Norsk Fysikklærerforening
I samarbeid med Skolelaboratoriet,
Fysisk institutt, UiO

FYSIKK-OLYMPIADEN 2019 - 2020

Andre runde: 4. februar - 2020

Varighet: 3 klokketimer
Hjelpemidler: Tabell med formelsamling, lommeregner
Oppgavesettet består av 3 sider og det er 7 oppgaver.
Fysikk-OL-komiteen ønsker å legge ut på våre nettsider (https://www.mn.uio.no/fysikk/forskning/grupper/skolelab/fysikk-ol/) navnene på elever som får 50 % eller mer av full poengsum på OL-runde 2. Hvis det viser deg at du er blant disse som får ≥50 % - er det greit at navnet og resultatet ditt står på nettsiden?

Skriv øverst på arket: Navn, fødselsdato, e-postadresse, skolens navn, og JA eller NEI til navn og resultat på nettside.
Lykke til!

Oppgave 1 (4 poeng)

Ei kule med massen m er festet i ei snor og blir slengt rundt i en vertikal sirkel. Vis at differensen mellom snordraget i laveste punkt og øverste punkt er uavhengig av farten til kula og radien til sirkelbanen. Se bort fra luftmotstand.

Oppgave 2 (4 poeng)

Det meste av energien fra Sola kommer fra proton-proton-reaksjonen. Vi ser på dette som en reaksjon, og nettoresultatet av denne er at 4 protoner omdannes til 1 He-4, 2 positroner (antipartikkelen til elektronet) og 2 nøytrinoer i tillegg til elektromagnetisk stråling. Denne reaksjonen skjer i solas kjerne. Anta at all energien kommer fra proton-proton-reaksjonen og at reaksjonene er jevnt fordelt over hele solas kjerne (noe som er en ganske grov forenkling). Hvor mange proton-proton-reaksjoner skjer hvert sekund i en kubikkmeter av solas kjerne i følge disse opplysningene?

I en tabell finner vi de aktuelle massene:
$1\ \text{u} = 1,66 \cdot 10^{-27}$ kg.
Sola: $1,99 \cdot 10^{30}$ kg.
protoner: 1,00728 u.
He-4: 4,00260 u.
positroner: 0,0005485799 u.
nøytrinoer har så lav masse at vi ser bort fra dem her.
Solas totale effekt er på $3,846 \cdot 10^{26}$ W.
Radius av solas kjerne er omtrent $1,5 \cdot 10^{8}$ m.
Lyshastigheten er $3,00 \cdot 10^{8}$ m/s.

Oppgave 3 (4 poeng)

Ei kule A skytes loddrett oppover og når sin største høyde h. Idet A er i høyden $h/2$ på vei oppover, skytes kule B loddrett opp med samme utgangsfart som A. Se bort fra luftmotstand og betrakt kulene som punktmasser. I hvilken høyde treffer kulene hverandre?

Oppgave 4 (4 poeng)

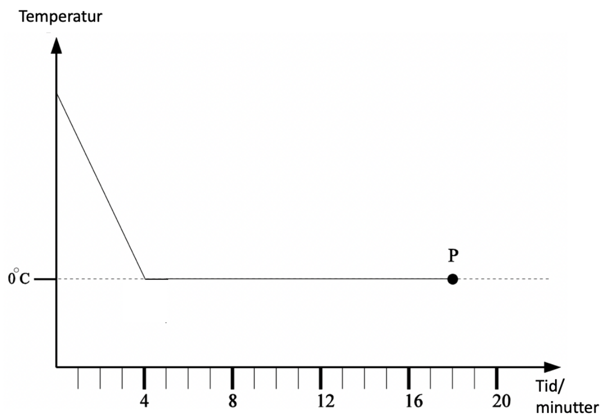
Et forslag til framdriftssystem for romsonder er solseil. Det er store reflekterende seil som drives av strålingstrykket fra sola. Anta at du har en romsonde med et seil på 1000 m^2 som er i avstanden 200 millioner km fra sola (et sted på vei fra jorda til Mars). Anta også at seilet reflekterer perfekt alt sollys som treffer det. Hvor stor kraft virker på seilet hvis det er orientert slik at sollyset treffer vinkelrett på seilflata? Sola sender ut stråling med en total effekt på $3{,}846 \cdot 10^{26}$ W. Et foton med energien E har en bevegelsesmengde $p = E/c$.

Oppgave 5 (4 poeng)

En kjølemaskin som brukes til å kjøle ned vann i en beholder er koblet til en spenning på 220 V og mottar en strøm på 0,50 A. Kjølemaskinen har en virkningsgrad på 0,70. I grafen under vises hvordan temperaturen i vannet endres over tid. Den stiplede linjen angir 0° C. Du kan se bort fra varmetap til omgivelsene i det følgende. I punktet P er alt vannet frosset til is. Dessverre har temperaturskalaen forsvunnet, men du skal likevel være i stand til å svare på følgende spørsmål:

a) Hvor stor masse vann er det i beholderen?

b) Hva er temperaturen til isen ved tiden $t = 19,0$ minutter?



