

ČERENKOVO SPINDULIUOTĖ IR ŽIEDINIS ČERENKOVO DETEKTORIUS

Šviesa vakuume sklinda greičiu c . Nėra dalelės, kuri judėtų didesniu greičiu už c . Tačiau galimas atvejis, kai dalelė skaidrioje terpėje juda greičiu v , didesniu už šviesos greitį toje pačioje terpėje $\frac{c}{n}$, čia n – terpės lūžio rodiklis. Eksperimentas (Čerenkovas, 1934 m.) ir teorija (Tamas ir Frankas, 1937 m.) parodė, kad elektringoji dalelė, judėdama greičiu v skaidrioje terpėje, turinčioje lūžio rodiklį n ,

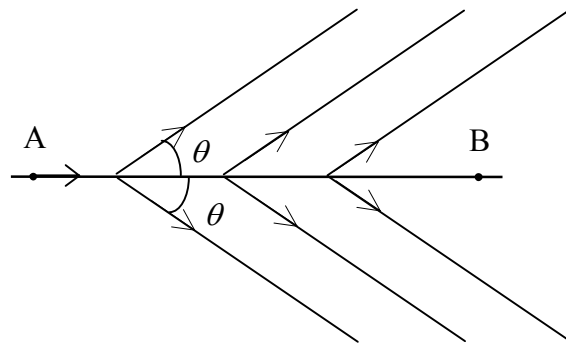
tai, kad $v > \frac{c}{n}$, spinduliuoja šviesą,

vadinamą Čerenkovo spinduliuote,

kryptimis, kurios su dalelės trajektorija sudaro kampą

$$\vartheta = \arccos \frac{1}{\beta n}, \quad (1)$$

čia $\beta = \frac{v}{c}$.



1. Norėdami įrodyti šį faktą, nagrinėkime judančią tiesia linija greičiu $v > \frac{c}{n}$ dalelę. Tašką A ji pasiekia laiko momentu 0, o tašką B – laiko momentu t_1 . Kadangi problema simetriška sukimosi ašies AB atžvilgiu, svarbu nagrinėti šviesos spindulius plokštumoje, kurioje yra atkarpa AB.

Kiekviename taške C tarp A ir B dalelė spinduliuoja sferines šviesos bangas, kurios terpėje sklinda greičiu $\frac{c}{n}$. Bangos frontą laiko momentu t mes apibrėžiame kaip šių sferų gaubiamąją tuo laiko momentu.

1.1. Nustatykite bangos frontą laiko momentu t_1 ir nubrėžkite jo susikirtimą su plokštuma, kurioje yra dalelės trajektorija.

1.2. Išreikškite kampą φ tarp šio susikirtimo ir dalelės trajektorijos per dydžius n ir β .

2. Nagrinėkime dalelių, judančių greičiu $v > \frac{c}{n}$ taip, kad kampas ϑ mažas, pluoštelį išilgai linijos IS. Pluoštelis kerta įgaubtąjį sferinį veidrodį, turintį židinio nuotolį f ir centrą C, taške S. SC su SI sudaro kampą α (žr. paveikslą atsakymų lape). Dalelių pluoštelis sukuria

Theoretical Problem No. 2

žiedinį atvaizdą veidrodžio židinio plokštumoje. Paaiškinkite šį faktą pasitelkę apytikrą brėžinį. Nurodykite centro O padėtį ir žiedinio atvaizdo spindulį r .

Ši schema yra naudojama žiediniuose Čerenkovo detektoriuose (ring Cherenkov counters – RICH), o terpė, kurioje juda dalelė, vadinama spinduliuojančiąja terpe.

Pastaba: visuose šio uždavinio klausimuose į narius, turinčius antro ar aukštesnio laipsnio mažus dydžius nustatant α ir β , nekreipiama dėmesio.

3. Dalelių su žinomu judesio kiekiu $p = 10.0 \text{ GeV}/c$ pluoštelį sudaro trijų rūšių dalelės: protonai, kaonai ir pionai, kurių rimties masės lygios atitinkamai $M_p = 0.94 \text{ GeV}/c^2$, $M_k = 0.50 \text{ GeV}/c^2$ ir $M_\pi = 0.14 \text{ GeV}/c^2$. Atminkite, kad pc ir Mc^2 turi energijos dimensiją, o 1 eV yra energija, kurią įgyja elektronas, pagreitintas 1 V potencialų skirtumo, o $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$, $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$.

