**NORDIC-BALTIC PHYSICS OLYMPIAD 2022**

## 1. FLYKT (8 poäng) — *Päivo Simson.*

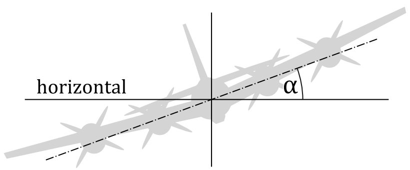
Under ett kärnvapentest släpps en bomb från ett flygplan vid en höjd på $H = 9\,\mathrm{km}$ som är förinställd att detonera $h = 500\,\mathrm{m}$ över marken. Bombens luftmotstånd när den faller är försumbart. Omedelbart efter att bomben har släppts börjar planet sin undanflykt från explosionen. Besättningen är skyddad från strålningen tack vare en skyddsskärm, men planet är sårbart av chockvågen och behöver därför vara så långt ifrån detonationspunkten som möjligt.

**i)** *(1 poäng)* Flygplanets topphastighet vid horisontell flygning (konstant höjd) är $v_0$. Vilken är det maximala dykvinkeln så att den totala hastigheten inte överskrider ljudhastigheten $c$? Flygplanets massa är $m$, kraften från luftmotståndet är $F_d = kv^2$, och tyngdaccerelationen är $g$.

Antag för enkelhetens skull från och med nu att flygplanet håller sig på en konstant höjd och flyger med en konstant fart $v = 190\,\mathrm{m/s}$, och att alla manövrar är begränsade av det maximala förhållandet mellan bärkraft och tyngd $n = 2.5$. Tyngdaccerelationen är $g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}$.

**ii)** *(1 poäng)* Hur mycket tid har flygplanet på sig innan strålningvågen träffar det efter att bomben har släppts?

**iii)** *(1 poäng)* Vilken är den minsta möjliga krökningsradien $R$ som flygplanet kan flyga med och vilken vinkel $\alpha$ sker detta med (se figuren)?




**iv)** *(3 poäng)* Föreslå en kurs som leder till den snabbaste flykten. Beräkna alla parametrar som definierar banans form och dess position relativt detonationspunkten.

**v)** *(2 poäng)* Hur långt ifrån detonationspunkten är flygplanet när chockvågen träffar det givet den föreslagna kursen? Det uppskattas att säkerhetsavståndet är 25 km. Är det möjligt för planet att fly från explosionen? Antag att den genomsnittliga farten på chockvågen är $u = 350\,\mathrm{m/s}$. I denna del av uppgiften får motiverade approximationer lov att användas för att förenkla algebran om nödvändigt.

## 2. GAS (6 poäng) — *Jaan Kalda.*

En låda med volym $V$ är fylld med $\nu$ mol av en monoatomisk gas som har molmassa $\mu$ och försumbart låg temperatur. Lådan stannas direkt efter att ha rört sig med en konstant fart $v$ (som är mycket större än den termiska farten).

**i)** *(2 poäng)* Beräkna temperaturen i lådan efter att denna har stabiliserats.

**ii)** *(2 poäng)* Beräkna trycket på lådans främre vägg (väggen som var längst fram i rörelsens riktning) direkt efter att lådan har stannat.

**iii)** *(2 poäng)* En sfär av gas (helium, $\mu = 4\,\mathrm{g/mol}$ med radie $r = 1\,\mathrm{cm}$ och temperatur $T = 300\,\mathrm{K}$) är omgiven av vakuum. Molekylernas fria medelväglängd är mycket större än $r$. Vid en speciell tidpunkt brister sfärens väggar och efter en tid $\tau = 5\,\mathrm{ms}$ fångas en del av gasen genom att det ögonblickligen sätts upp väggar som skapar en kubformad behållare med volym $V = 1\,\mathrm{m^3}$. Beräkna den slutgiltiga temperaturen hos gasen inuti kuben $T$' efter värmeutjämning; försumma värmekapaciteten hos kubens väggar.

