



WALLENBERGS FYSIKPRIS

KVALIFICERINGSTÄVLING

24 januari 2019

SVENSKA FYSIKERSAMFUNDET

LÖSNINGSFÖRSLAG KVALTÄVLINGEN 2019

1. Diod

a. Elektrisk effekt $P_{\text{tillförd}} = U \cdot I = 20 \cdot 10^{-3} \cdot 3.2 = 64 \text{ mW}$

RE blir $\frac{P_{\text{nyttig}}}{P_{\text{tillförd}}} = \frac{15}{64} = 0,23 = 23 \%$

b. Antal elektroner som passerar dioden under 1 sekund fås ur $I = Q/t = nq/t$, där q är elektronens laddning $n_{\text{elektroner}} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1} = 1,25 \cdot 10^{17} \text{ elektroner/s.}$

Fotonens energi $E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{468 \cdot 10^{-9}} = 4,25 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Antal fotoner som per sekund lämnar dioden:

$$n_{\text{fotoner}} = \frac{15 \cdot 10^{-3}}{4,25 \cdot 10^{-19}} = 3,53 \cdot 10^{16} \text{ fotoner/s}$$

EQE blir $\frac{n_{\text{fotoner}}}{n_{\text{elektroner}}} = \frac{3,53}{12,5} = 0,28 = 28 \%$

Svar: "Radiant Efficiency" är 23 % och "External Quantum Efficiency" är 28% för dioden.

2. Flygplan

- a. X representerar riktningen höger-vänster.
Y representerar riktningen framåt-bakåt.
Z representerar riktningen uppåt-nedåt.

b. Vid $t=55 \text{ s}$ så ökar accelerationen i uppåt kraftigt (diagram Z). Då lyfter planet.

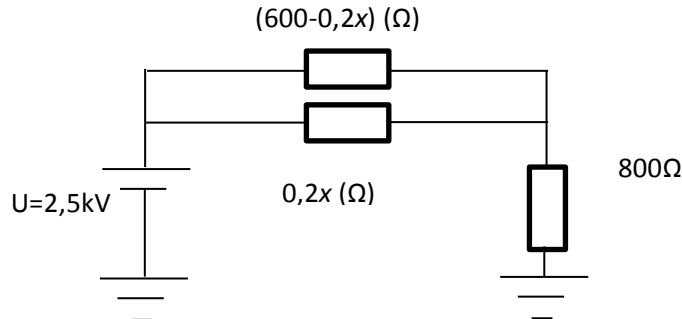
c. Arean mellan kurvan och x -axeln i *Acceleration Y* representerar hastighetsökningen framåt. I diagrammet kan accelerationen uppskattas till $0,5 \text{ m/s}^2$ i 10 s och $2,2 \text{ m/s}^2$ i 32 s , därefter lyfter planet. Eftersom planet startade från stillastående blir hastigheten när planet lyfter:

$$v = (0,5 \cdot 10 + 2,2 \cdot 32) \text{ m/s} = 75 \text{ m/s} = 270 \text{ km/h}$$

Svar: Planets hastighet då det lyfter är 270 km/h.

3. Elstängsel

a. Om Stina befinner sig sträckan x från aggregatet blir kopplingsschemat med tråden fram till Stina som två motstånd med resistansen $0,2x$ respektive $(600 - 0,2x)$. Enligt modellen är Stina bra kontakt med "jorden", så kretsen har två jordpunkter med samma potential.



b. Ersättningsresistansen blir $R = 800 + 0,2x(600 - 0,2x)/600$ (Ω).

Och strömmen ges enligt: $I(x) = \frac{U}{R(x)} = 2500 \frac{600}{480000 + 0,2x(600 - 0,2x)}$ (A)

c. Energin: $E = RI^2t$ blir minst då Stina är som längst bort ($x = 1,5$ km) varmed strömmen i kretsen blir som minst. Strömmen genom Stina blir då:

$$I_{\min} = 2500 \frac{600}{480000 + 300^2} \text{ A} = 2,63 \text{ A} \text{ och energin } E_{\min} = 800 \cdot 2,63^2 \cdot 0,002 \text{ J} = 11 \text{ J}$$

Energin: $E = RI^2t$ blir störst då Stina är närmast aggregatet ($x = 0$ km) varmed strömmen genom Stina blir:

$$I_{\max} = 2500 \frac{600}{480000} \text{ A} = 3,125 \text{ A} \text{ och energin } E_{\max} = 800 \cdot 3,125^2 \cdot 0,002 \text{ J} = 16 \text{ J}$$

Svar: Den energin som avges i Stina är mellan 11 J och 16 J.

