

**1. BĒGŠANA (8 punkti)** — *Päivo Simson.*

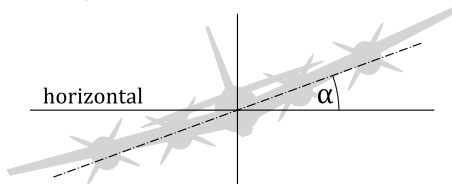
Kodolieroču izmēģinājuma laikā no lidmašīnas, kas atrodas augstumā  $H = 9$  km, tiek nomesta bumba, kas ir iestatīta uz detonāciju augstumā  $h = 500$  m virs zemes. Gaisa pretestība, kas iedarbojas uz bumbu kritiena laikā, ir niecīga. Uzreiz pēc bumbas izlaišanas lidmašīna sāk bēgt no sprādziena. Apkopes locekļus no radiācijas uzliesmojuma pargā aizsargslānis, taču lidmašīna ir neaizsargāta pret triecienvini, un tai ir jāatrodas pēc iespējas tālāk no detonācijas vietas.

**i)** (1 punkts) Maksimālais lidmašīnas ātrums taisnā horizontālā lidojumā (konstantā augstumā) ir  $v_0$ . Kāds ir maksimālais pikēšana leņķis (leņķis starp lidmašīnu un horizontu tai straujji samazinot augstumu), lai ātrums nepārsniegtu skaņas ātrumu  $c$ ? Lidmašīnas masa ir  $m$ , gaisa pretestības spēks  $F_d = kv^2$  un gravitācijas paātrinājums  $g$ .

Vienkāršības labad pieņemsim, ka no šī brīža lidmašīna paliek nemainīgā augstumā, lido ar nemainīgu ātrumu  $v = 190$  m/s un visus gaisa manevrus ierobežo maksimāli pieļaujama celējspēka-svara attiecība  $n = 2,5$ . Brīvās krišanas paātrinājums  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup>.

**ii)** (1 punkts) Cik daudz laika ir no bumbas atlaišanas līdz brīdim, kad redzams bumbas sprādziens?

**iii)** (1 punkts) Kāds ir mazākais iespējamais lidmašīnas trajektorijas liekuma rādiuss  $R$  un atbilstošais lidmašīnas sānsveres leņķis  $\alpha$  (sk. attēlu)?



**iv)** (3 punkti) Iesaki trajektoriju ātrākai bēgšanai! Aprēķini visus parametrus, kas nosaka trajektorijas formu un tās pozīciju attiecībā pret detonācijas punktu.

**v)** (2 punkti) Pamatojoties uz ieteikto trajektoriju, cik tālu atrodas lidmašīna no detonācijas punkta, kad to sasniedz triecienvilnis? Ir novērtēts, ka drošā distance ir 25 km. Vai lidmašīna spēj izbēgt no sprādziena? Pie-

ņemsim, ka triecienvilņa vidējais kustības ātrums ir  $u = 350$  m/s. Šai daļai, ja nepieciešams, varat izmantot pamatotus tuvinājumus, lai vienkāršotu algebru.

**2. GĀZE (6 punkti)** — *Jaan Kalda.*

Kaste ar tilpumu  $V$  satur  $\nu$  molus vienatoma gāzes ar molmasu  $\mu$  neievērojami zemā temperatūrā. Kaste pērvietojas ar ātrumu  $v$  (daudz lielāku par termisko ātrumu) un tad apstājas.

**i)** (2 punkti) Atrodi temperatūru kastes iekšpusē pēc līdzsvara iestāšanās.

**ii)** (2 punkti) Atrod spiedienu uz kastes priekšējo sienu, kas bija priekšā kustības laikā, tūlīt pēc kastes apstāšanās.

