu panašią alkoholio miglą. Pastatykite šviesos šaltinį taip, kad jis apšviestų kuo arčiau skardos esančią miglos dalį – toje vietoje yra detektoriaus jautrioji zona.

Išjunkite patalpos apšvietimą ir įjungite savo turimus šviesos šaltinius. Po keleto minučių turėtumėte pradėti matyti pralekiančių didžiulės energijos dalelių trekus. Trekai yra panašūs į voratinklio gijas, besidraikančias palei detektoriaus apačią. Turėtų būti įmanoma pastebėti apytiksliai po vieną treką per sekundę.

Kameros atvėsimo laikas priklauso nuo jos tūrio, o jautraus sluoksnio storis – nuo sienelių aukščio. Jei yra per didelis tarpas tarp kameros ir sienelių, jį galima izoliuoti, pvz., kartonu.

### Surinkta Vilsono kamera atrodo taip:



1. Permatoma plastikinė dėžutė
2. Veltinis (viduje)
3. Šviesos šaltinis
4. Juoda skarda
5. Dėžė su sausu ledu



## 5 Kaip veikia difuzinė Vilsono kamera


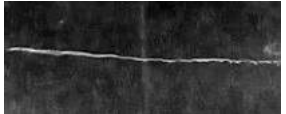
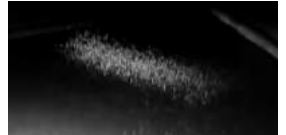
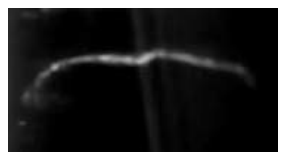


Jūsų pasidaryta Vilsono kamera gan smarkiai skiriasi nuo prieš daugiau nei šimtmetį Čarlzo T. R. Vilsono sukurtos kameros. Tikrojoje Vilsono kameroje (dar vadinamoje plėtimosi Vilsono kamera) persotinti garai buvo sukuriami staigiai išplečiant (ir taip atvėsinant) garų prisotintą orą. Jūsų pasigaminta Vilsono kamera yra vadinama difuzine Vilsono kamera. Ją pasidaryti yra daug paprasčiau.

Difuzinės Vilsono kameros veikimo principas taip pat paprastesnis: izopropanolis garuoja nuo veltinio, esančio plastikinės dėžės viršuje (t.y., jis yra dujinės būsenos). Kadangi izopropanolis yra sunkesnis už orą, jis lėtai leidžiasi link skardos. Sausas ledas smarkiai šaldo detektoriaus apačią, todėl besileisdamas izopropanolis labai greitai šąla. Sauso ledo garavimo temperatūra yra  $-78.5^{\circ}\text{C}$ , o izopropanolio užšalimo temperatūra yra  $-89^{\circ}\text{C}$ . Todėl izopropanolis nesukietėja, o arti skardos susikuria jo persotinti garai. Dėl šios priežasties izopropanolis gali labai lengvai ir greitai susikondensuoti į skystį, jeigu tik kas nors sutrikdys šią trapią pusiausvyrą. Į kamerą įlėkusi elektringa dalelė jonizuoja garus: ji išmuša elektronus iš kai kurių dujų molekulių, pasitaikiusių jos kelyje. Tokiu būdu garų molekulės įgyja teigiamą elektrinį krūvį. To jau užtenka, kad prasidėtų garų kondensavimosi procesas: aplink tą vietą, kur detektoriuje pralėkė dalelė, ima formuotis maži alkoholio lašeliai. Daugybė tokių greta išsidėsčiusių lašelių ir yra mūsų matomi treikai.

Apie plėtimosi Vilsono kamerą galite paskaityti čia: <http://ik.su.lt/~mariusbm/Atomas/teorija/detektor.htm>

## 6 Ką galima pamatyti

Naudodamiesi pasigamintu detektoriumi galėsite pastebėti įvairių trekų, kurie skiriasi savo ilgiu, storiu ir forma priklausomai nuo to, kokios dalelės juos sukuria.

