



I E G U L D Ī J U M S T A V Ā N Ā K O T N Ē

Projekta numurs: 8.3.2.1/16/I/002

## Nacionāla un starptautiska mēroga pasākumu īstenošana izglītojamo talantu attīstībai

### Fizikas valsts 67. olimpiāde Trešā posma uzdevumi 11. klasei

*Jums tiek piedāvāti trīs uzdevumi. Par katru uzdevumu maksimāli iespējams iegūt 10 punktus. Katra uzdevuma risinājumu vēlams veikt uz atsevišķas rūtiņu lapaspuses. Neaizmirstiet uzrakstīt risināmā uzdevuma soļa numuru. Baltais papīrs paredzēts melnrakstam - to žūrijas komisija neskatīsies. Laiks - 180 minūtes*

#### 1. uzdevums

#### GAISA BALONI

Ar karsto gaisu pildītais gaisa balons bija pirmais lidaparāts, kas pacēla cilvēku virs zemes: pirmie brāļu Mongolfjē eksperimenti un lidojumi notika 1783. gadā, un pirmais lidojums ilga 10 minūtes. Kopš tā laika interese par šiem lidaparātiem nav gājusi mazumā, un 2017. gada februārī tika uzstādīts jauns pasaules rekords, kad krievu ceļotājiem ar šādu lidaparātu izdevās noturēties gaisā vairāk par 50 stundām. Šajā uzdevumā aplūkosim ar šo rekordu saistītās likumsakarības.