**iii)** (2 punkti) Apskatīsim sfērisku gāzes lodi (hēlijs,  $\mu = 4$  g/mol ar rādiusu  $r = 1$  cm, temperatūrā  $T = 300$  K, ko ieskauj vakuums. Vidējais molekulu brīvā ceļa garums ir daudz lielāks par  $r$ . Noteiktā brīdī lodes sienīņas pazūd un pēc  $\tau = 5$  ms daļa gāzes ir iesprotota, momentāni uzceļot sienas un izveidojot kubisku trauku ar tilpumu  $V = 1$  m<sup>3</sup>. Atrodiet gāzes temperatūru kuba  $T'$  iekšpusē pēc līdzsvara iestāšanās; neņemiet vērā kubiskā trauka sienu siltumietilpību.

**3. RAĶETE (5 punkti)** — *Jaan Kalda.*

Fotonu raķeti paātrina no zemes sūtīts lāzera stars: raķetes spogulis atstaro fotonus tieši pretējā virzienā. Raķetes miera masa  $M_0$  brauciena laikā nemainās. Lāzera izstaroto (un vēlāk raķetes atstaroto) fotonu kopējā enerģija ir  $\alpha M_0 c^2$ . Lāzera jauda laika gaitā ir nemainīga.

**i)** (1 punkts) Kādu ātrumu  $v$  sasniedz raķete, ja  $\alpha = 1 \times 10^{-6}$ ?

**ii)** (2 punkti) Kādu ātrumu  $v$  sasniedz raķete, ja  $\alpha = 1$ ?

**iii)** (2 punkti) Cik reizes atšķiras raķetes paātrinājums, ko uztver pasažieri (t.i., inerces spēks, kas iedarbojas uz pasažieriem) lidojuma sākumā un beigās, ja  $\alpha = 1$ ? Izsakiet atbildi ar raķetes beigu ātrumu  $v$ .

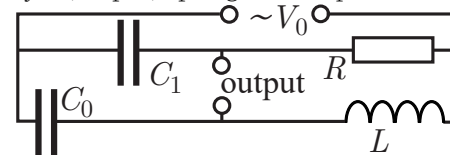
**4. MAIŅSTRĀVAS FILTRS (5 punkti)** — *Jaan Kalda.*

Zemāk parādītā ķēde pievienota maiņspriegumam ar amplitūdu  $V_0$  un ciklisko frekvenci  $\omega_0$ .

**i)** (2 punkti) Kurai cikliskās frekvences  $\omega_0$  vē-

tībai izejas (output) spriegums kļūs bezgalīgs?

**ii)** (3 punkti) Tagad ļaujiet cikliskajai frekvencei  $\omega$  būt divreiz lielākai par iepriekšējā uzdevumā atrasto vērtību,  $\omega = 2\omega_0$ . Kondensatora kapacitāte  $C_1$  ir izvēlēta tā, lai fāzes nobīde  $\varphi$  starp ieejas un izejas spriegumiem būtu maksimāla (parametri  $C_0$ ,  $L$  un  $R$  netiek mainīti). Atrodiet fāzes nobīdi  $\varphi$  un izejas (output) sprieguma amplitūdu  $V_{out}$ .



**5. FEROMAGNĒTISKA LENTA (12 punkti)** — *Jaan Kalda, Eero Uustalu.*

**Piederumi:** bīdmērs, lineāls, milimetru papīri, pretestības magnētiskā lauka sensors, kas savienots ar baterijām turētājā, multimetrs ar diviem vadiem, mīksta feromagnētiska materiāla lenta ar biezumu 0,25 mm - **neloki lentu pārmērīgi, lai to nesabojātu.**

**i)** (0,5 punkti) Savienojiet vadu banānu galus ar COM portu un multimetra VΩmA portu. Ieslēdziet multimetru 20 voltu (līdzstrāvas) diapazonā un pieskarieties diviem akumulatora turētāja metāla vadiem (kas atrodas blakus punktiem, no kurienes iznāk sarkanais un melnais vads no turētāja) ar vadu krokodila galiem. Pierakstiet bateriju turētāja izejas spriegumu spriegumu  $\mathcal{E}$ . Ja spriegums ir zemāks par 3,0 V, varat lūgt rezerves baterijas.