Paveikslėlis	Dalelė	Paaškinimas
	<b>miuonas arba antimiuonas</b>	Ploni tiesūs treikai: - sukuria greitas dalelės su didele kinetine energija - jos jonizuoja molekules be sklaidos - gali būti: aukštos energijos miuonai, elektronai arba jų antidalelės - šaltiniai: antrinė kosminė spinduliuotė
	<b>elektronas arba pozitronas</b>	
	<b><math>\alpha</math> dalelių sistema</b>	Stori, trumpi treikai (apie 5 cm): - alfa dalelių sistemos (helio branduoliai – 2p2n) - masyvios dalelių sistemos su dideliu „jonizacijos tankiu“ (apie 1 MeV/cm) - šaltiniai: Radono-222 dujos, natūrali radiacija
	<b>elektronas</b>	Vingiuoti treikai: - lėtesni elektronai, sklaidomi kitų elektronų dėl elektromagnetinės sąveikos: kuo mažesnis dalelių greitis, tuo lengviau jos keičia kryptį - fotoelektronai yra mažos energijos elektronai, kuriuos iš atomų išmuša aukštos energijos fotonai (dėl fotoefekto) - šaltiniai: miuonų virsmai, beta spinduliai, fotoefektas
	<b>fotoelektronas</b>	
	<b>miuono virsmas</b>	Staigūs posūkiai: Tai gali būti miuonas (arba antimiuonas), skylantis į elektroną (arba pozitroną), neutriną ir antineutriną.
<b>Y</b>	<b>miuono sklaida elektronais</b>	Y forma: Tai gali būti miuonas, išmušantis elektroną iš atomo dėl elektromagnetinės sąveikos.



## 7 Problemų sprendimai ir dažniausiai užduodami klausimai

Nors Vilsono kameros yra labai patikimi prietaisai, vis dėlto ne viskas gali veikti iškart, todėl tikėtina, kad galite susidurti su kai kuriais iš šių iššūkių ar problemų.

Iššūkis/klausimas	Sprendimas
„Nematau jokių trekių nei miglos.“	Pabandykite pakoreguoti šviesos šaltinio padėtį. Įsitikinkite, kad jautrioji detektoriaus dalis (maždaug 1 cm virš skardos) yra gerai apšviesta. Įsitikinkite, kad sausas ledas tikrai liečiasi su skarda kiek įmanoma didesniu plotu. Taip pat galite pabandyti šiek tiek nugramdyti sauso ledo paviršių, nes prie jo galėjo prišalti ore esančio vandens. Pripilkite daugiau izopropanolio, kad kamera tikrai būtų gerai prisotinta. Patikrinkite, ar kamera yra sandari. Ją galima užsandarinti naudojant plastiliną ar lipnią juostą.
„Matau tik miglą, o trekių nematau.“	Dar šiek tiek palaukite. Kamera atšąla iki darbinės temperatūros per maždaug 5 minutes. Įsitikinkite, kad naudojate tinkamos rūšies alkoholį – kosminė spinduliuotė gali nesukelti garų kondensacijos kitokiuose alkoholiuose.
„Matau didelius debesis prie kameros kraštų.“	Greičiausiai kamera yra nesandari. Pasirūpinkite, kad kamera būtų gerai užsandarinta.
„Nematau trekių, nes skarda yra pasidengusi sniegu.“	Taip nutinka, kai skarda kontaktuoja su įprastu oru ir sausu ledu vienu metu. Ore esantys vandens garai susikondensuoja ir prišąla prie skardos. Pakartokite eksperimentą iš naujo, tik šįkart pasistenkite uždaryti kamerą kaip įmanoma greičiau, t.y., paruoškite veltinį su izopropanoliu prieš uždėdami skardą ant sauso ledo.
„Esu skaitęs, kad kartais Vilsono kameros patalpīnamos stipriame elektriniame lauke. Kodėl?“	Stiprus elektrinis laukas (apie 100 V/cm) dažnai sukuriamas profesionaliose Vilsono kameroje, kad patrauktų jonų trekus arčiau aktyviosios detektoriaus srities. Jei jonizuojančios dalelės pralekia aukščiau, negu siekia aktyvioji kameros zona, jos palieka jonizuotos medžiagos treką, tačiau kondensacija neįvyksta. Elektriniu lauku patraukus jonizuotą sritį į persotintą sluoksnį, aplink ją pradeda vykti kondensacija ir trekai tampa matomi.
„Žinau, kad magnetais galima nukreipti elektrinį krūvį turinčių dalelių trajektoriją, tačiau joks magnetas, kurį bandžiau, neveikia.“	Kad būtų įmanoma plika akimi pamatyti labai energingos dalelės trajektorijos linkį magnetiniame lauke, reikalingas labai stiprus (kelių teslų eilės) magnetinis laukas. Pavyzdžiui, elektrono, turinčio 1 GeV energijos, trajektorijos kreivumo spindulys 2 T magnetiniame lauke būtų apie 1.7 m! $E = \sqrt{m_e^2 \cdot c^4 + p^2 \cdot c^2} \approx p \cdot c \text{ (reliatyvistinėms dalelėms, kurių } m \ll p)$ $p \cdot c = e \cdot r \cdot B \cdot c \Rightarrow r = E / (e \cdot B \cdot c) = 1.7 \text{ m}$
„Kodėl uždėdamas skardą ant sauso ledo pasigirsta džeržgiantis garsas?“	Kai skarda uždėdama ant sauso ledo, girdimas keistas stiprus garsas. Taip yra todėl, kad susilietęs su šilta skarda anglies dioksidas staiga sublimuojasi (kietas kūnas virsta garais). Dujų burbuliukai sprogsa dėl skardos spaudimo ir verčia ją vibruoti - tai ir sukuria girdimą garsą.

