

Projekta numurs: 8.3.2.1/16/I/002

Nacionāla un starptautiska mēroga pasākumu īstenošana izglītojamo talantu attīstībai

Fizikas valsts 69. olimpiāde

Teorētiskā kārtā – 12. klase

12 – 1 Magnētiskie lauki

Eiropas kodolpētījumu centrā CERN ir uzbūvēts Lielais hadronu paātrinātājs (LHC) protonu un smago jonu paātrināšanai. Uzdevumā apskatīsim daļiņu paātrinātāja darbības principus.

Aprēķinos uzdevumā lietosim sekojošas lielumu vērtības:

- protona masa $m_p = 1.673 \cdot 10^{-27}$ kg
- protona lādiņš $q_p = 1.602 \cdot 10^{-19}$ C
- gaismas ātrums $c = 2.998 \cdot 10^8$ m/s

A Daļiņu paātrinātājs ir sadalīts vairākos posmos, kur katrā posmā daļiņām tiek piešķirts noteikts ātrums.

A1 Pirmajā posmā atrodas lineārais daļiņu paātrinātājs, kas paātrina lādētās daļiņas ar homogēnu elektrisko lauku. Lineārā paātrinātāja garums ir 100 m un elektriskā lauka intensitāte $E = 2 \cdot 10^5$ N/C. Līdz cik lielam ātrumam protoni tiek paātrināti lineārajā paātrinātājā, ja to sākuma ātrums ir 0? **[1 p]**

A2 Nākamajā posmā atrodas ciklotrons, kurā paātrinātie protoni ielido perpendikulāri magnētiskā lauka indukcijas līnijām. Protoni ciklotrona magnētiskā lauka ietekmē pārvietojas pa riņķveida trajektorijām. Magnētiskā lauka indukcija ir 0.14 T, protona ātrums $4 \cdot 10^7$ m/s. Relatīvistiskos efektus neņemam vērā. Cik liels ir protona trajektorijas liekuma rādiuss un aprīņošanas frekvence? **[2 p]**

B Kad daļiņu ātrums kļūst salīdzināms ar gaismas ātrumu, tad ir jāņem vērā relatīvistiskie efekti. Sakarības, kas apraksta relatīvistiskos efektus:

$$\text{ja } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \text{ tad relatīvistiskā enerģija } E = \gamma m_0 c^2 \text{ un relatīvistiskais impulss } p = \gamma m_0 v$$

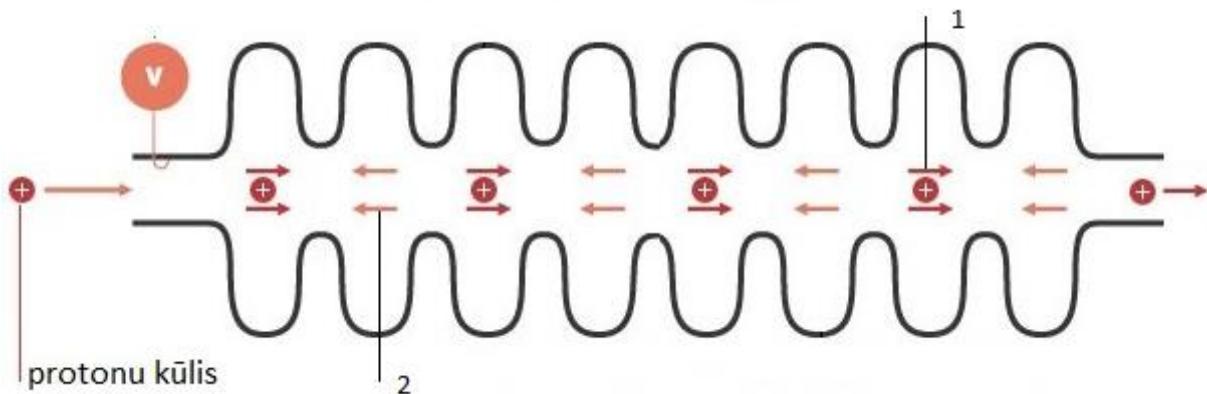
B1 Pie cik liela ātruma relatīvistiskie efekti sāk kļūt manāmi ($\gamma > 1.1$)? Cik liels ir iegūtais ātrums salīdzinājumā ar gaismas ātrumu? **[2 p]**

B2 Vienkāršo relatīvistisko enerģijas izteiksmi, ja protona ātrums $v \ll c$. Izskaidro iegūto rezultātu. Vienkāršojot izteiksmi, ņem vērā sakarību: $(1 + a)^n \approx 1 + na$, ja $a \ll 1$. **[2 p]**

C Daļiņu paātrinātāja beigu posms ir LHC (lielais hadronu paātrinātājs). Tas protonus paātrina līdz 99.999999% gaismas ātruma. Protoni ceļo divos kūļos divās magnētiskās sistēmās, vienā kūlī pulksteņa rādītāja virzienā, otrā kūlī pretēji pulksteņa rādītāja virzienam. Noteiktās vietās abi kūļi saduras.