Veicot visus magnētiskā lauka mērījumus, ņemiet vērā, ka ja bateriju spriegums būtu tieši 3 V, tad katrs milivolts rādījumā atbilstu 10 mikrotēslām no magnētiskā lauka intensitātes. Tomēr rādījums milivolts ir proporcionāls gan magnētiskā lauka stiprumam, gan bateriju spriegumam.

Savieno krokodilus ar magnētiskā sensora dzelteni un sarkano vadu. Ņem vērā, ka (a) sensoram var būt nobīde, kas atšķiras no nulles: pat ja nav magnētiskā lauka, multimetra rādījums  $V_0$  var atšķirties no nulles; (b) vienmēr pastāv Zemes magnētiskais lauks. Tālāk izvairies no magnētiskā lauka mērīšanas, kas atbilst sprieguma rādījumiem, kas ir lielāki par 500 mV — tik spēcīgs lauks var izraisīt nobīdes vērtības  $V_0$  izmaiņas. Ja ne-

jauši pakļauj sensoru šādam laukam, nosaki un izmanto jaunu  $V_0$  vērtību.

Magnētiskā lauka sensora vienā no malām ir atzīmēts mazs balts punkts. Tas norāda uz magnētiskā lauka komponentes virzienu, kas tiek mērīta.

**ii)** (1,5 punkti) Nosaki nobīdes spriegumu  $V_0$  un Zemes magnētiskā lauka  $B_E \equiv |\vec{B}_E|$  lielumu, kā arī leņķi starp vertikālo virzienu un  $\vec{B}_E$  virzienu.

Tagad pievienojiet magnētu feromagnētiskajai lentai tā, lai mgnēta apaļā puse pieskaras lentas virsmai netālu no lentas viena gala. Izmantosim ortogonālu koordinātu sistēmu, kur  $x - y$ -plakne ir lentas plakne, kur lentas garākā simetrijas ass ir  $x$ -asi, un  $x = 0$  atrodas uz lentas vietā, kur atrodas magnēta centrs.

Kopējais magnētiskais lauks ir pastāvīgā magnēta  $\vec{B}_m$ , magnetizētās feromagnētiskās lentas  $\vec{B}$  un Zemes magnētiskā lauka  $\vec{B}_E$  superpozīcija. Mūs interesē tikai lauks  $\vec{B}$ . Pieņemsim, ka  $\vec{B}_m$  ir atkarīgs tikai no attāluma no magnēta un paliek nemainīgs, kad magnēts tiek noņemts no lentas.

**iii)** (2,5 punkti) Izmēriet vertikālo lauku  $B_z = B_z(L/2, y)$ , ko rada lenta ar magnētu, kā funkciju no  $y$ , apgabalā  $-w/2 \leq y \leq w/2$ , pie  $x = L/2$ , kur  $w$  apzīmē joslas platumu un  $L$  — joslas garumu. Atrodiet attiecību  $\kappa = \langle B_z \rangle$  pret  $B_z(L/2, 0)$ , kur vidējais magnētiskais lauks

$$\langle B_z \rangle \equiv \int_{-w/2}^{w/2} B_z(L/2, y) dy.$$

Pieņem, ka  $\kappa$  ir nemainīgs visā lentas garumā.

**iv)** (3,5 punkti) Izmēriet  $B_z(x, 0)$  netālu no lentas virsmas kā funkciju  $x$  un uzzīmējiet mērījumu rezultātus.

**v)** (2,5 punkti) Ar  $J_s$  apzīmē lentas materiāla piesātinājuma magnetizāciju; novērtējiet  $J_s \mu_0$  vērtību (tas, vienkāršojot, ir spēcīgākais magnētiskais B lauks, ko feromagnēts spēj nest).