## 3. RAKET (5 poäng) — *Jaan Kalda.*

En fotonraket accelereras av en laserstråle som skickas från marken: raketens spegel reflekterar photonerna i exakt motsatt riktning. Raketens vilomassa $M_0$ är oförändrad under färden. Den totala energin av fotonerna som lasern sänder ut (och som senare reflekteras av raketen) är $\alpha M_0 c^2$. Laserns effekt är konstant över tiden.

**i)** *(1 poäng)* Vilken fart $v$ når raketen om $\alpha = 1 \times 10^{-6}$?

**ii)** *(2 poäng)* Vilken fart $v$ når raketen om $\alpha = 1$?

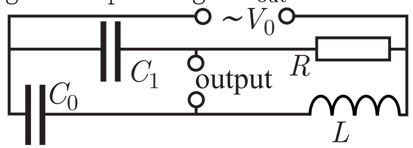
**iii)** *(2 poäng)* Hur många gånger större upplever raketens passagerare accelerationen (tröghetskraften som verkar på dem) i början av accelerationen jämfört med i slutet om $\alpha = 1$? Uttryck svaret i termer av raketens slutgiltiga fart $v$.

## 4. AC-FILTER (5 poäng) — *Jaan Kalda.*

En växelspänning som har amplitud $V_0$ och vinkelhastighet $\omega_0$ är kopplad till kretsen som visas nedan.

**i)** *(2 poäng)* Vid vilken vinkelhastighet $\omega_0$ skulle den utgående spänningen bli oändlig?

**ii)** *(3 poäng)* Låt nu vinkelhastigheten $\omega$ vara dubbelt så stor som värdet i förra uppgiften, $\omega = 2\omega_0$. Kapacitansen $C_1$ är vald så att fasförskjutningen $\varphi$ mellan den ingående och den utgående spänningen är maximal (parametrarna $C_0$, $L$ och $R$ ändras ej). Bestäm fasförskjutningen $\varphi$ och amplituden på den utgående spänningen $V_{\mathrm{out}}$.




## 5. FERROMAGNETISK STRIMMA (12 poäng) — *Jaan Kalda, Eero Uustalu.*

**Utrustning** Ett skjutmått, en linjal, grafpapper, en sensor som mäter magnetiskt fält via resistans kopplad till batteri i en hållare, en multimeter med två sladdar och en strimma gjord av ett mjukt ferrogamnetiskt material — **böj ej detta onödigt mycket för att undvika att skada materialet**.

**i)** *(0,5 poäng)* Koppla bananändarna hos de två sladdarna till COM och VΩmA-uttagen på multimetern. Slå på multimetern i området med 20 volt (DC), och rör de två metalliska lederna på hållaren (som sitter brevid ställena där den röda och svarta sladden kommer ut från hållaren) med krokodiländarna av kabeln. Skriv ner spänningen $\mathcal{E}$ över lederna hos batterihållaren. Om spänningen är under 3,0 V får du lov att be om nya batterier.

Tänk på att under alla mätningar av magnetiska fält så *skulle en batterispänning på exakt* 3 V *göra att varje millivolt som avläses motsvarar 10 mikrotesla hos det magnetiska fältet. Nu är spänningen avläst i millivolt istället proportionell mot både det magnetiska fältet och batterispänningen.*

Fäst krokodilklämmorna på den gula och den röda sladden till magnetsensorn. Notera att (a) sensorn kan ha en konstant avvikelse: trots att där inte finns något magnetiskt fält kan multimetern visa ett värde $V_0$ som inte nödvändigtvis är noll; (b) det finns alltid ett magnetfält från jorden. Undvik att mäta magnetiska fält som motsvarar spänningar större än $500\,\mathrm{mV}$ — så starka magnetfält kan orsaka ändringar i avvikelsevärdet $V_0$. Mät upp ett nytt värde av $V_0$ om du av misstag skulle exponera sensorn för sådana fält.

Magnetsensorn har en liten vit prick markerad på en av dess sidor. Denna pekar i riktningen hos den komponent av magnetfältet som mäts.

