

Løsningsforslag til eksamen i Fysikk 2 høsten 2012

OPPGAVE 1

	Svar	Kort forklaring til svaret
a)	D	Av formelen $W = F \cdot s$ for arbeid ser vi at $J = N \cdot m$, som betyr at $N = J/m$.
b)	C	Det elektriske feltet peker radielt utover fra den positive ladningen og radielt innover mot den negative ladningen. Det samlede feltet peker derfor nedover mot venstre. (Fra $E = k Q /r^2$ ser vi også at feltet fra den negative ladningen er dobbelt så sterkt som feltet fra den positive ladningen, som stemmer med retningen på C.)
c)	B	Den elektriske kraften på partikkelen er gitt ved $\vec{F} = Q\vec{E}$, og er derfor konstant og peker nedover i samme retning som $\vec{E}$ (siden Q er positiv). Partikkelen følger dermed en parabelbane.
d)	B	Fra Keplers andre lov vet vi at banefarten øker når avstanden til stjernen minker.
e)	A	Newtons gravitasjonslov: $F = \gamma m_1 m_2 / r^2$. Månen har mindre masse enn jorda. Derfor må vi nærmere månen for at gravitasjonskraften fra månen skal være like sterk som gravitasjonskraften fra jorda.
f)	A	Bruk Biot-Savarts lov $B = k_m I / r$ og høyrehåndsregelen for hver av strømlederne. Magnetfeltet fra den midterste og den nederste lederen kansellerer hverandre. Fra den øverste lederen får vi $B = k_m I / (\frac{3}{2}d) = 2k_m I / 3d$. Fra høyrehåndsregelen er retningen inn i papiret.
g)	D	Vi må anta at spolen er koblet til en lukket strømkrets for at det skal kunne gå en strøm gjennom spolen. Fluksen gjennom spolen varierer når magneten beveger seg. Da blir det indusert en strøm i spolen. Strømmen lager et magnetfelt som motvirker fluksendringen. Spolen får derfor nordpol øverst når magneten er over spolen, og nordpol nederst når magneten er under spolen. Dette bremses magneten, og den mekaniske energien er ikke bevart gjennom fallet. Når magneten er midt inni spolen blir det ikke indusert noen strøm.
h)	D	Det virker tre krefter på kula: tyngden (loddrett nedover), snorkraften (langs snoren) og kraften vi holder med (vannrett mot høyre). Siden kula er i ro, er summen av kreftene lik null (Newtons 1. lov).
i)	B	Vannrett kast: $y = \frac{1}{2}gt^2 \approx 5t^2$ (med positiv retning nedover, og y i meter og t i sekunder). $y = 125$ gir $t^2 = 25$ og $t = 5$.
j)	C	Det virker tre krefter på klossen: tyngden $\vec{G}$, normalkraften $\vec{N}$ og friksjonen $\vec{R}$. Vi dekomponerer tyngden i en komponent parallelt med skråplanet, $G_p = mg \sin \alpha$, og en komponent normalt på skråplanet, $G_n = mg \cos \alpha$. Newtons 1. lov normalt på skråplanet: $N = G_n$. Newtons 2. lov nedover skråplanet: $ma = G_p - R = G_p - \mu N = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha$