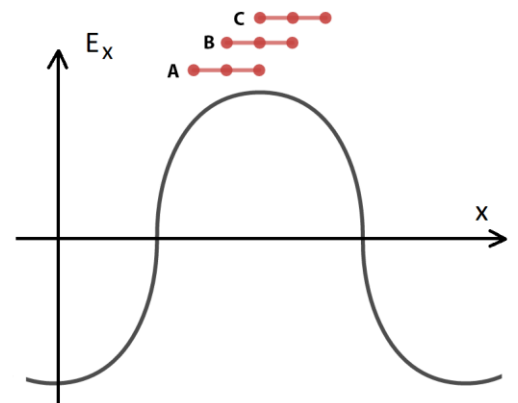
C1 Cik daudz protonu-protonu sadursmes notiek vienā sekundē, ja LHC rādiuss ir 4.3 km. Ir zināms, ka LHC jebkurā laika brīdī vienlaikus atrodas 1g ūdeņraža protonu un daļiņu lineārais blīvums $\lambda = \frac{N_A m}{2\pi R}$? [1 p]

C2 Lai paātrinātu protonus, kas ceļo ar lielu ātrumu tiek izmantots īpašas formas paātrinātājs, kas ir redzams attēlā. Tiek lietots mainīgs elektriskais lauks, kas “ceļo” kopā ar protonu paketēm.



Katrā laika momentā paātrinātāja posmos, kuros atrodas protonu paketes, elektriskais lauks ir vērsts kustības virzienā (1. pozīcija zīmējumā). Savukārt posmos, kur protonu nav, elektriskais lauks vērsts pretēji protonu kustības virzienam (2. pozīcija zīmējumā).

Kā panākt, lai protonu pakete neizklīst? Zīmējumā attēlots elektriskā lauka intensitātes atkarība no x koordinātes paātrinātāja fragmentā. Kura no attēlā redzamajām protonu paketēm A, B vai C – būs stabila (neizklīdīs ar laiku), ja tās kustās x ass virzienā? Kāpēc? Kas notiks ar pārējām protonu paketēm? [2 p]



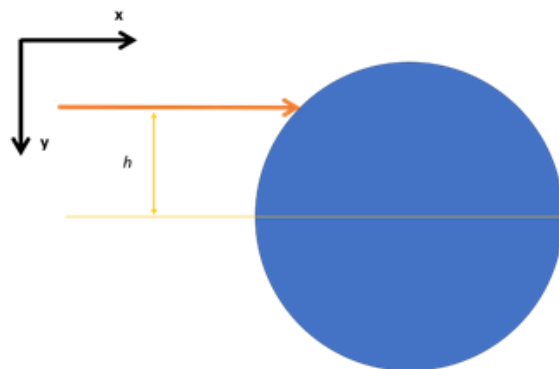
12 – 2 Optiskā pincete

2018. gadā Nobela prēmija fizikā tika piešķirta par t.s. optiskās pincetes izgudrošanu un tās pielietojumiem bioloģiskajās sistēmās.

Optiskā pincete ir ierīce, kas ļauj manipulēt (satvert, noturēt, izmērīt darbojošos spēkus, u.tml.) ar sīkām caurspīdīgām daļiņām, izmantojot intensīvu gaismas staru (lāzerstaru). Gadījumā, kad daļiņu izmērs ir daudz lielāks nekā gaismas viļņa garums, optiskās pincetes darbības principu iespējams aprakstīt, izmantojot ģeometrisku optiku un ņemot vērā, ka gaisma (fotoni) pārnes impulsu, kura lielums konkrētajā vidē atkarīgs tikai no fotonu enerģijas (viļņa garuma), un kura virziens sakrīt ar gaismas izplatīšanās virzienu.

Lai arī kopējo spēku, ar kādu gaisma iedarbojas uz daļiņu, nosaka daudzi efekti - gaismas izkliede, atstarošanās, absorbcija - ierīces darbības izpratnei svarīgākais ir izsekot daļiņas mijiedarbībai ar tajā laužtajiem gaismas stariem. Tādēļ šajā uzdevumā aplūkosim tikai tos, un augstāk uzskaitītos efektus neņemsim vērā.

A Gaismas stars krīt uz caurspīdīgu lodīti ar rādiusu R (sk. attēlu). Attālums starp stara sākotnējo izplatīšanās virzienu un lodītes centru ir h . Lodītes materiāla gaismas laušanas koeficients ir n reižu lielāks nekā apkārtējās vides gaismas laušanas koeficients.