**ii)** *(1,5 poäng)* Bestäm avvikelsespänningen $V_0$ och storleken hos jordens magnetfält $B_E \equiv |\vec{B}_E|$ samt vinkeln mellan den vertikala riktningen och riktningen hos jordens magnetfält $\vec{B}_E$.

Fäst nu magneten på den ferromagnetiska strimman så att den cirkulära ytan rör strimmans yta nära en av ändarna. Låt oss använda ett vinkelrätt koordinatsystem där $x - y$-planet är strimmans plan, där den längsta symmetriaxeln hos strimman är $x$-axeln, och $x = 0$ är motsvarar punkten som ligger i magnetens centrum.

Det totala magnetfältet är en superposition av den permanenta magnetens fält $\vec{B}_m$, fältet från den magnetiserade ferromagnetiska strimman $\vec{B}$ och jordens magnetfält $\vec{B}_E$. Nedan är vi endast intresserade av $\vec{B}$. Antag att $\vec{B}_m$ endast beror på avståndet från magneten och är oförändrad när magneten inte längre sitter fast på strimman.

**iii)** *(2,5 poäng)* Mät det vertikala fältet $B_z = B_z(L/2{,}y)$ som orsakas av strimman med magneten, som funktion av $y$, för $-w/2 \leq y \leq w/2$, vid $x = L/2$, där $w$ betecknar bredden och $L$ — längden hos strimman. Hitta förhållandet mellan $\kappa = \langle B_z \rangle$ och $B_z(L/2{,}0)$, där det genomsnittliga magnetfältet är

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

Antag att $\kappa$ är konstant längs med strimman.

**iv)** *(3,5 poäng)* Mät $B_z(x{,}0)$ nära strimmans yta som funktion av $x$ och plotta resultatet.

**v)** *(2,5 poäng)* Låt $J_s$ beteckna mättningsmagnetiseringen hos strimmans material; uppskatta värdet på $J_s\mu_0$ (detta är, med lite handviftning, det starkaste magnetiska B-fält som ferromagneten kan upprätthålla).

**vi)** *(1,5 poäng)* Bevisa experimentellt att för små värden på $x$ så har magnetiseringen i strimman nått sin mättnad.

## 6. LIFE HACKS (6 poäng) — *Jurij Bajc, Jaan Kalda.*

Ett normalt öga utan synfel kan se ett föremål klart om föremålet befinner sig längre än 25.0 cm från ögat. Ett närsynt öga ser bra med hjälp av en kontaktlins med dioptrital −6.00.

**i)** *(1 poäng)* Mellan vilka avstånd ser det närsynta ögat klart utan kontaktlinsen?

**ii)** *(2 poäng)* Om personen använder glasögon istället för kontaktlinser och linsen i glasögonen befinner sig 2.00 cm ifrån ögat, vilken styrka behöver linserna i glasögonen då ha för att det närsynta ögat ska se normalt?

**iii)** *(3 poäng)* En framhjulsdriven bil kan hålla sig stilla på en lutande asfaltsväg när bromsarna låser alla fyra hjulen om backens lutning är mindre än 45 grader, och kan köra framlänges uppför backen om lutningen är mindre än 22 grader. Vilken är den maximala lutningen för vilken bilen kan backa uppför backen? Antag att bilens tyngdpunkt ligger på samma avstånd från fram- och bakhjulen.

