Løsningsforslag til eksamen i Fysikk 2 høsten 2011

OPPGAVE 1

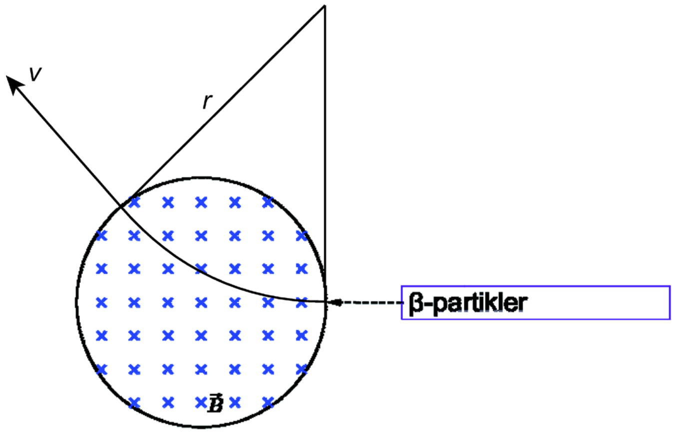
	Svar	*Kort forklaring til svaret*
a)	**C**	Gjenstander med samme type ladning frastøter hverandre, mens gjenstander med forskjellig type ladning tiltrekker hverandre. Den elektriske kraften er proporsjonal med produktet av ladningene, $\lvert F\rvert = \lvert k\cdot(-q)\cdot q/r^2\rvert = kq^2/r^2$.
b)	**B**	Løftekraften $\vec{K}$ utfører arbeidet $W = \int_{r_1}^{r_2} K\mathrm{d}x$ på gjenstanden. Hvis farten er konstant, følger det fra Newtons 1. lov at løftekraften er like stor og motsatt rettet gravitasjonskraften, $\vec{K} = -\vec{F}$, der $F(x) = \gamma mM/x^2$. Dette gir $W = \int_{r_1}^{r_2} F(x)\mathrm{d}x = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\gamma mM}{x^2}\mathrm{d}x = \gamma mM\left[-\frac{1}{x}\right]_{r_1}^{r_2} = \gamma mM\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$
c)	**A**	Når baneradien er *r*, er den totale mekaniske energien $E = -\frac{1}{2}\gamma mM/r$. Endringen i mekanisk energi når baneradien endres fra *r* til $2r$, er derfor $\Delta E = -\frac{1}{2}\frac{\gamma mM}{2r} - \left(-\frac{1}{2}\frac{\gamma mM}{r}\right) = \frac{\gamma mM}{4r}$
d)	**C**	Biot-Savarts lov: $B = k_{\mathrm{m}} I/r$
e)	**C**	Bruk høyrehåndsregelen for magnetfelt rundt strømleder. Magnetfeltet fra den vertikale lederen går inn i papirplanet ved P og Q. Magnetfeltet fra den horisontale lederen går inn i papirplanet ved Q og ut av papirplanet ved P.
f)	**B**	Biot-Savarts lov: $B = k_{\mathrm{m}} I/r$. $k_{\mathrm{m}}\cdot I/x = k_{\mathrm{m}}\cdot 2I/(d-x)$ gir $d - x = 2x$ og dermed $x = d/3$.
g)	**D**	Bruk høyrehåndsregelen. $\vec{F}_{\mathrm{e}} = q\vec{E} = -\vec{F}_{\mathrm{m}} = -q\vec{v}\times\vec{B}$ bare i tilfelle D.
h)	**D**	Faradays induksjonslov: $\varepsilon = \lvert\Phi'(t)\rvert$. Grafen av fluksen $\Phi(t)$ har størst stigningstall (i absoluttverdi) innenfor tidsrom D.
i)	**D**	
j)	**A**	Med positiv retning oppover er akselerasjonen $a = -g$. Akselerasjonen er altså konstant og negativ.
k)	**D**	$\tan\alpha = \frac{\Sigma F}{G} = \frac{mv^2/r}{mg} = \frac{v^2}{rg}$ gir $v = \sqrt{rg\tan\alpha}$.
l)	**A**	En gjenstand med bevegelsesmengde *p* har kinetisk energi $E_{\mathrm{k}} = p^2/2m$. Siden gjenstanden er i ro før støtet, er dette også endringen i den kinetiske energien.
m)	**D**	Bevaring av bevegelsesmengde: $\frac{1}{4}mv = \frac{5}{4}mu$ gir fellesfart $u = \frac{1}{5}v$ etter støtet. Bevaring av energi etter støtet: $\frac{1}{2}\cdot\frac{5}{4}mu^2 = \frac{5}{4}mgh$ gir $h = u^2/2g = v^2/50g$.
n)	**C**	Tiden går fortere jo høyere oppe i et gravitasjonsfelt vi måler. En klokke som beveger seg, saktner i forhold til en klokke som er i ro.