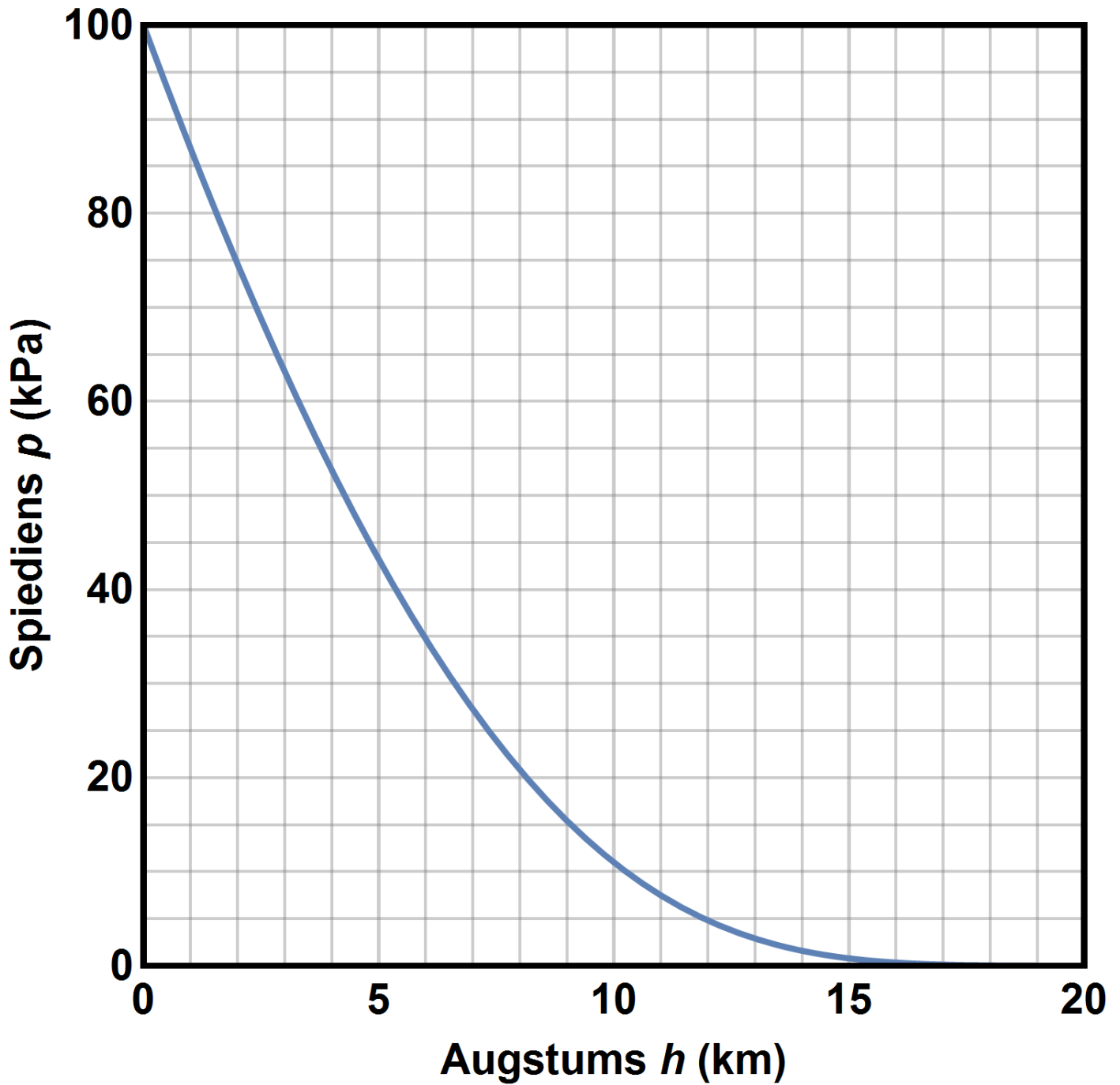
Modernajos gaisa balonos gaiss tiek sakarsēts, sadedzinot propānu. Tipiska gaisa balona tilpums  $V = 2800 \text{ m}^3$ , tā apvalks ir veidots no neilona, un apvalka masa  $m_a$  ir 110 kg. Maksimālā pieļaujamā temperatūra gaisa balona iekšpusē  $T_{\max}$  ir  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  (to nosaka neilona īpašības). Gaisa molmasa  $M_g$  ir  $29.0 \text{ g/mol}$ , brīvās krišanas paātrinājums  $g$  ir  $9.81 \text{ m/s}^2$ , universālā gāzu konstante  $R = 8.31 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ . Atmosfēras spiediens pie Zemes virsmas  $p_0$  ir  $100 \text{ kPa}$ . Absolūtās nulles temperatūra ir  $-273 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- A** Cik liela ir balona groza maksimālā kopējā masa  $m_1$  (t.i, groza, kravas, pasažieru, propāna balonu un gāzes degļa kopējā masa), lai šāds balons vēl atrautos no zemes vasaras dienā, kad apkārtējā gaisa temperatūra ir  $T_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ ? [2 punkti]
- B** Cik reižu lielāku masu šādā gadījumā varēs pacelt tāda paša tilpuma ūdeņraža balons? Pieņemt, ka balona apvalka masa un apkārtējās vides temperatūra ir tādas pašas kā uzdevuma **A** punktā. Atšķirībā no karstā gaisa balona, ar ūdeņradi pildītais balons netiek sildīts. Balona apvalks nerada papildu spiedienu uz gāzi. [1 punkti]
- C** Cik reižu lielāku masu **karstā gaisa balons** varēs pacelt ziemā nekā tāds pats balons vasaras dienā, ja ziemā apkārtējā gaisa temperatūra ir  $T_2 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$ ? [1 punkts]
- D** Balona groza kopējā masa (kravas, gāzes degļa, propāna balonu un pasažieru kopējā masa) ir  $m = 400 \text{ kg}$ . Līdz kādai temperatūrai vajag sasildīt gaisu balonā, lai paceltu šādu kravu ziemas dienā ( $T_2 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) un vasaras dienā ( $T_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ )? Cik reižu ilgāks ir maksimālais lidojuma laiks ar šādu gaisa balonu ziemas dienā ( $T_2 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) nekā vasaras dienā ( $T_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ ), ja līdzīgi paņemtais propāna daudzums ir viens un tas pats abos gadījumos? Balona laika vienībā atdotais siltuma daudzums ir proporcionāls balona virsmas laukumam un temperatūru starpībai starp balonu un apkārtējo gaisu. Propāna gāzes balonu masas izmaiņu propāna sadedzināšanas dēļ neņemt vērā. [3 punkti]

