WALLENBERGS FYSIKPRIS

KVALIFICERINGSTÄVLING

25 januari 2018

SVENSKA FYSIKERSAMFUNDET

LÖSNINGSFÖRSLAG KVALTÄVLINGEN 2018

1. a) Energi i 10 st batterier:
   $E = 10 \cdot U \cdot Q = 10 \cdot 1{,}5 \cdot 2{,}5$ Wh = 37,5 Wh.

   Kostnad $39{,}90/37{,}5$ kr/Wh $= 1{,}064$ kr/Wh$=1064$ kr/kWh
   Prisförhållande: $1064\ /\ 1{,}50 = 709$ ggr dyrare än elenergi från elnätet.

   Svar: Elenergin i batterierna är 700 gånger dyrare än elenergin i elnätet.

   b) För en dags cykling använder Susanne energin:
   $P \cdot t = 0{,}4 \cdot \frac{20}{60}$ Wh=0,1333 Wh per dag
   Susanne behöver två batterier till sin lampa, med energin:
   $2 \cdot U \cdot I \cdot t = 3 \cdot 2{,}5$ Wh =7,5 Wh

   Totalt kan hon alltså cykla i $7{,}5/0{,}1333$ dagar = 56 dagar.

   Svar: Susanne kan använda cykelbelysningen i 56 dagar innan hon måste byta batterier.

2. a) Massan protoner (vätekärnor) i ringen:

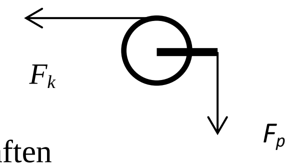
   $m = 2808 \cdot 2 \cdot 1{,}1 \cdot 10^{11} \cdot 166 \cdot 10^{-27}\text{kg} = 1{,}0$ ng

   Svar: Massan av vätekärnorna i strålen är 1 ng

   b) Protonernas rörelseenergi är 7 TeV.
   Från rörelseenergin kan hastigheten bestämmas enligt
   $E_{\text{k}} = (\gamma - 1)mc^2$ där $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}}$
   Med $mc^2 = 938$ MeV för protonen får vi $\gamma = \frac{7 \cdot 10^6}{938} = 7463$
   och $\frac{v}{c} = \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma^2}} = 1 - 8{,}98 \cdot 10^{-9}$
   Protonens hastighet är $\Delta v = c - v = 8{,}98 \cdot 10^{-9} \cdot 2{,}998 \cdot 10^8\text{m/s} = 2{,}69\ \text{m/s}$ långsammare än fotonen.
   På sträckan 26,6 km kommer alltså protoner efter med
   $\Delta s = \Delta v \cdot t = 8.98 \cdot 10^{-9} \cdot c \cdot 26600/c = 0{,}24$ mm

   Svar: Då fotonen kommer fram är protonen 0,24 mm bakom.

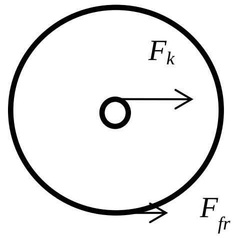
3. Momentlagen för främre kransen. Kraften i kedjan, F_k, och kraften på pedalen, F_p, med momentarmarna l_1=2l_2=10cm:



$F_\mathrm{p} \cdot l_1 = F_k \cdot l_2$ (1)

Momentlagen för bakhjulet. Kraften i kedjan och friktionskraften från marken med momentarmarna l_4=14 l_3

$F_\mathrm{k} \cdot l_3 = F_\mathrm{fr} \cdot l_4$ (2)



(1) och (2) ger friktionskraften: $F_\mathrm{fr} = F_\mathrm{k}\frac{l_3}{l_4} = F_\mathrm{p}\frac{l_1}{l_2}\frac{l_3}{l_4} = \frac{F_\mathrm{p}}{7}$

Friktionskraften är den enda yttre kraften på cykeln och cyklisten i rörelsens riktning, varmed den resulterande kraften är F=F_p/7

Alltså accelererar cykeln tillsammans med cyklisten med den totala massan (M+m) med: $a = \frac{F}{M+m} = \frac{F_\mathrm{p}}{7(M+m)}$

Om vi, något felaktigt, använder F_p=Mg får vi: $a = \frac{60\cdot 9{,}82}{7\cdot(60+10)} = 1{,}2$ m/s^2*.

Svar: Cykeln och cyklisten accelererar i startögonblicket med 1,2 m/s^2.

*Ett helt korrekt svar fås genom kraftsituationen för cyklisten: $F = Mg - F_\mathrm{p}$ och $F = \frac{Ma}{7}$ där vi använt att accelerationen på cyklisten är 1/7 av accelerationen på cykeln p.g.a. utväxlingen, varmed $(M + \frac{M}{49} + m)a = \frac{Mg}{7}$ vilket också ger $a = 1{,}2$ m/s^2.

4. a) Droppens tid mellan droppgeneratorn och papperet.

