WALLENBERGS FYSIKPRIS

KVALIFICERINGSTÄVLING

28 januari 2016

SVENSKA FYSIKERSAMFUNDET

LÖSNINGSFÖRSLAG KVALTÄVLINGEN 2016

1. a)

Den stora och lilla bollen faller båda 2,0 m. Energiprincipen ger hastigheten då den stora bollen slår i golvet:

$$mgh = \frac{mv^2}{2}$$

$$v_0 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9{,}82 \cdot 2{,}0} \approx 6{,}3 \text{ m/s}$$

Svar: 6,3 m/s

b)

Den lilla bollen rör sig också med fritt fall 2,0 m, varmed den får samma hastighet som den stora bollen.

Svar: 6,3 m/s

c)

Den stora bollen studsar elastiskt och får direkt efter studsen hastigheten v_0 riktad uppåt.

Den lilla bollen krockar med den stora med hastighet v_0 riktad nedåt. Den relativa hastigheten är $2v_0$ före stöten.

Om vi antar att stötarna är elastiska är den lilla bollens hastighet $2v_0$ i förhållande till den stora bollen även efter stöten. Om vi bortser från rekylen på den stora bollen (M>>m) får den lilla bollen hastigheten $3v_0$ i förhållande till marken

Rörelseenergin omvandlas till lägesenergi:

$$mgh_1 = \frac{m(3v_0)^2}{2}$$

$h_1 = \frac{(3v_0)^2}{2g} = 9h_0 = 18$ m. Studshöjden blir då 18+0,24 m≈18 m över marken, eller 18-2 m=16 m över utgångsläget.

Svar: 18 m över marken kommer den lilla bollen om stötarna är elastiska.

2. a)
   Instrålad energi mot solfångaren: $I \cdot t \cdot A = 0{,}9 \cdot 30 \cdot 60 \cdot 9{,}0 \text{ kJ} = 14580 \text{ kJ}$

   Temperaturen under första halvtimmen ökar 10°.
   Mottagen energi av vattnet i tanken: $c \cdot m \cdot \Delta T = 4{,}18 \cdot 310 \cdot 10 \text{ kJ} = 12960 \text{ kJ}$

   Verkningsgraden blev då: $\frac{12960}{14580} = 0{,}89 = 89\%$

   Svar: Verkningsgraden är 89% första halvtimmen (13.15-13.45).

   b)
   Vid tiden *t* = 135 minuter fås den mottagna effekten med hjälp av lutningen av *T(t):*
   $$\frac{dT}{dt} = 0{,}138 \text{ K/min}$$
   Den mottagna effekten blir då
   $$P = \frac{dE}{dt} = c \cdot m \cdot \frac{dT}{dt} = 4{,}18 \cdot 310 \cdot \frac{0{,}138}{60} \text{kW} \approx 3 \text{ kW}$$

   Svar: Mottagen effekt kl 15.30 var 3 kW.

   c)
   Den instrålade effekten på grund av att solen sjunkit har då minskat:
   $P_1 = P_0 \cos(34°)$.

   Den mot solpanelen instrålade effekten blir då:

   $$\text{P} = 0{,}9 \cdot 9{,}0 \cdot \cos(34°) \text{ kW} = 6{,}715 \text{ kW}$$

   Verkningsgraden: $\frac{2{,}980}{6{,}715} \approx 0{,}44$

   Svar: Verkningsgraden kl 15.30 är 44%.

3. Sträckan, s = 2,2 m, och tiden, t_{TOF} = 622 ns, som elektronerna rört sig ger elektronenshastighet:
$v = \frac{s}{t_{\mathrm{TOF}}} = \frac{2{,}2}{622 \cdot 10^{-9}}\,\mathrm{m/s} = 3{,}537 \cdot 10^{5}$ m/s,