**vi)** (1,5 punkti) Eksperimentāli pierādiet, ka pie mazām  $x$  vērtībām magnetizācija lentas iekšpusē ir sasniegusi piesātinājumu.

**6. DZĪVES TRIKI (6 punkti)** — *Jurij Bajc and Jaan Kalda.*

Normāla vesela acs spēj skaidri redzēt objektu, ja objekts atrodas attālumā no 25.0 cm līdz bezgalībai no acs. Tuvredzīga acs redz tik pat labi, ja izmantojo kontaktlēcas ar optisko stiprumu  $-6,00$  dioptrijās.

**i) (1 punkts)** Kādā diapozonā skaidri redz tuvredzīga acs bez kontaktlēcas?

**ii) (2 punkti)** Ja cilvēks kontaktlēcu vietā lieto brilles, tad brillu lēcas atrodas 2.00 cm attālumā no acs. Cik liels ir brillu lēcas optiskais stiprums, kas ļauj tuvredzīgai acij normāli redzēt?

**iii) (3 punkti)** Priekšpiedziņas automašīna var stabili noturēties uz slīpa asfaltēta ceļa ar bromzēm, kas bloķē visus četrus riteņus, ja ceļa slīpums nav lielāks par 45 grādiem, un tā var braukt kalnā, ja ceļa slīpums nav lielāks par 22 grādiem. Kāds ir maksimālais ceļa slīpums, pa kuru automašīna var braukt atpakaļgaitā augšup? Pieņemsim, ka automašīnas smaguma centrs atrodas vienādā attālumā gan no priekšējiem, gan aizmugurējiem riteņiem.

**7. ELEKTRONI MAGNĒTISKAJĀ LAUKĀ (9 punkti)** — *Kaarel Hänni, Jaan Kalda.*

Šajā uzdevumā aplūkosim divus elektronus (ar masu  $m$  un lādiņu  $-e$ ), kas pārvietojas homogēnā magnētiskajā laukā ar plūsmas blīvumu  $B$  tā, ka attālums starp diviem elektroniem vienmēr paliek nemainīgs; dažādi apakšuzdevumi pēta dažādas iespējas.

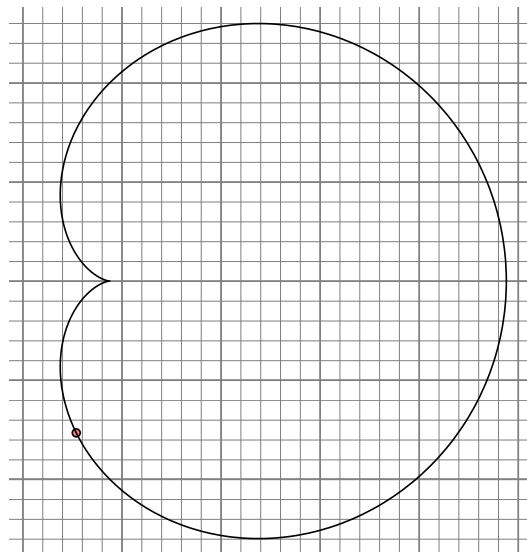
**i) (2 punkti)** Attālums starp elektroniem ir tik liels, ka to elektrostatisko atgrūšanās var neņemt vērā. Noteiktā brīdī leņķis starp elektronu ātruma vektoriem ir  $\alpha \neq 0$ , un viens no tiem virzās otra virzienā ar ātrumu  $v$ . Uzņēmējiet abu elektronu trajektorijas! Kāds ir otra elektrona ātrums?

**ii) (1 punkts)** Elektrostatiskā atgrūšanās joprojām nav jāņem vērā. Tagad abu elektronu trajektorijas krustojas, un noteiktā brīdī viena no tiem ātrums ir  $\vec{v}$ . Ko var teikt par otra elektrona ātrumu tajā pašā brīdī? Uzņēmējiet abas trajektorijas.