- E Balona groza, kravas un pasažieru kopējā masa ir  $m = 400$  kg. Cik liels ir maksimālais šāda balona pacelšanās augstums, ja temperatūra zemes virsmas tuvumā ir  $T_2 = -20^\circ\text{C}$ , un, attālinoties par katru km no zemes virsmas, tā samazinās vēl par  $9.8^\circ\text{C}$ . Atmosfēras spiediens atkarīgs no augstuma  $h$  kā

$$p(h) = p_0 e^{-\frac{gM_g h}{RT}}$$

Šī sakarība ir attēlota grafikā (skat. 1.1. attēlu). Uzdevumu vislabāk ir risināt grafiski. **Zīmējumus ieteicams veikt dotajā grafikā.** [3 punkti]



1.1. attēls

## 2. uzdevums

### NELINEĀRIE ELEMENTI

Elektriskās komponentes var iedalīt lineārajos un nelineārajos elementos. Lineārie elementi ir tādi elementi, kuriem sakarība starp spriegumu uz šī elementa un strāvu caur doto elementu ir taisne  $U \propto I$  jeb  $U = IR$ , kur proporcionalitātes koeficients  $R$  ir elektriskā pretestība. Var būt arī citas lineāras sakarības ne tieši starp spriegumu un strāvu, bet spriegumu un lādiņu uz kondensatora vai arī starp magnētisko plūsmu un strāvu spoļē ar noteiktu induktivitāti.

Šajā uzdevumā aplūkosim sakarības starp spriegumu un strāvu. Nelineārajiem elementiem sakarība starp spriegumu un strāvu nav taisne, un viens no šādiem piemēriem ir pusvadītāju diode, kam šī sakarība ir eksponenciāla. Apskatīsim uzdevumā pusvadītāju diodi, kas sastāv no **P-N pārejas**. To raksturo **potenciāla barjera**, kas skaitliski vienāda ar enerģiju, kas būtu jāpiešķir 1 elektronam, lai tas varētu pārvarēt šo elementu un turpināt kustību. Virziens, kurā diode ļauj plūst strāvai cauri, tiek saukts par **caurlaides virzienu**.

Konstantes un noderīgie lielumi:

Elektriskā konstante  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  F/m

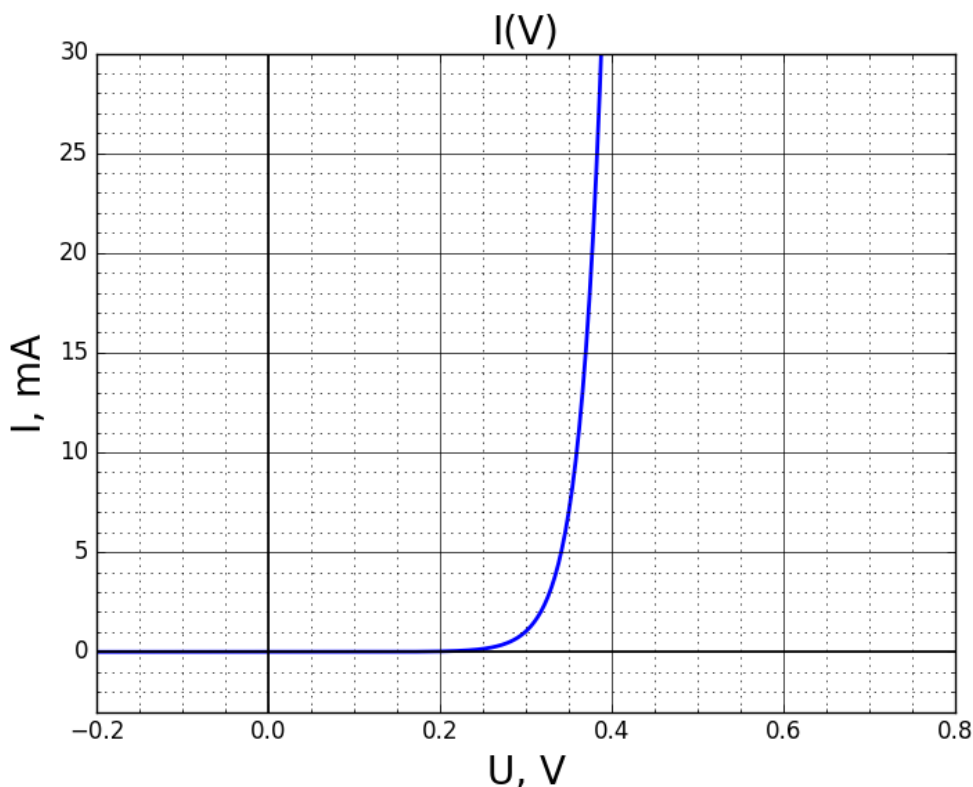
Vara molmasa  $M_{Cu} = 63,5$  g/mol

Vara blīvums  $\rho_{Cu} = 8,96$  g/cm<sup>3</sup>

Silīcija molmasa  $M_{Si} = 28,1$  g/mol

Silīcija blīvums  $\rho_{Si} = 2,33$  g/cm<sup>3</sup>

**A** Dota voltampēru raksturlīkne noteiktai diodei (skat. 2.1. attēlu).



2.1. attēls. Voltampēru raksturlīkne noteiktai diodei

- A1** Aplūkojot voltampēru raksturlīkni pusvadītāju diodei 2.1. attēlā, noteikt, pie cik liela sprieguma sāks plūst strāva diodē, ja spriegums tiek pielikts caurlaides virzienā. [0,5 punkti]
- A2** Noteikt potenciāla barjeras vērtību caurlaides virzienā pusvadītāju diodē. Atbildi norādīt elektronvoltos. [1 punkts]

## B

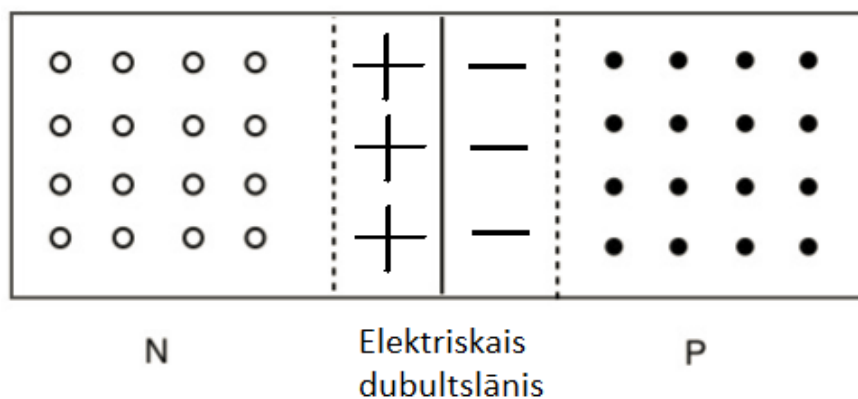
Parasti pusvadītāji atšķiras no metāliem ar vairākām īpašībām. Galvenā ir tā, ka brīvo lādiņnesēju koncentrācija istabas temperatūrā ir samērā maza, jo elektroni pārsvarā ir saistīti ar molekulām kristālrežģī (elektroni atrodas **valences zonā**), kas ir pretēji metāliem, kuru valences elektroni ir arī brīvie elektroni kristālrežģī. Jāizceļ arī īpašība, ka, pusvadītājos, pieaugot temperatūrai, palielinās vadītspēja, kas ir pretēji metāliem. Tā rezultātā, lai palielinātu vadītspēju, palielina brīvo lādiņnesēju koncentrāciju pusvadītājā, pievienojot piejaukuma atomus ar citu valences elektronu skaitu. Par **P-tipa** pusvadītāju sauc tādu materiālu, kurā piejaukumatomi ir ar lielāku valences elektronu skaitu nekā pamata pusvadītāja materiālam. Jo tad šie papildu elektroni vairs nav saistīti saitēs starp atomiem un kļūst par brīvajiem lādiņnesējiem. Savukārt par **P-tipa** pusvadītāju sauc tādu materiālu, kam piejaukuma atomiem ir mazāks valences elektronu skaits nekā pamata pusvadītāja materiālam, jo tad pietrūkst elektronu, lai visas saites varētu aizpildīt. To vietās paliek "**caurumi**", kas arī ir lādiņnesēji.