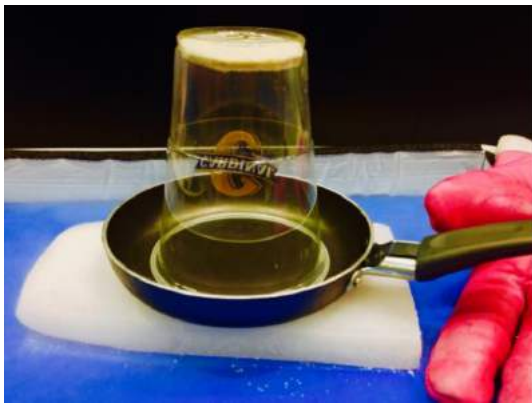
## 8 Daugiau apie Vilsono kameras

### Alternatyvūs būdai pasidaryti Vilsono kamera

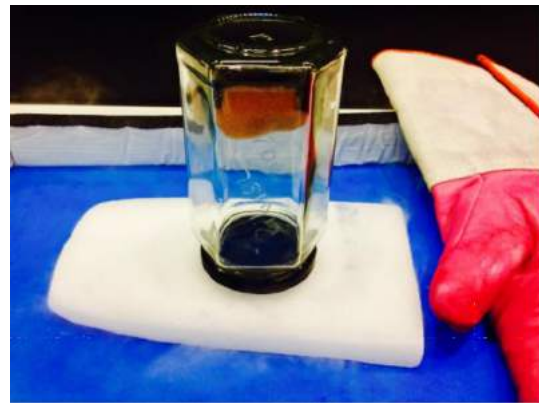
Internete arba edukaciniuose žurnaluose galima rasti daugybę skirtingų būdų pasidaryti Vilsono kamera. Štai keletas pavyzdžių:

- Kamera iš akvariumo (*Green*, 2012 m.)
- Kamera, padaryta naudojant gelinio ledo pakuotes vietoje sauso ledo (*Kubota* ir *Kamata*, 2012 m.)
- Kamera, padaryta naudojant vandens ledo ir druskos mišinį (*Yoshinaga*, *Kubota* ir *Kamata*, 2014 m.)
- Kamera, padaryta naudojant skystą azotą (*Zeze*, *Itoh*, *Oyama* ir *Takahashi*, 2012 m.)

Įdomiausi variantai:



„Keptuvės kamera“



„Stiklainio kamera“ (*Nova*, 2015 m.)