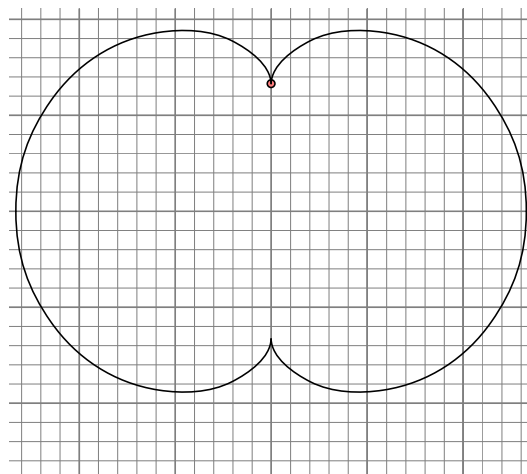
**iii) (2 punkti)** Kāds ir attālums  $l$  starp elektro-

niem, ja tie abi veic periodisku kustību ar periodu  $\frac{6\pi m}{Be}$ , pārvietojoties ar nemainīgu ātruma absolūto vērtību?

**iv) (2 punkti)** Zemāk redzamajā attēlā ir attēlota viena elektrona trajektorija noteiktai sākotnējo nosacījumu kopai. Kur atrodas otrs elektrons brīdī, kad pirmais elektrons atrodas lielā punkta vietā? Cik liels ir šis kustības periods?



**v) (2 punkti)** Zemāk redzamajā attēlā ir attēlota viena elektrona trajektorija noteiktai sākotnējo nosacījumu kopai. Kāds ir otra elektrona ātrums brīdī, kad pirmais elektrons atrodas lielā punkta vietā?



**8. PLANĒTU SPOŽUMS (9 punkti)** — *Topi Löytäinen, Jaan Kalda.*

Šajā uzdevumā laika periodi tiek mērīti gados ( $y$ ), un attālumi tiek mērīti astronomiskajās vienībās ( $au$ ); Zemes attālums no Saules ir  $R_{\oplus} = 1 au$ . Tiek pieņemts, ka planētas un Mēness pārvietojas vienā plaknē (ekliptika plaknē) pa aplveida orbitām vienā virzienā. Venēras attālums no Saules ir  $R_{\ominus} = 0,72 au$ , un Marsa attālums no Saules ir  $R_{\Mars} = 1,5 au$ . Dažās tālāk norādītajās daļās jums būs jāpieņem, ka planētas ir tā sauktās Lambertā izkliedētājas, t.i. jūs varat redzēt visu planētas disku, ko apgaismo saules gaismā, diska vidējās daļas šķiet tikpat spilgtas kā diska malas. Visā uzdevumā pieņemsim, ka novērotājs atrodas Tallinā ģeogrāfiskajās koordinātās  $59,5^{\circ}N$  un  $24,7^{\circ}E$ . Zemes ass ir sasvērta par  $23,5$  degattiecībā pret ekliptikas plaknes normāli.

**i) (0,7 punkti)** Kad var redzēt augošu mēness sirpi? Atlasiet vienu vai vairākas opcijas (A, B un/vai C) un motivējiet savu atbildi ar diagrammu, kurā attēlota Saule, Mēness un Zeme. Izvēlieties no opcijām

- A: tūlīt pēc saulrieta;
- B: pusnaktī;
- C: tieši pirms saullēkta.

**ii) (1,2 punkti)** Kāds ir pilnmēness kulminācijas leņķis (t.i. maksimālais leņķis virs horizonta) ziemas saulgriežos Tallinā?

**iii) (1,2 punkti)** Planētu šķietamais spilgtums (apgaisojums uz Zemes, t.i. gaismas plūsmas blīvums) var atšķirties plašā vērtību diapazonā. Cik reizes mainās Marsa šķietamais spilgtums starp stāvokļiem, kad Marss ir vistuvāk un vistālāk no Zemes?