B1 Noteikt brīvo lādiņnesēju koncentrāciju varā, ja zināms, ka tam ir viens valences elektrons. [1 punkts]

B2 Noteikt brīvo lādiņnesēju koncentrāciju P-tipa pusvadītājā, ja silīcijam pievieno boru kā piejaukuma atomus koncentrācijā  $n_p = 1 \cdot 10^{22} \text{ 1/m}^3$ , pieņemot, ka tīram silīcijam brīvo lādiņnesēju koncentrācija ir ievērojami mazāka nekā piejaukumatomu koncentrācija. [0,5 punkti]

## C

Kad savieno P un N tipa pusvadītājus (vienam brīvie lādiņnesēji ir caurumi, bet otram - elektroni), tad savienojuma vietā elektroni ar caurumiem **rekombinējas** (brīvie elektroni aizpilda caurumu vietas saitēs starp atomiem), radot nekompensēto lādiņu un veidojot **elektrisko dubultslāni** savienojuma vietā. P tipa pusvadītāja pusē rodas negatīvi lādēts apgabals, bet N tipa pusē paliek pozitīvi lādēts apgabals, skatīt 2.2. attēlā.



2.2. attēls. Elektriskais dubultslānis uz p-n pārejas

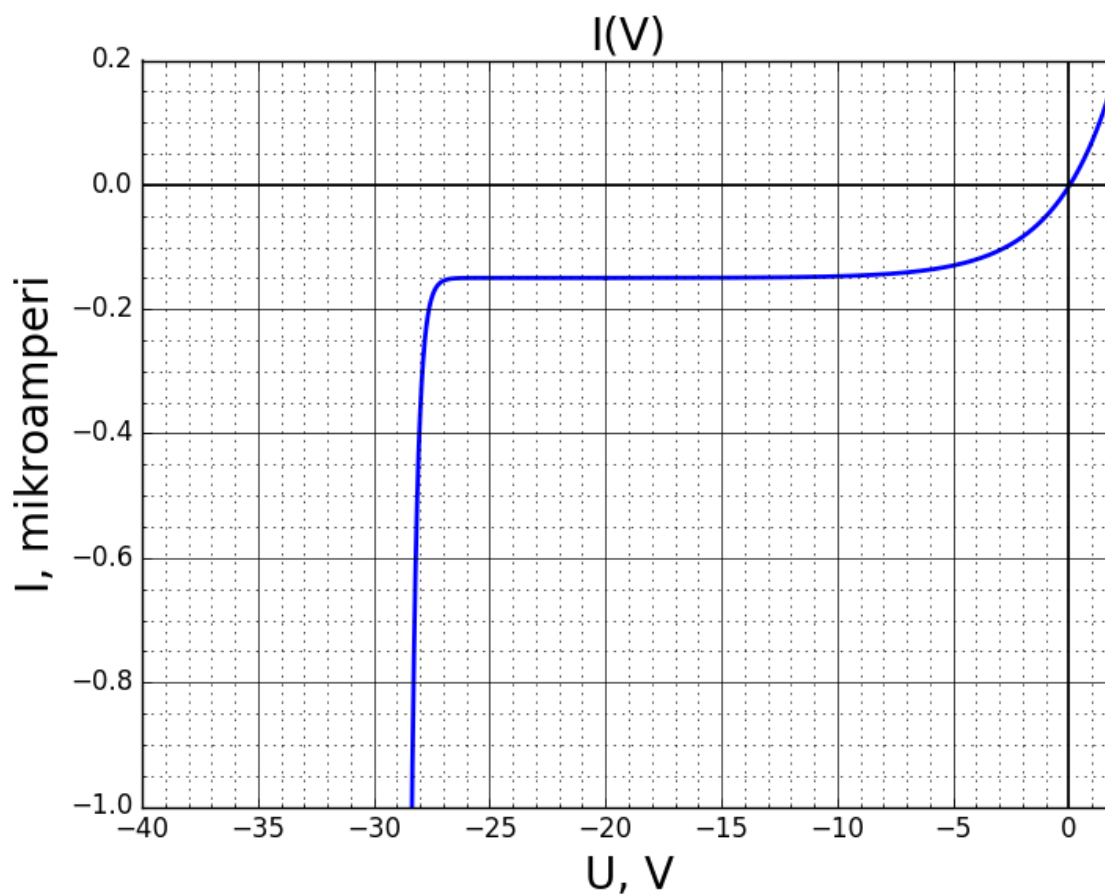
C1 Novērtēt šī dubultslāņa biezumu, izmantojot iepriekšējos punktos iegūtās vērtības, ņemot vērā, ka P un N tipa pusvadītājos piejaukuma atomu koncentrācija ir vienāda, pieņemot, ka relatīvā dielektriskā caurlaidība  $\epsilon = 10$ . [2 punkti]