### „Moderni“ Vilsono kamera Europos branduolinių mokslinių tyrimų organizacijoje CERN: CLOUD eksperimentas

Sužinokite apie debesis ir klimatą, bei kodėl CERN tiria debesų formavimąsi (*Kirby*, *Richer* ir *Comes*, 2016 m.). Daugiau informacijos anglų kalba:

<https://home.cern/about/experiments/cloud>

### Žygis su Vilsono kameromis

Kas nutinka Vilsono kamerai 4300 m aukštyje? 1936 metais Karlas Andersonas užkopė į Paiko viršūnę (*Pikes Peak*, Kolorado valstija, JAV) su savimi pasiėmęs Vilsono kamera (*Anderson* ir *Neddermeyer*, 1936 m.).

## 9 Papildoma informacija/idėjos

### Specialiosios reliatyvumo teorijos patikrinimas

Didžioji dalis Vilsono kameroje matomų trekų yra palikti miuonų. Miuonai savo savybėmis yra labai panašūs į elektronus, tačiau yra gerokai (apie 200 kartų) sunkesni, todėl jie yra nestabilūs ir turi gan trumpą vidutinę gyvavimo trukmę – apie  $2.2 \mu\text{s}$ . Miuonai skyla į elektroną ir du neutrinus. Tai suteikia galimybę atlikti įdomų specialiosios reliatyvumo teorijos patikrinimą: miuonai paprastai yra sukuriami maždaug 15 kilometrų aukštyje, kai dalelės iš kosmoso sąveikauja su atmosferos dalelėmis ir skyla į lengvesnes daleles. Kad pasiektų žemės paviršių, miuonai, net jeigu skrietų šviesos greičiu, užtruktų apie  $50 \mu\text{s}$  – daugiau, negu 20 miuono gyvavimo trukmių! Dėl to būtų galima tikėtis, kad prie žemės paviršiaus miuonų aptikti beveik neįmanoma. Vis dėlto, pritaikę Einšteino specialiąją reliatyvumo teoriją labai greitai miuonams, pamatome, kad laikas jų atskaitos sistemoje eina gerokai lėčiau, negu stebėtojiui Žemėje, todėl Žemės paviršių gali pasiekti visai nemaža dalis miuonų. Kai laikote delną ištiestą, jį kas sekundę perskrodžia vidutiniškai vienas miuonas. Žemės paviršių pasiekiančių miuonų energija dažniausiai svyruoja tarp 1 GeV ir 1 TeV.

### Radioaktyvūs šaltiniai

Stebėjimams su Vilsono kamera galima naudoti ne tik kosminę spinduliuotę, bet ir radioaktyvios spinduliuotės šaltinius. Turėkite omenyje, kad matysite gerokai mažiau kosminių dalelių, kai tik priartinsite spinduliuotės šaltinį prie Vilsono kameros. Rekomenduojame iš pradžių pabandyti stebėti tik antrinę kosminę spinduliuotę, nes tai, kiek daug trekų galite pamatyti vien iš natūralios radiacijos, sukelia nemažą įspūdį. Jeigu jūsų kamera yra labai maža, arba nelabai gerai veikia (arba jeigu jau stebėjote kosmines daleles užtektinai) – galite panaudoti radioaktyvius šaltinius. Turėkite galvoje, kad radioaktyvūs šaltiniai paprastai spinduliuoja ištisinę energijų spektrą ir gali pažeisti trekų susidarymo sąlygas. Nebloga priemonė ieškant informacijos apie elementų pusamžius, alfa spinduliuotės energijas, dukterinius branduolius ir skilimų sekas: *IAEA Isotope Browser App* (tinka *Android* ir *iOS* operacinėms sistemoms).

### Torio turintys suvirinimo elektrodai

Torio oksidas jau daug metų naudojamas volframiniuose suvirinimo elektroduose dėl ilgamžiškumo, efektyvaus uždegimo ir didelio našumo. Tokių elektrodų galima nusipirkti internetinėse parduotuvėse. Paieškoje pabandykite įvesti „WT raudoni volframo elektrodai“. Alfa ir beta skilimai torio-232 skilimų sekoje gali sukurti neblogų trekų Vilsono kameroje. Elektrodą galite uždengti popieriaus lapu ir stebėti alfa dalelių ekranavimo reiškinį.