Dalelių pluoštelis kerta terpę iš oro (spinduliuojančiąją terpę), kurio slėgis P . Oro lūžio rodiklis priklauso nuo oro slėgio P ir, jei jis matuojamas atmosferomis, nusakomas tokia išraiška:

$$n = 1 + aP, \text{ čia } a = 1 + 2.7 \times 10^{-4} \text{ atm}^{-1}.$$

3.1. Kiekvienam iš dalelių tipų apskaičiuokite minimalų oro slėgio dydį P_{\min} , kuriam emituojama Čerenkovo spinduliuotė.

3.2. Apskaičiuokite tokį slėgį $P_{\frac{1}{2}}$, kuriam kaonų atvaizdo spindulys lygus pusei

atitinkamo pionų spindulio. Apskaičiuokite šiems atvejams kampus θ_k ir θ_π .

Ar galima stebėti atvaizdo žiedą protonams šiam slėgiui?

4. Tarkime, kad dabar pluoštelis nėra visiškai monochromatinis: dalelių judesio kiekiai pasiskirstę intervale, kurio vidurys turi $10 \text{ GeV}/c$, o ties maksimumo pusaukščiu pasiskirstymo plotis, vadinamas puspločiu, Δp . To pasėkoje išplinta žiedinis vaizdas, susijęs su išplitimu pagal θ , turinčiu pusplotį $\Delta\theta$. Spinduliuotės šaltinio slėgis $P_{\frac{1}{2}}$ rastas trečiame punkte 3.2.

4.1. Apskaičiuokite $\frac{\Delta\theta_k}{\Delta p}$ ir $\frac{\Delta\theta_\pi}{\Delta p}$ pionams ir kaonams.

Theoretical Problem No. 2

4.2. Du žiediniai vaizdai gali būti atskirti vienas nuo kito, kai $\theta_\pi - \theta_\kappa$ yra 10 kartų didesnis, negu puspločių suma $\Delta\theta = \Delta\theta_\pi + \Delta\theta_\kappa$, t. y. $\theta_\pi - \theta_\kappa > 10\Delta\theta$. Apskaičiuokite maksimalią Δp vertę, kuriai esant du žiedus dar galima atskirti.

5. Čerenkovas atrado šį reiškinių, pavadintą jo vardu, stebėdamas vandens butelį, esantį šalia radioaktyvios spinduliuotės šaltinio. Jis pastebėjo, kad vanduo butelyje švyti.

5.1. Rasti minimalią kinetinę energiją T_{\min} dalelės, kurios ramybės masė M , sukeliančia vandens švitėjimą. Vandens lūžio rodiklis $n = 1.33$.

5.2. Branduoliai radioaktyvaus šaltinio, kurių naudojo Čerenkovas, spinduliuodavo arba α -daleles (helio branduoliai), kurių ramybės masė $M_\alpha = 3.8 \text{ GeV}/c^2$, arba β -daleles (elektronai), kurių ramybės masė $M_e = 0.51 \text{ MeV}/c^2$. Suskaičiuokite T_{\min} vertes α -dalelėms ir β -dalelėms.

Žinodami, kad kinetinė energija dalelių, išspinduliuotų radioaktyviu šaltiniu, neviršija kelių MeV, nustatykite, kokios dalelės sukėlė spinduliuotę, kurią stebėjo Čerenkovas.

6. Ankstesniuose klausimuose Čerenkovo spinduliuotės priklausomybė nuo bangos ilgio λ buvo ignoruojama. Atsižvelgsime į faktą, kad Čerenkovo spinduliuotė turi platų ištisinį spektrą, į kurio sudėtį įeina regimoji šviesa su bangos ilgiais nuo $0.4 \mu\text{m}$ iki $0.8 \mu\text{m}$. Žinoma, kad šioje srityje išaugant bangos ilgiui nuo mažiausio iki didžiausio lūžio rodiklis tiesiškai sumažėja dydžiu $0.02(n-1)$.

6.1. Nagrinėsime pluoštelį pionų, kurių judesio kiekis $10.0 \text{ GeV}/c$ judančių ore, kurio slėgis 6 atm . Raskite kampų skirtumą $\delta\theta$, žiedams, atitinkantiems du kraštinius bangų ilgius.

6.2. Tuo pagrindu išanalizuokite kokybiškai dispersijos įtaką pionų, kurie pasiskirstę intervale su centru $p = 10 \text{ GeV}/c$ ir turinčių pusplotį $\Delta p = 0.3 \text{ GeV}/c$, žiediniam atvaizdui.

6.2.1. Apskaičiuokite išplitimą, atsirandantį dėl dispersijos (lūžio rodiklio priklausomybės nuo bangos ilgio) ir pluoštelio nemonochromiškumo (dėl judesio kiekio nevienodumo).

6.2.2. Aprašykite, kaip keičiasi žiedo spalvas einant iš vidaus į išorę, pažymėdami tinkamus kvadratukus Atsakymų lape.