4. Låda på lastbilsflak

Lastbilens acceleration vid starten: $a = \frac{10}{5} = 2 \text{ m/s}^2$

Den maximala friktionskraften på lådan är: $F_{\text{fr}} = 0,18 mg = 1,767m$ (N)

Lådan kommer alltså att accelerera i samma riktning som lastbilen (under 5s), men med endast $a = \frac{F}{m} = 1,7676 \text{ m/s}^2$.

Sett från flaket kommer alltså lådan att accelerera $0,2324 \text{ m/s}^2$ bakåt.

På tiden 5 s kommer lådan att röra sig:

$$s = \frac{at^2}{2} = \frac{0,2324 \cdot 5^2}{2} \text{ m} = 2,91 \text{ m}.$$

Lådan rör sig då med farten $v = at = 1,16 \text{ m/s}$ relativt lastbilen. När lastbilen slutat accelerera så kommer lådan att retardera med

$$a = \frac{F}{m} = -1,767 \text{ m/s}^2 \text{ relativt lastbilen.}$$

Vi räknar hypotetiskt på att flaket är långt. Tiden tills den stannar blir då

$$t = \frac{v}{a} = \frac{1,16}{1,767} \text{ s} = 0,66 \text{ s}$$

och lådan har då rört sig sträckan:

$$s = \frac{vt}{2} = \frac{0,66 \cdot 1,16}{2} = 0,38 \text{ m}.$$

Lådan kan alltså ha rört sig totalt

$$2,91 + 0,38 = 3,29 \text{ m}$$

$3,29 > 3,0$ m, så lådan ramlar av.

Svar: Lådan ramlar av.

5. Exoplanet

a. 6 perioder på cirka 68 dygn ger omloppstiden: $T = 11,3 \text{ dygn} = 976320 \text{ s}$
Centripetalkraften på planeten är lika med gravitationskraften (planetens massa antas vara mycket mindre än stjärnans), varmed:

$$m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r = G \frac{Mm}{r^2}, \text{ där } r \text{ är avståndet mellan stjärnan och planeten. Vi får avståndet:}$$

$$r = \left(\frac{GMT^2}{4\pi^2} \right)^{1/3} = \left(\frac{6,674 \cdot 10^{-11} \cdot 0,1221 \cdot 1,99 \cdot 10^{30} \cdot 976320^2}{4\pi^2} \right)^{1/3} \text{ m}$$

$$= 7,316 \cdot 10^9 \text{ m}$$

b. Vi antar i lösningen att både stjärnan och planeten strålar som svarta kroppar. Den utstrålade effekten från stjärnan med temperaturen $T=3042 \text{ K}$ och radien

$$r_{\text{stjärna}} = 0,1542 \cdot R_{\odot} = 1,07 \cdot 10^8 \text{ m ges av:}$$

$$P = A\sigma T^4 = 4\pi r_{\text{stjärna}}^2 \sigma T^4 = 4\pi (1,07 \cdot 10^8)^2 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 3042^4 \text{ W} = 7,0 \cdot 10^{23} \text{ W}.$$

På avståndet r från stjärnan är intensiteten $\frac{P}{4\pi r^2}$. Strålningen som träffar planetens tvärsnittsarea (πr_{planet}^2) kommer då att bli:

$$P_{\text{in}} = \frac{P}{4\pi r^2} \pi r_{\text{planet}}^2 = \frac{P r_{\text{planet}}^2}{4 r^2} = \frac{7,0 \cdot 10^{23} r_{\text{planet}}^2}{4(7,316 \cdot 10^9)^2} \text{ (W)} = 3269 r_{\text{planet}}^2 \text{ (W)}$$