Du kan få bruk for følgende opplysninger i utregningene:

Vannets spesifikke varmekapasitet: $c_{vann} = 4,3 \cdot 10^3$ J/kgK.

Isens spesifikke varmekapasitet: $c_{is} = 2,2 \cdot 10^3$ J/kgK.

Spesifikk smeltevarme for is: $L = 333 \cdot 10^3$ J/kg.

Varmen som skal til for en temperaturendring ΔT i en masse m med spesifikk varmekapasitet c er $Q = cm\Delta T$ og varmen som skal til for at en masse m med spesifikk smeltevarme L skal endre fase er $Q = mL$.

Oppgave 6 (4 poeng)

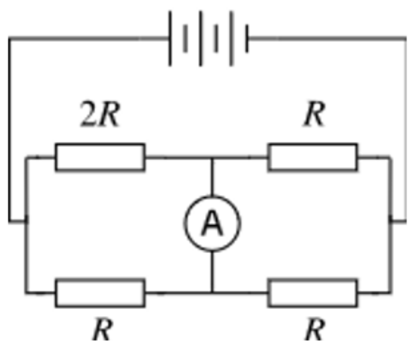
En satellitt i geostasjonær bane over ekvator vil i løpet av et år få en baneendring på grunn av månens påvirkning slik at banen danner vinkelen 1,3° med jordas ekvatorplan. Satellittens bane må endres slik at den kommer tilbake til ekvatorplanet. Satellitten har en egen rakettmotor som kan gjøre dette. Finn retning og størrelse på den fartsendringen Δv som trengs, og hvor i banen endringen må skje.

Dersom du ikke husker radien til en geostasjonær bane, kan du få bruk for følgende:

Gravitasjonskonstanten, $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\mathrm{Nm}^2}{\mathrm{kg}^2}$.

Jordas masse, $M = 5,97 \cdot 10^{24}$ kg.

Oppgave 7 (4 poeng)



Kretsen på figuren består av en konstant spenningskilde med spenningen U, fire motstander og et ideelt amperemeter. Finn strømmen gjennom amperemeteret uttrykt ved U og R.

FYSIKK-OLYMPIADEN 2019 - 2020

Løsningsforslag til 2. runde

Oppgave 1

Vi kaller farten i det laveste punktet for v og i det øverste for u og radien i sirkelbanen for r. Energibevaring gir:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mu^2 + 2mgr$$

eller

$$v^2 = u^2 + 4gr.$$

Snordraget øverst:

$$S_2 + mg = m\frac{u^2}{r}.$$

Snordraget nederst:

$$S_1 - mg = m\frac{v^2}{r}.$$

Det gir:

$$S_1 - S_2 = 2mg + \frac{m}{r}(v^2 - u^2) = 6mgr.$$

Altså er differensen uavhengig av farten og radien.

Oppgave 2

Vi finner først massesvinnet per reaksjon:

$$m = m_{før} - m_{etter} = (4 \cdot 1,00728 - (4,00260 + 2 \cdot 0,0005485799))u = 0,02542u.$$

Dette gir oss energien per reaksjon:

$$E = mc^2 = 0,02542 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \cdot (3,00 \cdot 10^8)^2 \text{ J} = 3,798 \cdot 10^{-12} \text{ J}.$$

Effekt per kubikkmeter i solas kjerne er

$$\frac{effekt}{volum} = \frac{3 \cdot 3,846 \cdot 10^{26}}{4\pi r^3} = \frac{3 \cdot 3,846 \cdot 10^{26}}{4 \cdot 3,14 \cdot (1,5 \cdot 10^8)^3}\frac{\text{W}}{\text{m}^3} = 27,21\frac{\text{W}}{\text{m}^3}.$$

Antall reaksjoner i sekundet blir effekt per kubikkmeter/energi per reaksjon=$27,21/3,798 \cdot 10^{-12} = 7,2 \cdot 10^{12}$ reaksjoner pr. kubikkmeter pr sekund. (Innerst i solas kjerne er reaksjonshastigheten omtrent ti ganger større, men vi får en lavere verdi siden vi ser på hele kjerna, og ikke bare den innerste, mest aktive delen.)

Oppgave 3

Idet B starter med farten $v_B = \sqrt{2gh}$ er A i høyden $h/2$ med farten $v_A = \sqrt{gh}$. Etter dette er begge i fritt fall med konstant relativ hastighet

$$\Delta v = v_B - v_A = (\sqrt{2} - 1)\sqrt{gh}.$$

Kulene starter fritt-fall-fasen med en innbyrdes avstand $h/2$ og møtes etter tida

$$t = \frac{h/2}{\Delta v} = \frac{h}{2(\sqrt{2} - 1)\sqrt{gh}} = \frac{\sqrt{2} + 1}{2}\sqrt{\frac{h}{g}}.$$