**iv) (1,2 punkti)** Cik liels ir laika posms uz Zemes starp brīžiem, kad Marss ir vistuvāk un vistālāk no Zemes?

**v) (1,2 punkti)** No rudens līdz pavasarim Venēru nekad nevar redzēt pusnaktī. Cik ilgi to maksimāli iespējams redzēt pēc saulrieta?

**vi) (2,5 punkti)** Izsakiet normalizēto šķietamo spilgtumu  $I/I_0$  kā funkciju no  $R_{\oplus}$ ,  $R_{\ominus}$  un attāluma  $L$  no Zemes līdz Venērai. Šeit normalizācijas konstanti  $I_0$  var izvēlēties patvaļīgi. *Padoms:*  $I/I_0$  ir jābūt polinomam no  $L^{-1}$ .

**vii) (1 punkts)** Atrodiet attālumu  $L = L_0$ , kad

Venēras šķietamais spilgtums ir vislielākais, un leņķisko attālumu starp Venēru un Sauli šajā brīdī.

**9. MAGNĒTS STIKLA CILINDRĀ (12 punkti)** — *Jaan Kalda, Eero Uustalu.*

**Piederumi** Caurspīdīgs cilindrs, kurā atrodas cilindrisks pastāvīgais magnēts un kura gali ir noslēgti ar foliju; marķieris; bīdmērs; ciets homogēna materiāla cilindrs; divi dēļi (ko paredzēts izmantot, lai uztaisītu slīpo plakni, pa kuru ripināt cilindrus); divi ķieģeļi, lai mainītu un nofiksētu slīpās plaknes leņķi; kaste, kurā noķert ripojošo cilindru; lineāls, kas var tikt izmantots, lai atlaistu cilindrus; permanents marķieris tikai priekš atzīmēm uz cilindra (prasi organizatoriem notīrīt atzīmes, ja tas nepieciešams); zīmulis priekš atzīmēm uz dēļiem. **NB! stikla cilindrs ir plīstošs un dārgs, esi piesardzīgs un nenomet stikla cilindru uz grīdas.**

Katrā uzdevumā tev jācenšas iegūt pēc iespējas augstākas precizitātes precizitāts. Tu iegūsi punktus gan par to, ka apraksti, kā tu uzlabo precizitāti, gan par gala rezultāta novirzi no patiesās vērtības.

**i) (1 punkts)** Nosaki magnēta garumu, cik precīzi vien spēj, un nosaki iegūtā rezultāta kļūdu.

**ii) (3 punkti)** Paātrinājums, ar kādu cilindrs ripo lejā pa slīpo plakni ir atkarīgs no slīpās plaknes leņķa un lieluma  $\kappa = I_0/MR^2$ , kur  $I_0$  ir cilindra inerces moments ap simetrijas asi,  $M$  ir cilindra masa un  $R$  ir cilindra rādiuss. Nosaki lielumu  $\kappa$  stikla cilindram ar tajā ievietoto magnētu.

**iii) (2,5 punkti)** Nosaki magnēta diametru. *Hints:* izdomā, kā to ir iespējams noteikt zinot stikla gaismas laušanas koeficientu.

**iv) (2,5 punkti)** Ievēro, ka cilindra caurspīdīgā daļa ir veidota no diviem atšķirīgiem materiāliem: gaismas laušanas koeficients centrālajai daļai  $n_c$  nedaudz atšķiras no gaismas laušanas koeficienta ārējai daļai  $n_o$  (centrālās daļas diametrs ir tāds pats kā magnētam). Nosaki ārējās daļas gaismas laušanas koeficientu  $n_o$  un novērtē iegūtā rezultāta kļūdu.

**v) (3 punkti)** Nosaki centrālās daļas gaismas laušanas koeficientu  $n_c$ .