	Svar	*Kort forklaring til svaret*
o)	**D**	
p)	**D**	Bølgelengden er gitt ved $\lambda = h/p$. Partiklene har derfor like stor bevegelsesmengde. Den kinetiske energien er gitt ved $E_k = p^2/2m$, som betyr at elektronet (minst masse) har størst kinetisk energi.
q)	**C**	I reaksjon C er elektrontallet 0 før reaksjonen og 1 etter reaksjonen. Myontallet er 1 før reaksjonen og 0 etter reaksjonen.
r)	**D**	Den potensielle energien i avstanden x fra likevektsstillingen er $E_p = \frac{1}{2}kx^2$. I avstanden $2x$ fra likevektsstillingen er dermed den potensielle energien $\frac{1}{2}k \cdot (2x)^2 = 4 \cdot \frac{1}{2}kx^2 = 4E_p$.
s)	**C**	Den potensielle energien i fjæra blir til kinetisk energi i kula, $E_p = \frac{1}{2}mv^2$. Når vi dobler sammenpressingen, blir den potensielle energien firedoblet (oppgave r). Farten til kula blir da u, der $\frac{1}{2}mu^2 = 4 \cdot \frac{1}{2}mv^2$, som betyr at $u = 2v$.
t)	**C**	Vi kan regne usikkerheten i a som $\Delta a = \frac{1}{2}(a_{maks} - a_{min}) = \frac{1}{2} \cdot (1{,}040 - 0{,}960)\ \text{m/s}^2 = 0{,}040\ \text{m/s}^2 \approx 0{,}04\ \text{m/s}^2$ Gjennomsnittet av målingene er $\overline{a} = \dfrac{1{,}030 + 0{,}970 + 1{,}040 + 0{,}960 + 0{,}990 + 1{,}010}{6}\ \text{m/s}^2 = 1{,}000\ \text{m/s}^2 \approx 1{,}00\ \text{m/s}^2$ Vi runder av til tre sifre ettersom usikkerheten ligger i det siste av disse sifrene. Dermed kan vi skrive akselerasjonen som $a = (1{,}00 \pm 0{,}04)\ \text{m/s}^2$.
u)	**A**	
v)	**B**	
w)	**B**	Vi regner med at det er snakk om én lydkanal (mono), siden ikke noe annet er oppgitt. $\text{bits per sekund} = \text{bits per sample} \cdot \text{sampler per sekund} = 4 \cdot 1000 = 4000$
x)	**A**	Faradays induksjonslov: $\varepsilon = -\Phi'(t) = -\Delta\Phi/\Delta t$ (ved konstant fluksendring per tid). Enheten for den induserte spenningen er volt, V. Altså er $\text{V} = \text{Wb/s}$, som betyr at $\text{Wb} = \text{Vs}$ (volt ganger sekund).