Etter denne tida har B kommet til høyden

$$s = v_B t - \frac{1}{2} g t^2$$

som etter litt regning gir

$$s = \frac{5 + 2\sqrt{2}}{8} h = 0,978h.$$

Oppgave 4

Vi kan ta utgangspunkt i at for et foton med energien E er bevegelsesmengden $p = E/c$. Når dette fotonet reflekteres fra speilet endres bevegelsesmengden med to ganger dette, og det må også bli endringen av bevegelsesmengden til speilet. Kraft er ending i bevegelsesmengde per tid, og dermed er krafta på speilet

$$F = \frac{2}{c} P_{reflektert}$$

der $P_{reflektert}$ er reflektert energi per tid. Hvis solas effekt er P, avstanden til sola R og arealet til seilet A er

$$P_{reflektert} = \frac{P}{4\pi R^2} A$$

Demed får vi

$$F = \frac{2P}{2\pi c R^2} A = 5,1 \text{ mN}.$$

Oppgave 5

a) Kjølemaskinens effekt er:

$$P = \eta U I = 0,70 \cdot 220 \text{ V} \cdot 0,5 \text{ A} = 77 \text{ W}.$$

Energien som tilføres i perioden δt_1 fra 4,0 til 18,0 minutter (840 s) tilsvarer smeltevarmen for å fryse alt vannet til is. Varmen som overføres tilsvarer $Q = mL$ hvor m er massen til vannet. Vi får da:

$$m = \frac{P \Delta t_1}{L} = 0,19 \text{ kg}.$$

b) Ved tidspunktet $t = 19,0$ minutter har det gått $\Delta t_2 = 60$ sekunder siden alt vannet ble til is. Hvis temperaturendringen er ΔT får vi

$$-c_{is} m \Delta T = P \Delta t_2$$

og dermed

$$\Delta T = -\frac{P \Delta t}{m c_{is}} = -10,8 \text{ K}$$

Altså er temperaturen til isen etter 19,0 minutter -11 °C.

Oppgave 6

Vi forutsetter sirkelbane slik at farten og radien hele tida er konstant. Vi finner først banens radius R. Newtons 2. lov

$$\frac{\gamma M m}{R^2} = \frac{m v^2}{R}$$

der m er satellittens masse og v er farten gir

$$R = \frac{\gamma M}{v^2}.$$

Omløpstida T er

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi\gamma M}{v^3}.$$

Dermed finner vi farta

$$v = \sqrt[3]{\frac{2\pi\gamma M}{T}} = 3071 \text{ m/s}.$$

Fartsendringen Δv må skje idet satellitten passerer ekvatorplanet, og med retning vinkelrett på satellittens fartsretning.

$$\Delta v = v \tan 1,3^\circ = 70 \text{ m/s}.$$

Oppgave 7

Vi kaller strømmene i de to lederne til venstre for amperemeteret for henholdsvis I_1 og I_2. Strømmene i de to lederne til høyre for amperemeteret må være like, og vi kaller dem I_3. Strømmen gjennom amperemeteret kaller vi I_A. Siden amperemeteret er ideelt, er resistansen her. Spenningen over motstanden $2R$ til venstre for amperemeteret, kaller vi U_1 og spenningen over motstanden R til høyre, kaller vi U_2. Da får vi følgende likninger:

$$I_1 = -I_A + I_3 \qquad I_2 = I_a + I_3$$
$$I_1 = \frac{U_1}{2R} \qquad I_2 = \frac{U_1}{R} \qquad I_3 = \frac{U_2}{R}$$
$$U_1 + U_2 = U$$

Da blir

$$\frac{U_1}{2R} = -I_A + \frac{U_2}{R}$$
$$\frac{U_1}{R} = I_A + \frac{U_2}{R}$$

Gitt $U_1 = U - U_2$ får vi

$$U - U_2 = -2RI_A + 2U_2$$
$$U - U_2 = RI_A + U_2$$

Videre

$$U_2 = \frac{U - RI_A}{2}$$

Dermed blir

$$U - \frac{U - RI_A}{2} = -2RI_A + 2\frac{U - RI_A}{2}$$

Og herav får vi at

$$I_A = \frac{U}{7R}$$

Alternativ løsning:

Siden amperemeteretet ikke har noen resistans kan vi tenke på det som en leder. Dermed er kretsen en seriekobling av to parallellkoblinger. Den venstre har resistansen $\frac{2}{3}R$ og den høyre $\frac{1}{2}R$. Totalresistansen er da $R_T = \frac{7}{6}R$ og totalstrømmen

$$I = \frac{U}{R_T} = \frac{6}{7}\frac{U}{R}$$

I den venstre parallellkoblingen må det gå dobbelt så mye strøm gjennom resistansen R som den med $2R$. Hvis vi kaller strømmen gjennom motstanden med resistansen $2R$ for I_1 har vi derfor $I_1 = \frac{1}{3}I$. I den høyre parallellkoblingen må det gå like mye strøm i hver grein, altså $I_2 = \frac{1}{2}I$ i hver. Strømmen gjennom amperemeteret er da $I_A = I_2 - I_1 = \frac{1}{6}I = \frac{U}{7R}$.