Den från planeten utstrålade effekten kommer att ske från hela planetens area, $4\pi r_{\text{planet}}^2$, vid planetens temperatur, T_{planet} :

$$P_{\text{ut}} = 4\pi r_{\text{planet}}^2 \sigma T_{\text{planet}}^4$$

Vid strålningsjämvikt gäller $P_{\text{in}} = P_{\text{ut}}$ vilket ger planetens temperatur:

$$T_{\text{planet}} = \left(\frac{P_{\text{in}}}{\sigma 4\pi r_{\text{planet}}^2} \right)^{1/4} = \left(\frac{3269 r_{\text{planet}}^2}{5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 4\pi r_{\text{planet}}^2} \right)^{1/4} \text{ K} = 260 \text{ K} = -13^\circ\text{C}$$

$$\text{alt. } T_{\text{planet}} = \left(\frac{P_{\text{in}}}{\sigma 4\pi r_{\text{planet}}^2} \right)^{1/4} = T \sqrt{\frac{r_{\text{stjärna}}}{2r}} = 3042 \sqrt{\frac{1,07 \cdot 10^8}{2 \cdot 7,316 \cdot 10^9}} \text{ K} = 260 \text{ K}$$

Svar: Exoplanetens temperatur är 260 K.

6. Optisk pincett

a. Strålens rörelsemängd i x -led ändras inte. Kraften blir därför riktad i y -led.
Fotonens rörelsemängd och antal fotoner som passerar:

$$p_{\text{foton}} = \frac{h}{\lambda} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34}}{632 \cdot 10^{-9}} \text{ kgm/s} = 1,05 \cdot 10^{-27} \text{ kgm/s}$$

$$\frac{n_{\text{foton}}}{\Delta t} = \frac{P_{\text{laser}}}{E_{\text{foton}}} = \frac{P_{\text{laser}}}{\frac{hc}{\lambda}} = \frac{10^{-2}}{\frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 2,998 \cdot 10^8}{632 \cdot 10^{-9}}} \text{ fotoner/s} = 3,18 \cdot 10^{16} \text{ fotoner/s}$$

Fotonens rörelsemängdsändring, $\Delta p_{\text{foton}} = 2p_{\text{foton}} \cos(\alpha)$, med $\alpha = 62,5^\circ$ (halva riktningsändringen) ger kraften på droppen från impulslagen:

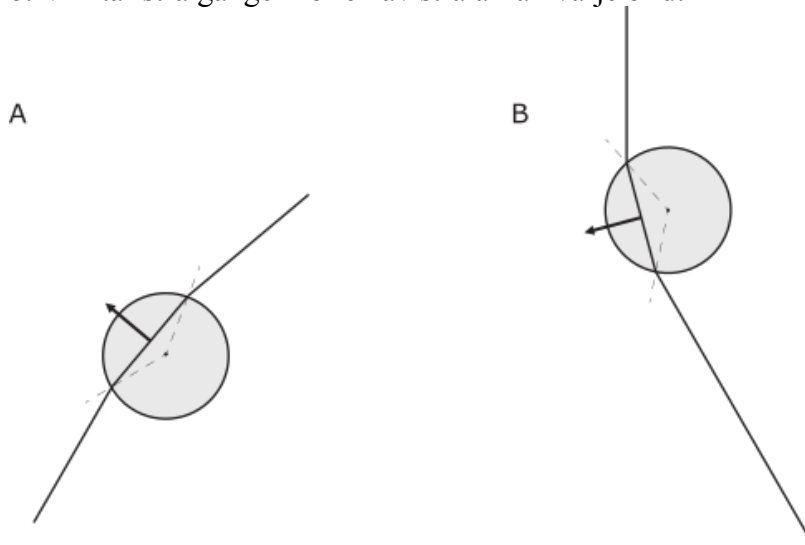
$$F = \Delta p_{\text{foton}} \frac{n_{\text{foton}}}{\Delta t} = 2 \cdot 1,05 \cdot 10^{-27} \cos(62,5^\circ) \cdot 3,18 \cdot 10^{16} \text{ N} = 3,1 \cdot 10^{-11} \text{ N}$$

$$= 31 \text{ pN}$$

Det är även möjligt att direkt beräkna laserns rörelsemängd ($p = P/c$) och på liknande sätt få kraften på droppen: $F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{2P \cos(\alpha)}{c} = 31 \text{ pN}$.

Svar: Oljedroppen påverkas av kraften 31 pN uppåt.

b. Vi ritar strålgången för en av strålarna i varje bild:



Enligt resonemanget i fråga (a) blir den resulterande kraften riktad snett uppåt i figur A och snett nedåt i figur B. På grund av symmetri med den andra laserstrålen tar krafterna i x -led ut varandra. Kraftresultanten i figur A blir alltså uppåt så att droppen lyfts mot ett jämviktsläge. Kraftresultanten i figur B blir nedåt så att droppen sänks mot ett jämviktsläge. Droppen kommer därmed att dras mot sitt jämviktsläge