OPPGAVE 2

a) Einsteins to postulater i relativitetsteorien kan formuleres som følger:
1. Fysikkens lover har samme form i alle treghetssystemer.
2. Lysfarten i vakuum har samme verdi i alle treghetssystemer.

b)



Den magnetiske kraften $\vec{F}$ står vinkelrett på farten og på magnetfeltet. Banen til elektronene blir derfor en del av en sirkel. Fra høyrehåndsregelen $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ følger det at banen krummer *oppover* på figuren, siden elektronene har negativ ladning, $q = -e$.
Den magnetiske kraften $F = evB$ gir elektronene sentripetalakselerasjonen $a = v^2/r$.
Fra Newtons 2. lov $F = ma$ får vi dermed

$$evB = \frac{mv^2}{r}$$

Dette gir baneradien

$$r = \frac{mv}{eB} = \frac{p}{eB}$$

c) Hvis farten til elektronene er nær lysfarten, viser det seg at baneradien blir *større* enn det vi ville forvente ved å bruke det klassiske uttrykket $p = mv$ for bevegelsesmengden til elektronene. Vi må derfor i stedet bruke det relativistiske uttrykket $p = \gamma mv$.

d) Et foton med bølgelengde λ har energien $E = hc/\lambda$. Fotonet har ingen masse, slik at $m = 0$. Formelen $E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$ forenkles derfor til $E = pc$. Dermed er bevegelsesmengden til fotonet

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

e) I klassisk fysikk er elektronet en punktpartikkel, omtrent som en liten kule. Slike kuler vil gå rett gjennom et gitter, og vi får derfor ikke noe interferensmønster. Interferensmønsteret vi observerer, kan forklares bare dersom elektronene beveger seg som *bølger* gjennom gitteret. Bølgene interfererer med hverandre, og gir et interferensmønster.

OPPGAVE 3

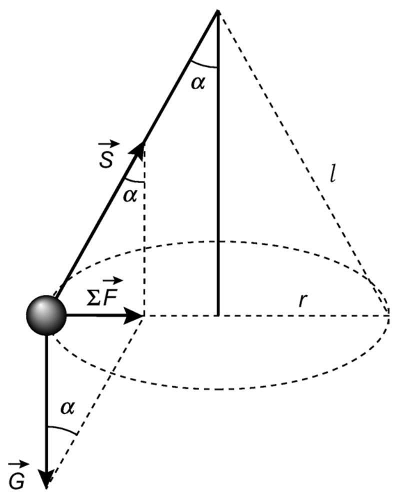
a) Kula er påvirket av to krefter: tyngden $\vec{G}$ og snorkraften $\vec{S}$. Kula beveger seg i en sirkel med konstant banefart. Derfor peker kraftsummen $\Sigma\vec{F} = \vec{G} + \vec{S}$ og akselerasjonen $\vec{a}$ <u>vannrett inn mot sentrum av sirkelen</u>. Av figuren ser vi at

$$\frac{\Sigma F}{G} = \tan\alpha$$

Fra Newtons 2. lov $\Sigma F = ma$ får vi dermed

$$\frac{ma}{mg} = \tan\alpha$$

Akselerasjonen til kula er derfor $\underline{a = g\tan\alpha}$.



b) Kula har sentripetalakselerasjonen

$$a = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

Av figuren i oppgave a ser vi at baneradien er $r = l\sin\alpha$. Med formelen $a = g\tan\alpha$ gir dette

$$\frac{4\pi^2 r}{T^2} = g\tan\alpha$$

$$T^2 = \frac{4\pi^2 r}{g\tan\alpha} = \frac{4\pi^2 l\sin\alpha}{g\sin\alpha/\cos\alpha} = \frac{4\pi^2 l\cos\alpha}{g}$$

Omløpstiden er dermed

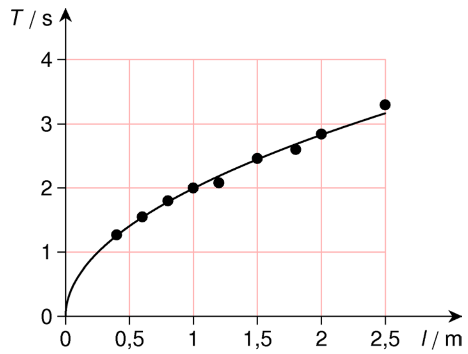
$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 l\cos\alpha}{g}} = \underline{2\pi\sqrt{\frac{l\cos\alpha}{g}}}$$

c) Pendelen bruker tiden t på 10 svingninger. Svingetiden T er derfor gitt ved $T = t/10$. Vi utvider tabellen med en rad for T.