C2 Tagad diode tiek pievienota ķēdē tā, ka elektriskais lauks ir pielikts caurlaides virzienā. Spriegums tiek pakāpeniski palielināts līdz  $U = 0,15 \text{ V}$ . Noteikt jauno elektriskā dubultslāņa biezumu un potenciāla barjeru. [1 punkts]

C3 Tas pats spriegums tiek pielikts diodei pretējā virzienā (srotovirzienā). Cik liels ir dubultslāņa biezums un potenciāla barjera? Ko no tā var secināt? [1 punkts]

C4 Tā kā elektriskā dubultslāņa katra puse sastāv no nekompensētiem lādiņiem, to var uzskatīt par sava veida kondensatoru, jo lādiņi ir atdalīti viens no otra gluži kā kondensatorā. Pieņemot, ka nav pielikts nekāds spriegums, novērtēt šīs pusvadītāju diodes elektrisko kapacitāti, ja šķērsriezuma laukums elektriskajam dubultslānim ir  $S = 1 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$ . [2 punkti]

- C5 Apskatot grafiku 2.3. attēlā, noteikt **sproststrāvas stiprumu** jeb strāvas stiprumu, kas plūst pusvadītāju diodē, ja spriegums ir pielikts pretēji caurlaides virzienam (sprostvirzienā), brīdī kad diodei pieliktais spriegums vēl nav sasniedzis kritisko robežu, aiz kuras strāva strauji pieaug.  
[1 punkts]



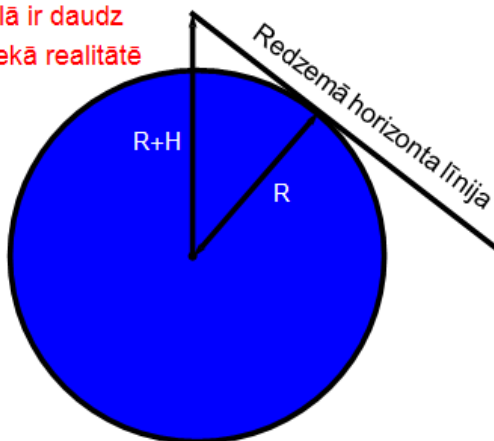
2.3. attēls. Voltampēru raksturlīkne noteiktai diodei sprostvirzienā