### Ore esantys radono ir jo dukteriniai branduoliai

Bastosas (*Bastos*), Bofas (*Boff*) ir Melkviadas (*Melquiades*) 2016 m. parodė, kaip stebėjimams panaudoti ore esančius radioaktyvius izotopus. Labai įdomu: įelektrinti balionai vos per kelias minutes pritraukia ore esančias dulkes, prie kurių yra prilipę radioaktyvių izotopų (*Austen* ir *Brouwer*, 1997 m.). Mūsų rekomendacija: pripūskite balioną, įelektrinkite jį panaudodami trintį (galite patrinti į katės kailį ar tiesiog savo plaukus), pridėkite balioną prie sienos ir palaukite 10-20 minučių. Atsargiai išleiskite balioną ir įdėkite jį į Vilsono kamerą. Kai kamera atšals, galėsite stebėti daug alfa dalelių trekų, sklindančių nuo baliono.

## 10 Kiti detektoriai

Be Vilsono kamerų, yra ir kitų detektorių, kuriuos naudojant galima sužinoti daugiau apie kosminę spinduliuotę.

### Miuonų medžiotojo projektas (*Muon Hunter Project*)

Pasidarykite miuonų teleskopą patys (du Geigerio skaitikliai, prijungti prie *Raspberry Pi*). Galėsite aptikti miuonus ir išmatuoti, pvz., jų kampinį pasiskirstymą.

<http://www.muonhunter.com/> (apie 150 eurų)

### Pikselinis detektorius

300  $\mu\text{m}$  silicio pikselių detektoriaus lustas ( $256 \times 256$  pikselių, aktyvaus elemento dydis – 55  $\mu\text{m}$ ), sukurtas *Medpix2*, perdarytas *JABLOTRON*, kad tiktų naudojimui mokyklose. Suteikia galimybę interaktyviai detektuoti, vizualizuoti ir analizuoti jonizuojančias daleles.

<http://www.particlecamera.com/> (apie 4000 eurų)

## Padėka

Autorius dėkoja VU Teorinės fizikos ir astronomijos instituto mokslininkams Aušrai Kynienei ir Andriui Juodagalviui už kūrybinį bendradarbiavimą, skatinimą toliau domėtis nematomu subatominių dalelių pasauliu ir pagalbą ruošiant šį aprašymą.

## Bibliografija

- J. Woithe (2016). CLOUD CHAMBER. S'Cool LAB - Do-it-yourself manual. <https://scool.web.cern.ch/classroom-activities/cloud-chamber>
- C. D. Anderson (1933). The Positive Electron. *Physical Review* 43, 491-494. doi:10.1103/PhysRev.43.491
- C. D. Anderson, S. H. Neddermeyer (1936). Cloud chamber observations of cosmic rays at 4300 meters elevation and near sea-level. *Physical Review*, 50 (4), 263-271.
- D. Austen, W. Brouwer (1997). Radioactive balloons: experiments on radon concentration in schools or homes. *Physics Education*, 32(2), 97.
- R. O. Bastos, C. A. Boff, F. L. Melquiades (2016). Nuclear physics experiments with low cost instrumentation. *Physics Education*, 51(6), 065013.
- L. Bonolis (2011). Walther Bothe and Bruno Rossi: The birth and development of coincidence methods in cosmic-ray physics. *American Journal of Physics*, 79(11), 1133-1150. arXiv:1106.1365 [physics.hist-ph]
- E. W. Cowan (1950). Continuously sensitive diffusion cloud chambers. *Review of Scientific Instruments*, 21(12), 991-996 <http://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.1745504>
- E. W. Cowan (1954). Cloud chamber. U.S. Patent 2,676,266, issued April 20, 1954.
- H.-J. Drescher. Cosmic Ray Air Shower Pictures. <http://fias.uni-frankfurt.de/~drescher/CASSIM/>
- A. Foland. How to Build a Cloud Chamber, [http://njsas.org/projects/atoms/cloud\\_chamber/cache/cloud.html](http://njsas.org/projects/atoms/cloud_chamber/cache/cloud.html)
- F. Green (2012). Making a fish tank cloud chamber. *Physics Education*, 47, 338-341.
- J. Kirby, C. Richer, I. Comes (2016). Cloudy climate change: How clouds affect Earth's temperature - Jasper Kirkby . From TEDEd Lessons Worth Sharing: <http://ed.ted.com/lessons/cloudy-climate-change-how-clouds-affect-earth-s-temperature-jasper-kirkby>
- M. Kubota, M. Kamata (2012). Simple cloud chambers using gel ice packs. *Physics Education*, 47, 429-433.
- A. Langsdorf (1939). A continuously sensitive diffusion cloud chamber. *Review of Scientific Instruments*, 10(3), 91-103. [http://hep.ucsb.edu/people/hnn/cloud/articles/ALangsdorfRSI10\\_91\\_1939.pdf](http://hep.ucsb.edu/people/hnn/cloud/articles/ALangsdorfRSI10_91_1939.pdf)
- Nuffield Foundation (2016). Alpha Particle Tracks. From Practical Physics: <http://www.nuffieldfoundation.org/practical-physics/alpha-particle-tracks>
- Nova (2015). How to Reveal Subatomic Particles at Home. [www.youtube.com/watch?v=wN\\_DMMQEhfQ](http://www.youtube.com/watch?v=wN_DMMQEhfQ)
- Particle Data Group (2016). The Review of Particle Physics. Chapter 29: Cosmic Rays. *Chin. Phys. C*, 40, <http://pdg.lbl.gov/2016/reviews/rpp2016-rev-cosmic-rays.pdf>
- C. T. R. Wilson (1912). On an Expansion Apparatus for Making Visible the Tracks of Ionising Particles in Gases and Some Results Obtained by Its Use. *Proc. R. Soc. Lond. A*. 87, 277-292. doi:10.1098/rspa.1912.0081
- K. Yoshinaga, M. Kubota, M. Kamata (2014). Simple cloud chambers using a freezing mixture of ice and cooking salt. *Physics Education*, 50, 23-27.
- S. Zeze, A. Itoh, A. Oyama, H. Takahashi (2012). A sensitive cloud chamber without radioactive sources. *Physics Education*, 47, 574-578.