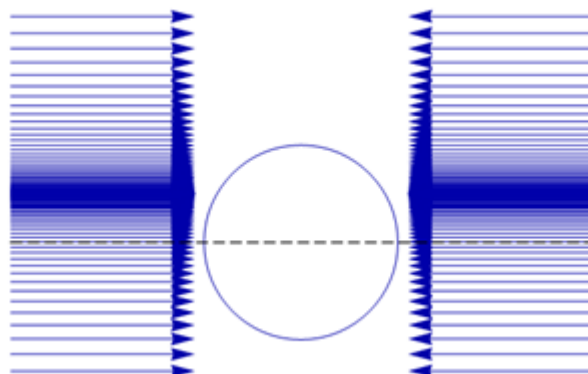


Izsakiet, ar ko vienāds leņķis ϕ , par kādu noliekies lodītei cauri izgājušais stars attiecībā pret stara sākotnējo izplatīšanās virzienu! [2 p]

B Izsakiet spēku (x un y projekcijas), kādu uz lodīti radīs krītošā stara laušana, ja stara sākotnējais laika vienībā pārnests impuls ir f ? [2 p]

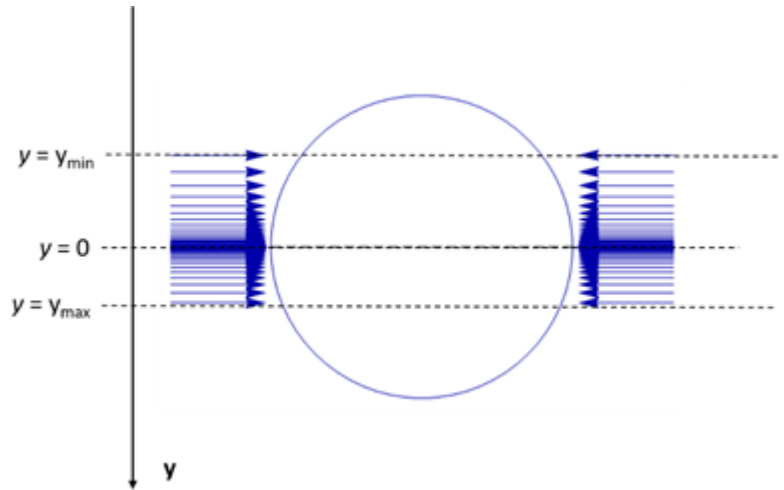
C Sākotnējos eksperimentos daļiņas kontrolēšanai tika izmantoti divi viens otram pretī vērsti gaismas kūļi. Tādēļ aplūkosim situāciju, kad uz lodīti no pretējām pusēm krīt divi vienādi paralēlu staru kūļi.

Gaismas intensitātes sadalījums radiālajā virzienā staru kūlī ir nehomogēns – gaismas intensitāte ir vislielākā kūļa centrā, un samazinās, no centra attālinoties. Lodīte ir nedaudz nobīdīta no kūļa centra (sk. attēlu). Kurā virzienā darbosies rezultējošas gaismas laušanas radītais spēks? [1 p]



D Kvantitatīvai analīzei aplūkosim šādu vienkāršotu modeli: pieņemsim, ka staru kūļi ir plakani un atrodas zīmējuma plaknē, turklāt kūļi iet caur lodītes centru.

Kūļa platumš $y_{max} - y_{min}$ ir daudz mazāks par lodītes rādiusu. Gaismas intensitāte (staru skaita lineārais blīvums jeb staru skaits uz garuma vienību $\Delta N/\Delta y$) staru kūlī mainās kā $c/|y|$, kur c ir kāda pozitīva konstante.

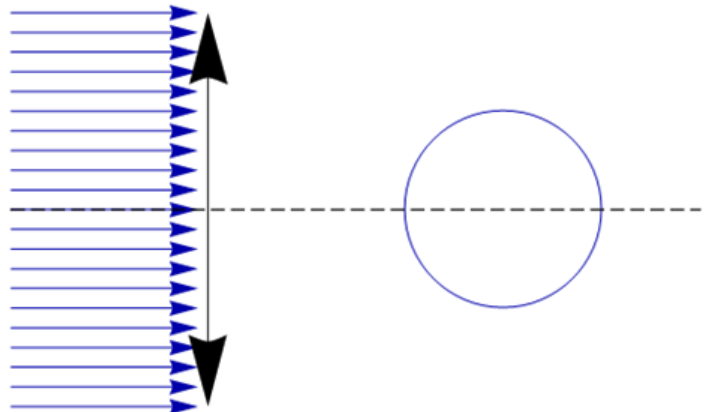


Gaismas intensitāte ārpus kūļa (t.i., pie $y > y_{max}$ un $y < y_{min}$) vienāda ar 0. Lodītes centra koordināte atbilst $y = 0$ punktam (t.i., atrodas pretī vislielākajai gaismas intensitātei), taču gaismas kūļi ir nesimetriski: $|y_{max}| < |y_{min}|$.