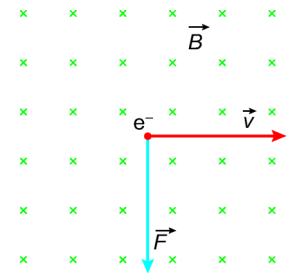
	Svar	Kort forklaring til svaret
k)	B	Klossen sklir et stykke oppover skråplanet, snur og sklir nedover igjen. På vei oppover virker både parallellkomponenten G_p av tyngden og friksjonen R nedover, altså mot bevegelsen. På vei nedover er farten negativ, mens R nå virker oppover. Akselerasjonen (i absoluttverdi) er derfor mindre på vei nedover. Se for øvrig oppgave j.
l)	A	Bruk høyrehåndsregelen $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ for en negativ ladning.
m)	B	Den mekaniske energien er bevart, siden snorkraften hele tiden står vinkelrett på bevegelsen. $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ med $h = \frac{1}{2}l$ gir $v^2 = gl$.
n)	C	Bevaring av bevegelsesmengde: $(M + m)v = M \cdot 0 + mu$ gir $u = \frac{M + m}{m}v$
o)	B	Bevaring av bevegelsesmengde: $mv_{0A} + m \cdot 0 = 2mu$ gir $u = \frac{1}{2}v_{0A}$
p)	D	Bevaring av bevegelsesmengde: $mv_{0A} + m \cdot 0 = mv_A + mv_B$ gir $v_A + v_B = v_{0A}$
q)	C	Lys som beveger seg <i>nedover</i> i et gravitasjonsfelt, blir <i>blåforskjøvet</i> . Altså blir frekvensen høyere og bølgelengden dermed kortere ($c = f\lambda$).
r)	A	Einsteins fotoelektriske formel: $hf = W + E_k$ gir $W = hf - E_k = hc/\lambda - E_k$
s)	D	
t)	C	Alfapartikkelen har fart v og protonet har fart $2v$. Protonet har massen m og alfapartikkelen har massen $4m$. $\lambda_p = \frac{h}{m \cdot 2v}$ og $\lambda_\alpha = \frac{h}{4m \cdot v}$ gir $\frac{\lambda_p}{\lambda_\alpha} = \frac{h/2mv}{h/4mv} = 2$.
u)	A	
v)	B	Kraften er proporsjonal med sammenpressingen ($F = kx$). En dobling av kraften gir derfor en dobling av sammenpressingen. Den potensielle energien er proporsjonal med kvadratet av sammenpressingen ($E_p = \frac{1}{2}kx^2$). En dobling av sammenpressingen tilsvarer derfor en firedobling av den potensielle energien.
w)	A	Fartsendringen er at (fra $v = v_0 + at$), med to gjeldende sifre.
x)	A	

OPPGAVE 2

- a) Elektronet har ladning $q = -e$. Absoluttverdien av den magnetiske kraften som virker på elektronet er dermed

$$F = |q|vB = e v B$$

Retningen finner vi fra høyrehåndsregelen for en negativ ladning. Når magnetfeltet har retning inn i papiplanet, får kraften retning nedover på figuren.



- b) Vi kan forklare at det går en strøm i kretsen på to forskjellige måter:
1. Når staven beveger seg mot høyre, øker fluksen gjennom ledersløyfen. Fra Faradays induksjonslov vet vi derfor at det blir induisert en spenning i ledersløyfen. Strømretningen finner vi fra Lenz' regel: Den induerte strømmen gir et magnetfelt med *motsatt* retning av det ytre feltet. Fra høyrehåndsregelen for strømsløyfer går derfor strømmen mot urviseren, altså oppover gjennom metallstaven.
 2. Ladningene i metallstaven beveger seg vinkelrett på et magnetfelt. De positive atomkjernene ligger fast og kan ikke bevege seg. Men de negative elektronene kan bevege seg. Som i oppgave a virker det en magnetisk kraft på elektronene med retning nedover. Elektronene går altså nedover gjennom metallstaven og *med* urviseren gjennom kretsen. Strømretningen for *positive* ladninger er derfor mot urviseren.

- c) Den induerte elektromotoriske spenningen i metallstaven er gitt ved

$$\mathcal{E} = vBl$$

Fra Ohms lov er derfor induksjonsstrømmen

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{vBl}{R}$$

Metallstaven blir påvirket av en magnetisk kraft $\vec{F}_m$ med retning mot venstre og absoluttverdi

$$F_m = IlB$$

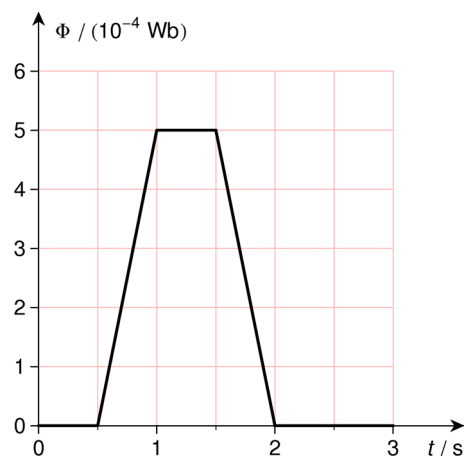
Vi må trekke med en like stor og motsatt rettet kraft dersom staven skal bevege seg med konstant fart. Kraften vi må bruke er derfor

$$F = \frac{vBl}{R} \cdot lB = \frac{B^2 l^2 v}{R}$$

- d) Når hele ledersløyfen er utenfor magnetfeltet, er fluksen gjennom sløyfen lik null. Når hele ledersløyfen er innenfor magnetfeltet, er fluksen gitt ved $\Phi_{\text{maks}} = BA$, der A er arealet av sløyfen,

$$\Phi_{\text{maks}} = 0,20 \cdot 0,050^2 \text{ Wb} = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

Fra høyre kant av sløyfen passerer B til venstre kant passerer B, øker fluksen jevnt fra null til Φ_{maks} . Dette tar 0,50 s siden farten er 10 cm/s. Tilsvarende avtar fluksen jevnt fra Φ_{maks} til null fra høyre kant passerer C til venstre kant passerer C.