## 7. ELEKTRONER I ETT MAGNETFÄLT (9 poäng) — *Kaarel Hänni, Jaan Kalda.*

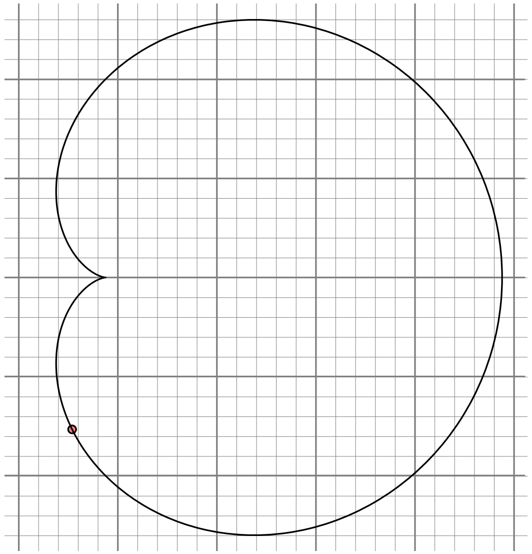
I denna uppgift betraktar vi två elektroner (massa $m$ och laddning $-e$) som rör sig i ett homogent magnetfält med födestäthet $B$ på ett sådant sätt att avståndet mellan dem alltid är konstant; de olika deluppgifterna utforskar olika möjliga scenarion.

**i)** *(2 poäng)* Avståndet mellan elektronerna är så stort att den elektrostatiska repulsionen mellan dem kan försummas. Vid ett givet ögonblick är vinkeln mellan elektronernas hastighetsvektorer $\alpha \neq 0$ och en av dem rör sig i riktning mot den andra med farten $v$. Skissa de båda elektronernas banor. Vilken fart har den andra elektronen?

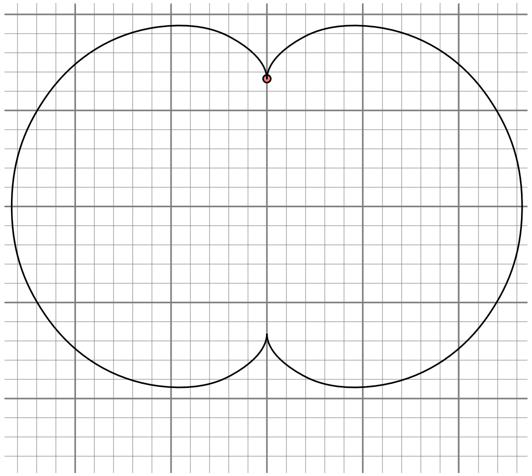
**ii)** *(1 poäng)* Den elektrostatiska repulsionen kan försummas även i denna deluppgift. I detta scenario korsar elektronernas banor varandra, och vid ett givet ögonblick har en av dem hastigheten $\vec{v}$. Vad kan sägas om den andra elektronens hastighet vid samma ögonblick? Skissa båda elektronernas banor.

**iii)** *(2 poäng)* Vad är avståndet $l$ mellan elektronerna om båda elektronerna utför en periodisk rörelse med periodtid $\frac{6\pi m}{Be}$ medan de rör sig med konstant fart?

**iv)** *(2 poäng)* Figuren nedan visar banan för en av elektronerna för en given uppsättning initialvilkor. Var befinner sig den andra elektronen när den första elektronen befinner sig vid positionen markerad med en liten cirkel? Vad är periodtiden för denna rörelse?



**v)** *(2 poäng)* Figuren nedan visar banan för en av elektronerna för en given uppsättning initialvilkor. Vilken fart har den andra elektronen när den första elektronen befinner sig vid positionen markerad med en lite cirkel?



## 8. PLANETERS LJUSSTYRKA (9 poäng) — *Topi Löytäinen, Jaan Kalda.*

I denna uppgift mäts periodtider i år (y) och avstånd i astronomiska enheter (au); avståndet mellan jorden och solen är $R_{\oplus} = 1\,\mathrm{au}$. Planeterna och månen antas röra sig i samma plan, ekliptikan, i cirkulära banor med samma rotationsriktning. Avståndet mellan Venus och solen är $R_{♀} = 0{,}72\,\mathrm{au}$ och avståndet mellan Mars och solen är $R_{♂} = 1{,}5\,\mathrm{au}$. I vissa deluppgifter nedan kommer du behöva anta att planeterna är så kallade Lambertiska spridare, d.v.s att när du kan se hela skivan av en planet belyst med solljus så är mittendelarna av skivan precis lika ljusstarka som delarna vid kanten av skivan. Antag under hela uppgiften att observatören befinner sig i Tallinn vid de geografiska koordinaterna 59,5°N and 24,7°E. Jordaxeln lutar med 23,5°jämfört med normalen till ekliptikan.