Energin hos en foton ger jonisation av kväveatomen samt rörelseenergi hos elektronen.
Fotonens energi (λ = 24,8 nm): $E_{\mathrm{f}} = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6{,}6261 \cdot 10^{-34} 2{,}998 \cdot 10^{8}}{24{,}8 \cdot 10^{-9} \cdot 1{,}6022 \cdot 10^{-19}}$ eV $= 49{,}9944$ eV
Elektronens rörelseenergi: $E_{\mathrm{e}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{9{,}109 \cdot 10^{-31} \cdot 2{,}2^2}{2 \cdot (622 \cdot 10^{-9})^2 \cdot 1{,}6022 \cdot 10^{-19}}$ eV $= 35{,}562$ eV

Jonisationsenergin ges då av: $E_{\mathrm{j}} = E_{\mathrm{f}} - E_{\mathrm{e}} = 49{,}994$ eV $-$ $35{,}562$ eV ≈ 14 eV

Svar: Det elektroniska tillståndet som observerades hade jonisationsenergin 14 eV.
Kommentar: Detta är den lägsta jonisationsenergin för kväve

4. I en platt spole ges magnetiska flödestätheten av:
B= $\frac{N\mu I}{2r}$ där μ= $\mu_r 4\pi \cdot 10^{-7}\mathrm{Vs/Am}$,
där μ_{r} är den relativa permeabiliteten (minst 200 för järn, men upp till 2000).

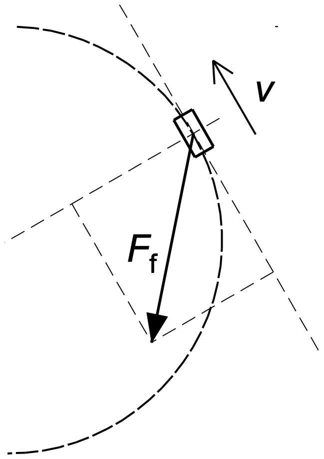
Strömmen avtar snabbt med konstant derivata $\frac{di}{dt} = 4200\mathrm{A/s}$ enligt den förenklade figuren fås med N_1=:40 varv och r=5 cm. Detta ger en ändring i det magnetiska flödet:
$\frac{d\Phi}{dt} = \pi r^2 \frac{dB}{dt} = \pi r^2 N_1 \mu \frac{1}{2r}\frac{di}{dt} = \pi r N_1 \mu \frac{1}{2}\frac{di}{dt} =$
$= \pi \cdot 0{,}05 \cdot 40 \cdot (4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 200)\frac{1}{2} \cdot 4200$ Wb/s=3,316 Wb/s

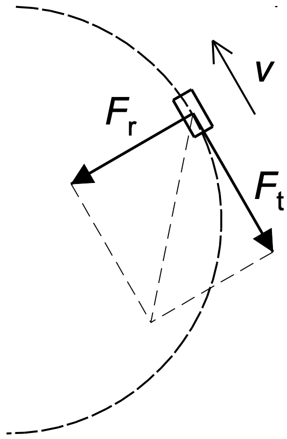
Antag att det är samma magnetiska flöde på primär och sekundärsidan. Då kommer det att induceras en spänning på sekundärsidan, N_2=1000 varv:
$$e = N_2 \frac{d\Phi}{dt} = 3{,}316 \text{ kV}$$

Detta ger fältstyrkan: $\boldsymbol{E} = \frac{e}{d} = \frac{3{,}316}{0{,}5}\mathrm{MV/m} \approx 7\ \mathrm{MV/m}$

Svar: Fältstyrkan i tändstiftet blir 7 MV/m Det borde blivit en gnista!

5. Friktionskraften från vägen på bilen, F_f, är riktad enligt bilden till vänster nedan.





Denna krafts verkan är både att bromsa bilen och verka som centripetalkraft i kurvan. Storleken på kraften ges av fullt utbildad friktion $F_\mathrm{f} = \mu m g$, där *m* är bilens massa.