### 3. uzdevums

## MĒNESS NOVĒROJUMI

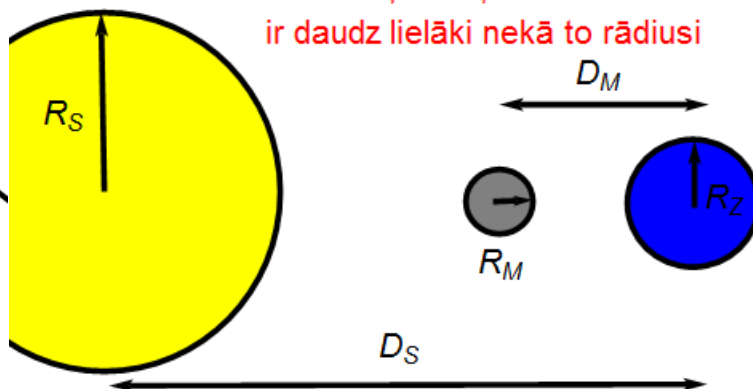
Jau senajā Grieķijā astronomiem bija diezgan skaidrs priekšstats par Zemes, Mēness un Saules savstarpējo kustību un attālumiem starp šiem ķermeņiem. Viņi šo informāciju ieguva no vairākiem labi pārdomātiem eksperimentiem un novērojumiem. Lai gan viņu mērījumi bija ļoti neprecīzi un atšķirās pat vairākas reizes no mūsdienās pieņemtajām vērtībām, idejas to pamatā ir pareizas. Šajā uzdevumā apskatīsim, kā pat ar ļoti ierobežotiem resursiem iespējams veikt detalizētus secinājumus par pasauli.

Atcerieties, ka  $H$  šajā attēlā ir daudz lielāks nekā realitātē



3.1. attēls. Zeme un novērotāja, kas atrodas uz Zemes, horizonta līnija.

Atcerieties, ka attālumi starp debess ķermeņiem realitātē ir daudz lielāki nekā to rādiusi



3.2. attēls. Astronomiskie objekti un uzdevumā apskatāmo lielumu apzīmējumi.



3.3. attēls. Mēness aptumsums.

- A Mēness aptumsums notiek, kad Zeme atrodas starp Sauli un Mēnesi. Aptumsuma laikā, Mēnesim esot Zemes ēnā, tas paliek sarkanā krāsā. Pitagors novēroja, ka aptumsuma laikā, neatkarīgi no Mēness pozīcijas debesīs, ēna vienmēr ir apaļa (skatīt attēlu 3.3). Izskaidrojiet, kā no šī novērojuma iespējams secināt, ka Zeme ir sfēriska. Kādas ēnas jūs sagaidītu, ja Zeme būtu plakans disks?  
[1 punkts]

No šī brīža uzdevumā pieņemsim, ka visi trīs uzdevumā aprakstītie debess ķermeņi ir sfēriski.