l / m	0,400	0,600	0,800	1,000	1,200	1,500	1,800	2,000	2,500
t / s	12,7	15,5	18,0	20,0	20,8	24,6	26,0	28,4	33,0
T / s	1,27	1,55	1,80	2,00	2,08	2,46	2,60	2,84	3,30

Påstanden i fysikkboka sier at svingetiden skal være proporsjonal med kvadratroten av pendellengden. Det virker derfor fornuftig å prøve med potensregresjon på måledataene (dette ser også ut som et fornuftig valg hvis vi tegner punktene i et koordinatsystem). Sammenhengen mellom pendellengden l m og svingetiden T s blir da

$$T(l) = 1{,}99 \cdot l^{0{,}505}$$



Siden $\sqrt{l} = l^{0,5}$, betyr dette at vi med god tilnærming kan skrive

$$T(l) = 1{,}99\sqrt{l}$$

Når vinkelen α er liten, er $\cos\alpha \approx 1$. Rundetiden for en kjeglependel er da (oppgave b)

$$T \approx 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}} = \frac{2\pi}{\sqrt{9{,}81}} \cdot \sqrt{l} = 2{,}01\sqrt{l}$$

Påstanden fra fysikkboka ser altså ut til å stemme bra.

[Til lærerne: Slik oppgaven med figur er gitt, ser det ut som at påstanden fra fysikkboka bare er gyldig dersom vinkelen i planpendelen er lik vinkelen i kjeglependelen. Dette er ikke korrekt. Påstanden gjelder uansett, så lenge vinklene er små – de to vinklene kan godt være forskjellige. Dette fører likevel til at de fleste elever vil sette inn 10 grader i formelen for svingetid for kjeglependelen, når de skal sammenlikne dette uttrykket med regresjonsuttrykket de har funnet for planpendelen. Disse elevene vil da få $T = 1{,}99\sqrt{l}$. Begge besvarelser må regnes som fullverdige.

Opplysningen om at vinkelen er 10 grader i forsøket med planpendelen er unødvendig og til dels misvisende.]

d) Vi finner tyngdeakselerasjonen g fra formelen $T = 2\pi\sqrt{l/g}$:

$$T^2 = \frac{4\pi^2 l}{g}$$

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

Denne formelen bruker vi til å regne ut en verdi for g for hver måling:

l / m	0,400	0,600	0,800	1,000	1,200	1,500	1,800	2,000	2,500
T / s	1,27	1,55	1,80	2,00	2,08	2,46	2,60	2,84	3,30
g / (m/s^2)	9,791	9,859	9,748	9,870	10,95	9,785	10,51	9,789	9,063

Gjennomsnittet av målingene blir

$$\bar{g} = \frac{9{,}791 + 9{,}859 + 9{,}748 + 9{,}870 + 10{,}95 + 9{,}785 + 10{,}51 + 9{,}789 + 9{,}063}{9} \text{ m/s}^2$$

$$= 9{,}929 \text{ m/s}^2 \approx 9{,}9 \text{ m/s}^2$$

Vi kan regne usikkerheten som

$$\Delta g = \frac{g_{\text{maks}} - g_{\text{min}}}{2} = \frac{10{,}95 - 9{,}063}{2} \text{ m/s}^2 = 0{,}94 \text{ m/s}^2 \approx 0{,}9 \text{ m/s}^2$$

Tyngdeakselerasjonen er dermed

$$g = \bar{g} \pm \Delta g = \underline{(9{,}9 \pm 0{,}9) \text{ m/s}^2}$$

OPPGAVE 4

a) Gravitasjonskraften mellom jorda og Planck er gitt ved Newtons gravitasjonslov,

$$F_{\mathrm{J}} = \gamma \frac{M_{\mathrm{J}} m}{r_{\mathrm{J}}^2}$$

der $M_{\mathrm{J}} = 5{,}974 \cdot 10^{24}\ \mathrm{kg}$ er jordmassen, $m = 1921\ \mathrm{kg}$ er massen av Planck, og $r_{\mathrm{J}} = 1{,}50 \cdot 10^{9}\ \mathrm{m}$ er avstanden mellom Planck og jordsenteret. Vi setter inn og får