$t = \frac{s}{v} = \frac{0{,}0025}{53}\,\mathrm{s} = 47{,}17\,\mu\mathrm{s}$

En oladdad droppes förflyttning i höjdled på grund av tyngdaccelerationen blir endast

$s = \frac{at^2}{2} = \frac{9{,}82\cdot(47{,}17\cdot 10^{-6})^2}{2}\,\mathrm{m} = 11\ \mathrm{nm}$

Svar: En oladdad droppe förflyttas endast 11 nm på grund av tyngdaccelerationen.

b) Passagetid mellan avlänkningsplattorna är samma som tiden från avlänkningsplattorna till uppsamlaren (samma sträcka, 0,5 mm).

$t = \frac{s}{v} = \frac{0{,}0005}{53}\,\mathrm{s} = 9{,}4\,\mu\mathrm{s}$,

Under 1 s strömmar det ut volymen: $V = \pi r^2 v$ och det bildas 10^5 droppar, varmed varje droppe har volymen

$V = \frac{\pi(0{,}5\cdot 9{,}5\cdot 10^{-6})^2\cdot 53}{10^5}\,\mathrm{m}^3 = 3{,}757\cdot 10^{-14}\,\mathrm{m}^3$ och massan

$m = \rho V = 1000\cdot 3{,}757\cdot 10^{-14}\,\mathrm{kg} = 3{,}757\cdot 10^{-11}\,\mathrm{kg}$

Under 1 s passerar laddningen $Q = I$ och det bildas 10^5 droppar, varmed varje droppe har laddningen: $Q = \frac{56\cdot 10^{-6}}{10^5}\,\mathrm{C} = 0{,}56\,\mathrm{nC}$

Hastigheten i y-led efter avlänkningsplattorna är at och sträckan som dropparna rört sig i y-led efter avlänkningsplattorna blir $s = \frac{at^2}{2}$. Från avlänkningsplattorna till uppsamlaren rör sig dropparna ytterligare $(at)t$. Totalt s=0,0005 m i y-led enligt:

$s = \frac{at^2}{2} + (at)t = 1{,}5at^2$ (1)

Den elektriska kraften på en droppe mellan avlänkningsplattorna med d=0,0005 m

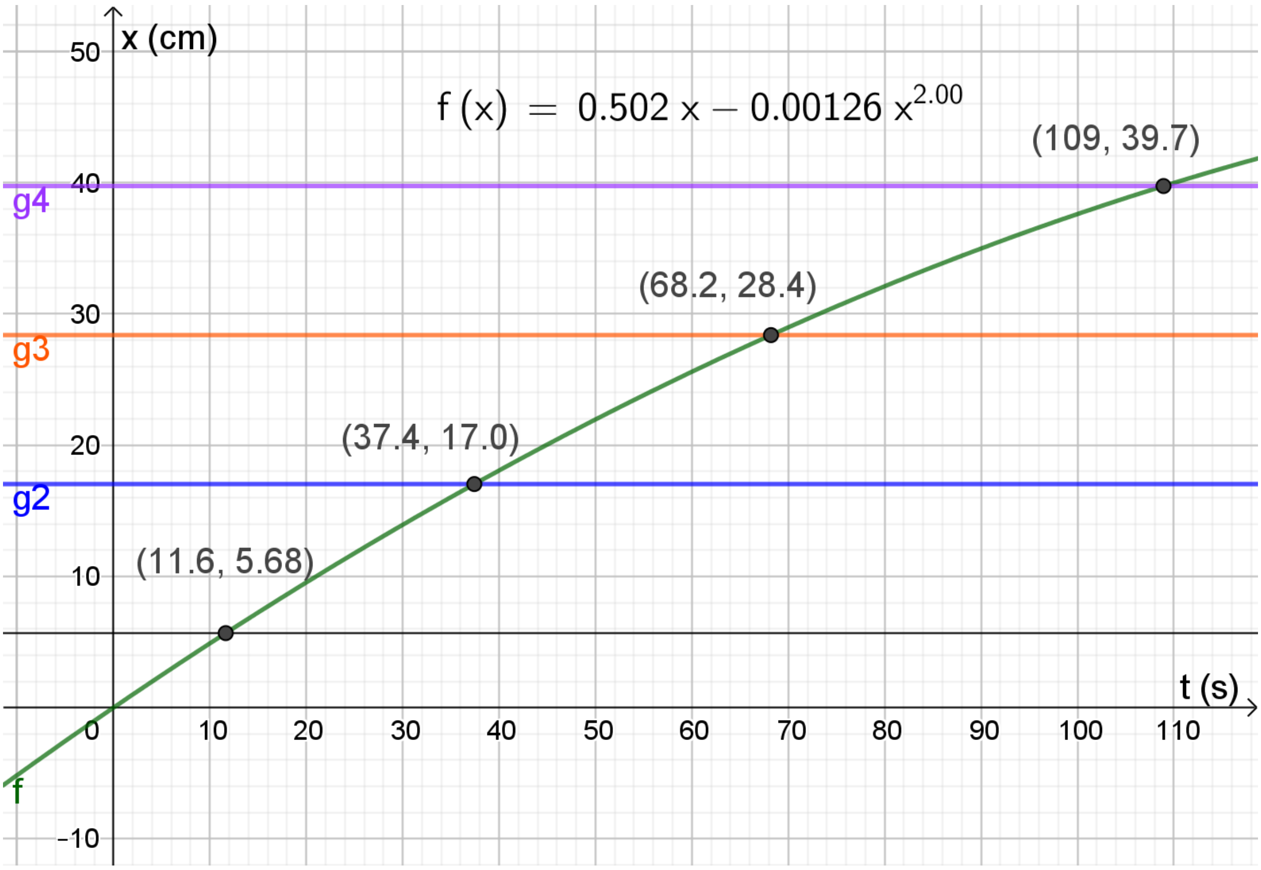
$F = ma = \frac{QU}{d}$ (2)