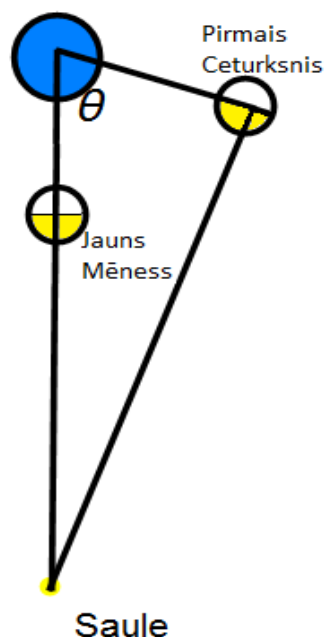
- B** Erastotens, kura garums aptuveni  $h = 2$  m, stāv ezera malā. Otrā ezera pusē viņš pie ļoti īsa koka stabiņa piestiprina košu drānu. Viņš secina, ka drāniņu var saskatīt tikai ja stāv pilnībā izslēdies, bet, pat nedaudz pietupjoties, tā pazūd no skata. Ja ezera garums ir  $L = 5$  km, novērtējiet Zemes rādiusu  $R_Z$ . (Reālais eksperiments, ko veica Erastotens, bija citādāks, bet idejiski līdzīgs). [2 punkti]
- C** Saules aptumsums notiek, kad Mēness atrodas starp Sauli un Zemi. Pilnā aptumsuma laikā tas pilnībā aizsedz Saules kontūru, bet pilnā aizsegšana vienmēr ir ļoti īsa (dažas minūtes). Saskaņā ar šiem novērojumiem - kāda sakarība eksistē starp lielumiem  $D_M$ ,  $R_M$ ,  $D_S$  un  $R_S$ ? [1 punkts]

Tālāk uzdevumā pieņemsim, ka Mēness vienmērīgi riņķo pa apaļu orbītu apkārt Zemei.

- D** Ilgākie Mēness aptumsumi ilgst aptuveni  $T_a = 4$  h (laiks no brīža, kad Mēness pirmais punkts ieiet Zemes ēnā līdz brīdim, kad šis pats punkts no tās iziet). Pieņemot, ka no Saules nākošie stari ir paralēli, aprēķiniet attālumu līdz Mēnesim  $D_M$ , ja tā orbītas periods ir  $T_M = 28$  diennaktis. Izsakiet savu atbildi izmantojot  $R_Z$ . [2 punkti]
- E** Mēness riets ilgst aptuveni  $T_R = 2$  min (tas ir laiks kopš brīža, kad Mēness zemākais punkts pieskaras horizontam, līdz brīdim, kad tas ir pilnībā norietējis). Starpība starp diviem Mēness rietiem ir aptuveni  $T_D = 25$  h. Pieņemot, ka Mēness riets notiek gandrīz perpendikulāri horizontam, novērtējiet Mēness rādiusu  $R_M$ . Izsakiet savu atbildi izmantojot  $D_M$ . [1 punkts]

Atrast attālumu līdz Saulei ir grūtāk, bet jau antīkajā pasaulē eksistēja veidi, kā to novērtēt. Aristarhs no Samas bija pirmais cilvēks, kurš secināja, ka Saule ir daudz lielāka nekā Zeme. Tas liecināja, ka, iespējams, Saule ir visuma centrā un noveda viņu pie pirmā heliocentriskā modeļa. Nākamajā jautājumā apskatīsim Aristarha novērojumu.

- F** Aristarha secinājums ir balstīts uz Mēness fāžu novērojumiem. Jauns Mēness ir fāze, kurā nav redzama Saules apgaismotā Mēness puse; Pirmais Ceturksnis ir fāze, kurā tieši Mēness labās kontūras pusaplis ir izgaismots. Tā kā mēs cenšamies atrast attālumu līdz Saulei, vairs nav iespējams pieņemt, ka tā ir bezgalīgi tālu un stari no tās ir paralēli. Šī efekta dēļ, Pirmais Ceturksnis notiek apmēram  $T_{PC} = 0.5$  h pirms sagaidāmā brīža (gadījumā, kad Saule būtu bezgalīgi tālu). Atcerieties, ka pilns periods ilgst  $T_M = 28$  diennaktis. Atrodiet leņķi  $\theta$ , kurš definēts attēlā 3.4. un izsakiet attālumu līdz Saulei  $D_S$  izmantojot  $D_M$ . Diemžēl šie mērījumi ir tik grūti veicami, ka Aristarhs kļūdījās aptuveni 20 reizes, bet neatkarīgi no tā, viņa novērojumiem un secinājumiem ir liela vēsturiska vērtība. [3 punkti]



3.4. attēls. Mēness fāzes un leņķis  $\theta$