$$F_{\mathrm{J}} = \frac{6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 5{,}974 \cdot 10^{24} \cdot 1921}{\left(1{,}50 \cdot 10^{9}\right)^2}\ \mathrm{N} = 0{,}3402\ \mathrm{N} \approx \underline{0{,}340\ \mathrm{N}}$$

b) Det er to krefter som virker på Planck: gravitasjonskraften $\vec{F}_{\mathrm{J}}$ fra jorda og gravitasjonskraften $\vec{F}_{\mathrm{S}}$ fra sola. De to kreftene har samme retning, siden Planck ligger på forlengelseslinjen mellom jordsenteret og solsenteret. Avstanden mellom Planck og solsenteret er

$$r_{\mathrm{S}} = 1{,}496 \cdot 10^{11}\ \mathrm{m} + 1{,}50 \cdot 10^{9}\ \mathrm{m} = 1{,}511 \cdot 10^{11}\ \mathrm{m}$$

Gravitasjonskraften fra sola er

$$F_{\mathrm{S}} = \gamma \frac{M_{\mathrm{S}} m}{r_{\mathrm{S}}^2} = \frac{6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 1{,}99 \cdot 10^{30} \cdot 1921}{\left(1{,}511 \cdot 10^{11}\right)^2}\ \mathrm{N} = 11{,}17\ \mathrm{N}$$

Summen av kreftene blir dermed

$$\Sigma F = F_{\mathrm{J}} + F_{\mathrm{S}} = 0{,}3402\ \mathrm{N} + 11{,}17\ \mathrm{N} = 11{,}51\ \mathrm{N} \approx \underline{11{,}5\ \mathrm{N}}$$

Planck beveger seg i en sirkelbane med radius $r_{\mathrm{S}} = 1{,}511 \cdot 10^{11}\ \mathrm{m}$. Sentripetalakselerasjonen er $a = 4\pi^2 r_{\mathrm{S}} / T^2$. Fra Newtons 2. lov $\Sigma F = ma$ gir dette

$$\Sigma F = \frac{4\pi^2 r_{\mathrm{S}} m}{T^2}$$

$$T^2 = \frac{4\pi^2 r_{\mathrm{S}} m}{\Sigma F}$$

Vi finner omløpstiden:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r_{\mathrm{S}} m}{\Sigma F}} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{1{,}511 \cdot 10^{11} \cdot 1921}{11{,}51}}\ \mathrm{s} = 3{,}155 \cdot 10^{7}\ \mathrm{s} = \frac{3{,}155 \cdot 10^{7}\ \mathrm{s}}{3600 \cdot 24 \cdot 365\ \mathrm{s/år}} = 1{,}00\ \mathrm{år}$$

<u>Omløpstiden er omtrent ett år.</u>

c) Planck befinner seg i gravitasjonsfeltene fra både jorda og sola. Vi må derfor finne den kinetiske og den potensielle energien hver for seg. Banefarten til Planck er

$$v = \frac{2\pi r_S}{T} = \frac{2\pi \cdot 1{,}511 \cdot 10^{11}}{3{,}155 \cdot 10^{7}} \text{ m/s} = 3{,}009 \cdot 10^{4} \text{ m/s}$$

Den kinetiske energien er dermed

$$E_k = \tfrac{1}{2} m v^2 = \tfrac{1}{2} \cdot 1921 \cdot \left(3{,}009 \cdot 10^4\right)^2 \text{ J} = 8{,}696 \cdot 10^{11} \text{ J}$$

Den samlede potensielle energien finner vi ved å summere den potensielle energien i gravitasjonsfeltet fra jorda og gravitasjonsfeltet fra sola:

$$E_p = E_{p,J} + E_{p,S} = -\frac{\gamma M_J m}{r_J} - \frac{\gamma M_S m}{r_S} = -\gamma m \left(\frac{M_J}{r_J} + \frac{M_S}{r_S} \right)$$

$$= -6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 1921 \cdot \left(\frac{5{,}974 \cdot 10^{24}}{1{,}50 \cdot 10^{9}} + \frac{1{,}99 \cdot 10^{30}}{1{,}511 \cdot 10^{11}} \right) \text{ J} = -1{,}6880 \cdot 10^{12} \text{ J}$$