**i)** *(0,7 poäng)* När kan man se en växande månskärva? Välj ett eller flera alternativ (A, B och/eller C) och motivera ditt svar med ett diagram som visar solen, månen och jorden. Välj bland alternativen
A: precis efter solnedgången;
B: vid midnatt;
C: precis innan soluppgången.

**ii)** *(1,2 poäng)* Vad är kulmineringsvinkeln (d.v.s den maximala vinkeln ovanför horisonten) för en fullmåne under vintersolståndet i Tallinn?

**iii)** *(1,2 poäng)* Den skenbara ljusstyrkan (illuminans på jorden, d.v.s ljusets flödestäthet) hos en planet kan variera kraftigt. Med hur många gånger varierar Mars skenbara ljusstyrka mellan då Mars befinner sig närmast jämfört med längst bort från jorden?

**iv)** *(1,2 poäng)* Hur lång är tidsperioden mellan då Mars befinner sig närmast och längst bort från jorden?

**v)** *(1,2 poäng)* Från hösten till våren kan inte Venus ses vid midnatt. Hur länge kan man som längst se den efter solnedgången?

**vi)** *(2,5 poäng)* Uttryck Venus normaliserade skenbara ljusstyrka $I/I_0$ som funktion av $R_{\oplus}$, $R_{♀}$ och avståndet $L$ mellan jorden ochy Venus. Normaliseringskonstanten $I_0$ kan väljas godtyckligt. *Ledning:* $I/I_0$ bör vara ett polynom i $L^{-1}$.

**vii)** *(1 poäng)* Finn avståndet $L = L_0$ då Venus skenbara ljusstyrka är som störst, samt vinkelavståndet mellan Venus och solen vid det ögonblicket.

## 9. INGLASAD MAGNET (12 poäng) — *Jaan Kalda, Eero Uustalu.*

**Utrustning** En genomskinlig cylinder med en cylindrisk permanentmagnet i och med folie som täcker dess topp och botten; en solid cylinder gjord av ett homogent material; ett skjutmått; två bräden (för att bygga en backe som cylindrar kan rulla ned för); två brickor (för att fixera och justera backens vinkel); en låda för att fånga rullande cylindrar; en linjal — kan också användas för att släppa cylindrarna; en märkpenna — endast för markeringar på cylindrarna, fråga en arrangör om du behöver tvätta bort markeringar; en blyertspenna — för markeringar på brädena. **OBS! Glascylindern med magneten är ömtålig och dyr, hantera den varsamt och tappa den inte i golvet.**

Försök åstadkomma bästa möjliga precision i alla deluppgifter. Du får poäng både för de åtgärder du vidtagit för att förbättra precisionen och för träffsäkerheten i dina resultat.

**i)** *(1 poäng)* Bestäm magnetens höjd så exakt som möjligt och uppskatta osäkerheten i ditt resultat.

**ii)** *(3 poäng)* Accelerationen med vilken cylindern rullar ned för backen beror på backens lutning och förhållandet $\kappa = I_0/MR^2$, där $I_0$ är cylinderns tröghetsmoment runt sin axel, $M$ — dess massa, och $R$ — dess radie. Bestäm förhållandet $\kappa$ för glascylindern med magnet.

**iii)** *(2,5 poäng)* Bestäm magnetens diameter. *Ledning:* hitta ett sätt att bestämma den utan att känna till glasets brytningsindex.

**iv)** *(2,5 poäng)* Notera att den genomskinliga delen av cylindern består av två olika material: brytningsindex $n_c$ hos den centrala delen skiljer sig något från den yttre delens brytningsindex $n_o$ (den centrala delen har samma diameter som permanentmagneten). Bestäm brytningsindexet $n_o$ och uppskatta osäkerheten i resultatet.

**v)** *(3 poäng)* Bestäm brytningsindexet $n_c$.