	Dalelės iš Saulės	Pirminė kosminė spinduliuotė	Antrinė kosminė spinduliuotė						
<b>Šaltinis</b>	Saulė	Kosmosas (supernovos ir kiti astrofizikiniai šaltiniai)	Sukuriamos pirminei kosminei spinduliuotei sąveikaujant su tarpžvaigždine medžiaga arba Žemės atmosfera						
<b>Sudėtis ir energija</b>	<table border="1"> <tr> <td><b>Saulės vėjas</b></td> <td>mažos energijos protonai (&lt;1 keV)</td> </tr> <tr> <td><b>Saulės žybsniai bei vainiko masės išmetimai</b></td> <td>didesnės energijos protonai (apie 10 MeV) 1-6 įvykiai per dieną</td> </tr> <tr> <td><b>Energingosios Saulės dalelės</b></td> <td>didelės energijos protonai (iki 1 GeV) vidutiniškai 1 įvykis per metus</td> </tr> </table>	<b>Saulės vėjas</b>	mažos energijos protonai (<1 keV)	<b>Saulės žybsniai bei vainiko masės išmetimai</b>	didesnės energijos protonai (apie 10 MeV) 1-6 įvykiai per dieną	<b>Energingosios Saulės dalelės</b>	didelės energijos protonai (iki 1 GeV) vidutiniškai 1 įvykis per metus	<p>Didelę energiją turinčios stabilios elektringos dalelės arba atomų branduoliai:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>79% protonai</li> <li>17% helio branduoliai</li> <li>3% sunkesni branduoliai</li> <li>1% elektronai</li> <li>&lt;1% pozitronai ir antiprotonai</li> </ul> <p>Energija tarp 100 MeV ir <math>10^{20}</math> eV</p> <p>Izotropiškumas – iš visų pusių atkeliaujančių dalelių kiekis vienodas</p>	<p>jūros lygyje:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• dažniausiai jūros lygyje aptinkamos elektringos dalelės, įprastai sukuriamos apie 15 km aukštyje</li> <li>• energijos nuostoliai atmosferoje: 2 GeV</li> <li>• vidutinė energija ties Žemės paviršiumi 4 GeV</li> <li>• intensyvumas maždaug <math>1 \text{ cm}^{-2}\text{min}^{-1}</math></li> <li>• antimiuonų aptinkama maždaug 1,3 karto daugiau, nei miuonų (pirminėje kosminėje spinduliuotėje daugiau protonų, nei neutronų)</li> </ul> <p><b>miuonai, antimiuonai (70%)</b></p> <p><b>Elektonai, pozitronai, fotonai (30%)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• iš skilimo procesų atmosferoje</li> <li>• pirminis mažos energijos elektronų šaltinis: miuonų skilimai</li> </ul>
<b>Saulės vėjas</b>	mažos energijos protonai (<1 keV)								
<b>Saulės žybsniai bei vainiko masės išmetimai</b>	didesnės energijos protonai (apie 10 MeV) 1-6 įvykiai per dieną								
<b>Energingosios Saulės dalelės</b>	didelės energijos protonai (iki 1 GeV) vidutiniškai 1 įvykis per metus								