Den totale mekaniske energien er dermed

$$E = E_k + E_p = 8{,}696 \cdot 10^{11} \text{ J} - 1{,}6880 \cdot 10^{12} \text{ J} = -8{,}184 \cdot 10^{11} \text{ J} \approx \underline{-8{,}18 \cdot 10^{11} \text{ J}}$$

d) Når avstanden fra jorda og sola går mot uendelig, går den potensielle energien mot null. Hvis Planck så vidt skal unnslippe gravitasjonsfeltene, vil også farten og dermed den kinetiske energien gå mot null. Den totale mekaniske energien er altså $E_2 = 0$. Til å begynne med er den mekaniske energien $E = -8{,}18 \cdot 10^{11}$ J. Vi må derfor tilføre energien

$$\Delta E = E_2 - E = 0 - \left(-8{,}18 \cdot 10^{11} \text{ J}\right) = \underline{8{,}18 \cdot 10^{11} \text{ J}}$$

OPPGAVE 5

a) Den magnetiske fluksen gjennom ledersløyfen endrer seg når vogna beveger seg inn i magnetfeltet. Fra Faradays induksjonslov vet vi derfor at det blir indusert en elektromotorisk spenning i ledersløyfen.
Vi finner strømretningen fra Lenz' regel. Når vogna beveger seg inn i magnetfeltet, øker den magnetiske fluksen med retning inn i papirplanet. Inne i sløyfen vil derfor det induserte magnetfeltet peke ut av papirplanet. Fra høyrehåndsregelen for strømspoler er dermed strømretningen <u>mot urviseren</u>.

b) Den mekaniske energien til vogna er bevart før vogna kommer inn i magnetfeltet, siden normalkraften fra underlaget står vinkelrett på bevegelsesretningen og derfor ikke gjør noe arbeid på vogna.

$$\tfrac{1}{2} m v^2 + mgh = \tfrac{1}{2} m v_0^2 + mgh_0$$

Startfarten $v_0 = 0$ og slutthøyden $h = 0$:

$$\tfrac{1}{2} m v^2 = mgh_0$$

$$v = \sqrt{2gh_0} = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}20} \text{ m/s} = 1{,}98 \text{ m/s} \approx 2{,}0 \text{ m/s}$$

<u>Vogna har farten 2,0 m/s idet den kommer inn i magnetfeltet.</u>

Den vertikale delen forrerst på ledersløyfen beveger seg vinkelrett på magnetfeltet. Det blir indusert en elektromotorisk spenning i lederstykket, og det er denne spenningen som driver strømmen i ledersløyfen. Spenningen idet vogna kommer inn i magnetfeltet, er

$$\varepsilon = vBs = 1{,}98 \cdot 0{,}35 \cdot 0{,}20\ \text{V} = 0{,}1386\ \text{V}$$

Induksjonsstrømmen blir derfor

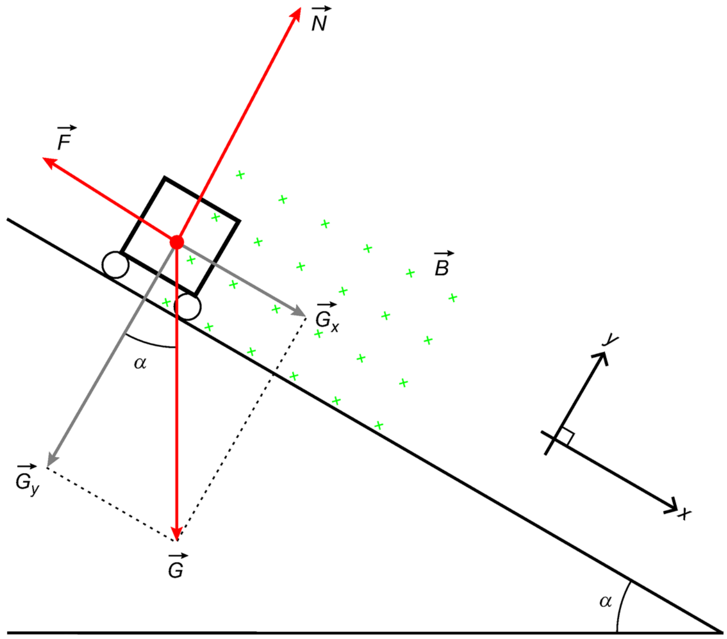
$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{0{,}1386}{0{,}10}\ \text{A} = 1{,}386\ \text{A} \approx \underline{1{,}4\ \text{A}}$$