Atrodiet rezultējošo spēku, kādu uz lodīti rada šādu gaismas kūļu laušana. Var pieņemt, ka maziem leņķiem α izpildās sakarība $\sin \alpha = \alpha$. [2 p]

E Manipulēšana ar lodīti, izmantojot divus gaismas starus, ir tehniski sarežģīta. Tādēļ mūsdienu optiskajās pincetēs tiek izmantota modifīcēta shēma ar vienu staru un spēcīgu optisko lēcu. Tādēļ aplūkosim situāciju, kur pirms lodītes tiek novietota spēcīga savācējlēca.

Uz lēcu krīt staru kūlis, kas paralēls lēcas optiskajai asij un kur gaismas intensitāte ir sadalīta vienmērīgi. Lodīte atrodas uz lēcas optiskās ass, un nedaudz pirms lēcas fokusa (t.i., starp lēcu un tās fokusu, sk. attēlu).



Kādā virzienā būs vērsts rezultējošais lodītē laužto staru radītais spēks? [2 p]

F Kādā virzienā būs vērsts rezultējošais lodītē laužto staru radītais spēks iepriekšējā uzdevuma punktā aprakstītajā situācijā, ja lodīte tiks novietota nedaudz aiz lēcas fokusa? [1 p]

12 – 3 Mērvienības

Starptautiskās mērvienību sistēma SI kā pamatmērvienības izmanto metru, sekundi, kilogramu, ampēru, kelvinu, kandelu un molu, kas ir izvēlēti pēc zinātnieku vienošanās. Visas citas mērvienības ir pamatmērvienību atvasinātas mērvienības.

Piemēram, kulons ir atvasinātā SI mērvienība, kuru izsaka izmantojot definīciju: kulons ir tāds elektriskais lādiņš, kas izplūst caur vadītāja šķērs griezumu vienā sekundē, ja strāvas stiprums vadītājā ir viens ampērs, un izmantojot pamatvienības ir pierakstāms šādi.

$$1 [C] = 1 [A] \cdot 1 [s]$$

Lux ir vienāds ar sfēras virsmas apgaismojumu, kura rādiuss ir 1 m un ko rada punkta centrā esošais gaismas avots, kura intensitāte ir 1 cd, tāpēc izmantojot pamatvienības ir pierakstāms šādi:

$$1 [lx] = \frac{1 [cd]}{1 [m^2]}$$

Līdzīgi iegūst citas nepieciešamās mērvienības. Svarīgi ir atcerēties, ka fizikas pamatvienādojumos esošo fundamentālo konstanšu G , ϵ_0 , μ_0 , k , ... skaitliskās vērtības nosaka vēsturiski izdarītā SI pamatmērvienību, precīzāk, etalonu, izvēle.

Kontaktiem ar citplanētiešiem zinātnieki piedāvā izmantot tādas mērvienības, kuras nebūtu saistītas ar Zemes civilizācijas vēsturi, bet gan universālas visā Visumā. Ātrumu vajadzētu mērīt gaismas ātruma vienībās, savukārt, vispasaules gravitācijas likumā fundamentālajām dabas konstantēm nevajadzētu būt. Šādā mērvienību sistēma – garuma, laika un masas vienības l_p , t_p un m_p būs atvasinātās mērvienības un to skaitliskās vērtības SI vienībās var noteikt kombinējot gaismas ātrumu $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s, gravitācijas konstanti $G \approx 6,67 \cdot 10^{-11}$ N·m²/kg² un Planka konstanti $\hbar \approx 1,05 \cdot 10^{-34}$ J·s (reducētā Planka konstante, kas saistīta ar Planka konstanti sekojoši: $\hbar = \frac{h}{2\pi}$). Šīs vienības l_p , t_p un m_p sauc par Planka vienībām.

Piemēram, ja jāizsaka ātrums ar Planka vienībām, tad $v = \frac{l}{t}$ jeb viena garuma un viena laika vienība dod vienu ātruma vienību: $c = \frac{l_p}{t_p}$

A Pieraksti [N] un [J] mērvienības ar SI sistēmas masas [kg], garuma [m] un laika [s] pamatmērvienībām. [2 p].

B Izsaki reducētās Planka konstantes \hbar un gravitācijas konstantes G mērvienības tikai ar masas [kg], garuma [m] un laika [s] mērvienībām. [2 p]

C Izsaki Planka vienības garumam l_p , laikam t_p un masai m_p , izmantojot fundamentālās konstantes c , G un \hbar . [3 p]

D Izrēķini Planka vienību l_p , t_p un m_p skaitliskās vērtības [m], [s] un [kg] mērvienībās. [3 p]