<b>Įdomūs faktai</b>	Kaip sužinoti, ar dalelės, kurias matome Vilsono kameroje nėra vien tik iš Saulės? Pabandykite atlikti stebėjimus naktį (arba per Saulės užtemimą), kaip tai 1912 metais padarė Viktoras. F. Hesas	Dalelė – rekordininkė: visų laikų didžiausią energiją turinti aptikta dalelė (Juta, JAV, 1991 m.). Tai buvo protonas, kurio energija – net $3 \cdot 10^{20}$ eV – apie 20 mln. kartų didesnė, negu protonų Didžiajame hadronų geritintuve!	Didelės energijos miuonai gali prasiskverbti pro medžiagą šimtus metrų. 10 MeV energiją turintys miuonai gali prasiskverbti pro 6 km vandens. „Dušas“ iš milijonų dalelių gali susidaryti dėl vienos didelę energiją turinčios dalelės (>100 TeV)						
<b>Magnetosferos poveikis</b>	Žemesnės energijos kosminės spinduliuotės (<10 GeV) srautas priklauso nuo Saulės aktyvumo ir Žemės magnetinio lauko: jame dalelės pristabdomos ir dalis jų nebepatenka į žemės atmosferą. Elektrinį krūvį turinčios dalelės taip pat būna įkalinamos Van Aleno radiacijos žieduose (100 keV – 5 MeV elektronai – išoriniame žiede, 100 MeV – 1 GeV protonai – vidiniame žiede). Saulės vėjo sukelti pakitimai Žemės magnetosferoje sukuria gražų šalutinį reiškinį – pašvaistę.		Rytų – vakarų anizotropija: dėl žemės magnetinio lauko daugiau pirminių mažos energijos protonų atkeliauja iš vakarų, negu iš rytų. Tai taip pat galioja ir antrinei kosminei spinduliuotei.						
<b>Svarbu</b>	Didžiulis dalelių srautas, tačiau jų energijos ganėtinai mažos. Žemės magnetinis laukas ir atmosfera mus apsaugo nuo didžiosios dalies galimų padarinių, bet: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Už atmosferos ribų gali daryti neigiamą įtaką elektroninių prietaisų veikimui</li> <li>• Reikia atsižvelgti skraidinant žmones į kosmosą</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atmosferos chemija (jonizacija plonina ozono sluoksnį, kosminiai radioizotopai, tokie, kaip C-12)</li> <li>• Galima įtaka klimato kaitai (ją tiria CERN veikiantis CLOUD eksperimentas)</li> <li>• Radiacijos dozė turi būti įvertinta skraidinant žmones į kosmosą</li> <li>• Sąveikos su atmosfera metu sukuriamą antrinę kosminę spinduliuotę</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prisideda prie kasmetinės radiacijos dozės (apie 0,4 mSv)</li> <li>• Gali turėti įtakos evoliucijai (mutacijų dažniui)</li> <li>• Gali sutrikdyti elektroninių prietaisų veikimą (jūros lygyje).</li> <li>• Tirdami antrinę kosminę spinduliuotę stebime tik pirminės spinduliuotės liekanas. Jeigu norime sužinoti daugiau apie pirminę kosminę spinduliuotę, turime stebėjimus atlikti už Žemės atmosferos, pvz., su AMS detektoriumi, kuris yra pritaisytas prie TKS.</li> </ul>						