c) I område II er vogna på vei inn i magnetfeltet, slik at det blir indusert en strøm i ledersløyfen. Vogna er da påvirket av tre krefter: tyngden $\vec{G}$, normalkraften $\vec{N}$ fra underlaget, og den magnetiske kraften $\vec{F}$. Den magnetiske kraften virker på det vertikale lederstykket forrerst på vogna, og har absoluttverdien

$$F = IsB$$

I oppgave b fant vi at strømmen gjennom ledersløyfen er $I = vBs/R$. Den magnetiske kraften er derfor gitt ved uttrykket

$$F = \frac{vBs}{R} \cdot sB = \frac{vs^2B^2}{R}$$



Vi dekomponerer tyngden i en x-komponent parallelt med skråplanet og en y-komponent normalt på skråplanet. Av figuren ser vi at

$$G_x = G\sin\alpha \quad \text{og} \quad G_y = G\cos\alpha$$

Når fartsgrafen er horisontal, betyr det at vogna beveger seg med konstant fart. Newtons 1. lov i x-retningen gir da

$$G_x = F$$

$$mg\sin\alpha = \frac{vs^2B^2}{R}$$

$$B^2 = \frac{Rmg\sin\alpha}{vs^2}$$

$$\underline{B = \sqrt{\frac{Rmg\sin\alpha}{vs^2}}}$$

Vogna er ikke påvirket av noen magnetiske krefter før den kommer inn i magnetfeltet. Farten v er derfor den samme som i oppgave b, altså $v = 1{,}98\ \text{m/s}$. Den magnetiske feltstyrken er dermed

$$B = \sqrt{\frac{0{,}10 \cdot 0{,}040 \cdot 9{,}81 \cdot \sin 30°}{1{,}98 \cdot 0{,}20^2}}\ \text{T} = 0{,}498\ \text{T} \approx \underline{0{,}50\ \text{T}}$$

d) I område I er hele ledersløyfen utenfor magnetfeltet. Da virker det ingen magnetiske krefter på vogna, og farten øker jevnt fra null til 2,0 m/s (oppgave b).

I område II er ledersløyfen på vei inn i magnetfeltet. Da induseres det en strøm i ledersløyfen, og det virker en magnetisk kraft bakover på vogna. Farten er da konstant (oppgave c).

I område III er hele ledersløyfen innenfor magnetfeltet. Fluksen gjennom sløyfen er da konstant, og det blir ikke indusert noen strøm. Dermed er det bare tyngden og normalkraften som virker på vogna, og akselerasjonen er derfor den samme som i område I.

I område IV er ledersløyfen på vei ut av magnetfeltet. Da avtar fluksen gjennom sløyfen, og det blir indusert en strøm. Strømretningen er motsatt av oppgave a, men induksjonsstrømmen motvirker hele tiden årsaken sin, så den magnetiske kraften peker også nå bakover. Farten er større enn i område II. Det betyr at induksjonsstrømmen blir større, og dermed blir også den magnetiske kraften større. Det virker altså en kraftsum bakover på vogna, slik at farten avtar. Etter hvert som farten avtar, minker induksjonsstrømmen og den magnetiske kraften. Fartsgrafen er derfor ikke rettlinjet i dette området.

I område V har hele ledersløyfen kommet ut av magnetfeltet. Da blir det ikke indusert noen strøm, og det virker ingen magnetiske krefter på vogna. Bevegelsen videre skjer med samme akselerasjon som i område I og område III.

Fartsgrafen har samme stigningstall i de tre områdene I, III og V, ettersom akselerasjonen er den samme.