(1) och (2) ger $U = \frac{dms}{1{,}5t^2Q} = \frac{0{,}0005^2\cdot 3{,}757\cdot 10^{-11}}{1{,}5(9{,}4\cdot 10^{-6})^2 0{,}56\cdot 10^{-9}}\,\mathrm{V} = 0{,}13\ \mathrm{kV}$

Svar: Spänningen mellan avlänkningsplattorna skall vara 0,13 kV.

5. Vi söker de vätskenivåer då det uppstår en stående våg i röret. Detta sker då vattennivån sjunkit $x = (2N - 1)\lambda/4$ där $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{1500}$ m $= 0{,}227$ m och N= 1,2,3 …
För N=1, 2, 3, 4 och 5 får vi
x_1=0,05675 m =5,675 cm
x_2=0,17025 m = 17,025 cm
x_3=0,28375 m =28,375 cm
x_4=0,39725 m = 39,725 cm
(x_5=0,51075m>0,5 m)

Volymen vatten som rinner ut fås som arean under ϕ-t-grafen. Allmänt får vi den utrunna volymen enligt
$V(t) = 9{,}82t - \frac{0{,}0495t^2}{2}$ (cm^3).
Rörets area är $A=\pi r^2$=19,63 cm^2. Vattennivån kommer alltså att sjunka enligt
$x(t) = V(t)/A = 0{,}502t - 0{,}0012605t^2$ (cm)



Lösningarna till $x(t) = x_n$, för $n = 1, 2, 3, 4$ ges t.ex. grafiskt enligt ovan. De tider när man kan höra extra starkt ljud är alltså t=12s, 37s, 68s och 109s.

Svar: Det kommer att bli fyra förstärkningar vid . t=12s, 37s, 68s och 109s.

6. a) Resistansen för tråden är: $R = \frac{\rho l}{\pi r^2}$, där ρ är resistiviteten
Om vi antar att tråden blir så varm att den nästan smälter om strömmen är 0,4A är temperaturen för tenntråden 232°C:
Då strömmen är 0,4A måste lika mycket elektrisk effekt som tillförs stråla ut:
$\varepsilon A_{\text{mantel}} T^4 = RI^2$, där trådens resistans ges av $R = \frac{l\rho}{A_{\text{tvärsnitt}}}$ (ρ är resistivitet).

$$\varepsilon l 2\pi r \sigma T^4 = \frac{\rho l}{\pi r^2} I^2$$

vilket ger radien: $r = (\frac{I^2 \rho}{\varepsilon \sigma T^4 2\pi^2})^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{0{,}4^2 \cdot 0{,}126 \cdot 10^{-6}}{0{,}9 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 505^4 \cdot 2\pi^2}\right)^{\frac{1}{3}} = 6{,}75 \cdot 10^{-5}$m
Och diametern: 0,14mm

Svar: Trådens tjocklek skall vara 0,14 mm.

b) Tiden det tar att smälta hela tråden om strömmen är I_1=800mA, då strömmen plötsligt höjs från I_2=400mA, beror på energin som åtgår vid smältningen

$$\left(P - P_{\text{strålning}}\right) t = E_{\text{smält}}$$

för att bestämma massan behövs bland annat densiteten, ρ_d. Då ges tiden enligt nedanstående:

$$t = \frac{E_{\text{smält}}}{P - P_{\text{strålning}}} = \frac{l_s m}{RI_1^2 - RI_2^2} = \frac{l_s \rho_d l \pi r^2}{RI_1^2 - RI_2^2} = \frac{l_s \rho_d (\pi r^2)^2}{(I_1^2 - I_2^2)\rho} =$$
$$= \frac{59 \cdot 10^3 \cdot 7280 \cdot (\pi \cdot (6{,}8 \cdot 10^{-5})^2)^2}{(0{,}8^2 - 0{,}4^2) \cdot 0{,}126 \cdot 10^{-6}} = 1{,}5 \text{ s}$$

Svar: Det tar 1,5 s för säkringen att lösa ut om strömmen höjs från 400 mA till 800 mA. Säkringen är alltså en trög säkring.