Komposanterna (bilden till höger) ges enligt:
En komposant bromsar farten i banan (tangentiell): $F_t = 0{,}75 \cdot \mu m g$
En komposant gör att bilen svänger (radiell): $F_r = \frac{mv^2}{r}$
Pythagoras sats: $F_\mathrm{f}^2 = F_t^2 + F_r^2$
Insättning och förenkling:

$$v = \sqrt{\mu g r \sqrt{1 - 0{,}75^2}} = \sqrt{\mu g r \sqrt{7/16}} = \sqrt{0{,}5 \cdot 9{,}82 \cdot 40 \sqrt{7/16}}\ \mathrm{m/s} \approx 11\ \mathrm{m/s}$$

Svar: Farten i banan får inte vara större än 11m/s (41km/h).
Att jämföra med hastigheten man kan ha utan att bromsa $v = \sqrt{\mu g r} = 50\mathrm{km/h}$. Om man kör med hastigheten 50 km/h går det alltså bra så länge man inte bromsar.

6. a)

Vid jämvikt $F_L - mg = 0$. $F_L = \rho g V_0$ är lyftkraften, där V_0 är bollens volym.
Trycket vid jämvikt är p_0. Vid en liten förflyttning uppåt minskar trycket $\rho g \Delta x$
Volymen ökar då enligt Boyles lag, $(p_0 - \rho g \Delta x)V = p_0 V_0$,
vilket ger volymen efter förflyttningen: $V = \frac{p_0 V_0}{p_0 - \rho g \Delta x}$
Den resulterande kraften (positiv riktning uppåt):

$$F_R = F_L - mg = \rho g \frac{p_0 V_0}{p_0 - \rho g \Delta x} - mg$$

$$F_R = \rho g V_0 \left(\frac{p_0}{p_0 - \rho g \Delta x} - 1 \right) > 0$$

Om $\Delta x < 0$ får vi: $F_R = \rho g V_0 \left(\frac{p_0}{p_0 + \rho g |\Delta x|} - 1 \right) < 0$

Kraftresultanten har i båda fallen samma riktning som förflyttningen, vilket ger en *instabil* jämvikt.

Svar: Den resulterande kraften är $F_R = \rho g \frac{p_0 V_0}{p_0 - \rho g \Delta x} - mg$.
$F_R > 0$ för $\Delta x > 0$ och $F_R < 0$ för $\Delta x < 0$ ger *instabil* jämvikt.

b)

De samband som gäller för bollarna då snöret är sträckt, $F_T \neq 0$ är spännkraften i tråden. Index 1 hänvisar till den övre bollen, index 2 till den nedre och index v till vätskan:
Kraftjämvikt för den övre bollen: $F_{\mathrm{L1}} - F_{\mathrm{T}} = mg$
vilket ger $\rho_{\mathrm{v}} g V_1 > \rho_1 g V_1$.
Det första villkoret: $\rho_1 < \rho_{\mathrm{v}}$ (den övre bollens densitet är lägre än vattnets).

Kraftjämvikt för den nedre bollen: $F_{L2} + F_T = mg$
vilket ger $\rho_{\mathrm{v}} g V_2 < \rho_2 g V_2$.
Det andra villkoret: $\rho_2 > \rho_{\mathrm{v}}$ (den nedre bollens densitet är större än vattnets)

Kraftjämvikt för systemet med båda bollarna: $F_{\mathrm{L1}} + F_{\mathrm{L2}} = 2mg$,
vilket ger:

$$\rho_{\mathrm{v}} g V_1 + \rho_{\mathrm{v}} g V_2 = 2mg$$

$$V_1 + V_2 = \frac{2m}{\rho_{\mathrm{v}}}$$

$$\frac{m}{\rho_1} + \frac{m}{\rho_2} = \frac{2m}{\rho_v}$$

vilket är det tredje villkoret: $\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} = \frac{2}{\rho_{\mathrm{v}}}$
eller $\rho_{\mathrm{v}} = \frac{2\rho_1\rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$ (medeldensiteten för bollarna är samma som densiteten förvattnet).

Svar: De tre villkoren för bollarnas densiteter är $\rho_1 < \rho_{\mathrm{v}}$, $\rho_2 > \rho_{\mathrm{v}}$ och $\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} = \frac{2}{\rho_{\mathrm{v}}}$.