- e) Fra Faradays induksjonslov er den elektromotoriske spenningen gitt ved

$$\varepsilon = -\Phi'(t)$$

Fra $t = 0,50$ s til $t = 1,0$ s øker fluksen med

$\Delta\Phi = 5,0 \cdot 10^{-4}$ Wb. Da er

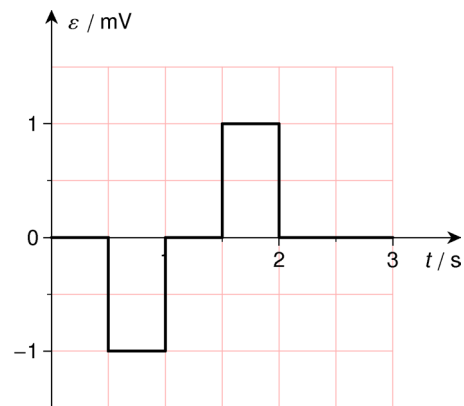
$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{5,0 \cdot 10^{-4}}{0,50} \text{ V}$$

$$= -1,0 \cdot 10^{-3} \text{ V} = -1,0 \text{ mV}$$

Fra $t = 1,5$ s til $t = 2,0$ s avtar fluksen med

$\Delta\Phi = -5,0 \cdot 10^{-4}$ Wb. Da er

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{-5,0 \cdot 10^{-4}}{0,50} \text{ V} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ V} = 1,0 \text{ mV}$$



OPPGAVE 3

- a) Uten luftmotstand vil bevegelsen være gitt av parameterframstillingen $x = v_{0x}t$ og

$y = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$. I x -retningen svarer dette til bevegelse med konstant fart. Da vil kula

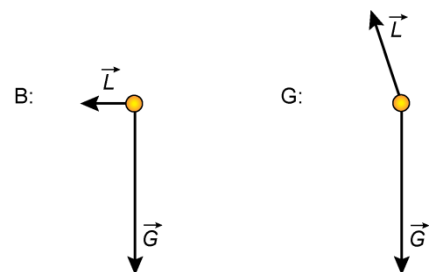
bevege seg like langt på like lange tider. Men av figuren og tabellen ser vi at kula beveger seg stadig kortere i x -retningen mellom hver måling. Dermed vet vi at kula er påvirket av luftmotstand.

- b) Punktet B er øverst i banen, som betyr at farten bare har en x -komponent her. Farten i x -retningen avtar på grunn av luftmotstanden. Farten er altså større i A enn i B, og større i B enn i C. Men vi kan få en brukbar verdi for momentanfarten i B ved å regne ut gjennomsnittsfarten mellom A og C. Kula beveger seg fra $x = 0,010$ m til $x = 0,41$ m på tiden 0,20 sekunder. Gjennomsnittsfarten er da

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0,41 - 0,010}{0,20} \text{ m/s} = 2,0 \text{ m/s}$$

Farten til kula i punktet B er ca. 2,0 m/s.

- c) Kula er påvirket av to krefter: tyngden $\vec{G}$ og luftmotstanden $\vec{L}$. Tyngden virker loddrett nedover og har samme verdi gjennom hele bevegelsen. Luftmotstanden virker i motsatt retning av bevegelsen, og er større desto høyere farten er. I punktet B virker altså luftmotstanden rett mot venstre, mens i punktet G virker luftmotstanden på skrå bakover med større absoluttverdi enn i punktet B.



- d) 1) Vi legger inn punktene på lommeregneren (eller et annet digitalt verktøy), og bruker kubisk regresjon for å finne den tredjegradsfunksjonen som passer best til punktene. Det gir

$$y = -0,782x^3 - 0,819x^2 + 0,562x + 0,944$$

- 2) Vi bruker tredjegradsfunksjonen fra oppgave d1 til å finne verdien av x der $y = -0,80$. Dette gjør vi grafisk på lommeregneren ved å regne ut skjæringspunktet mellom tredjegradsfunksjonen og linja $y = -0,80$. Det gir $x = 1,18$. Kula lander ca. 1,2 m fra utskytningspunktet målt langs gulvet.



- e) Vi regner med at punktet $A = (x_0, y_0) = (0,010, 0,95)$ er startposisjonen også for stålkula. Startfarten har komponentene $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$ og $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$, der $v_0 = 2,4$ m/s og $\alpha = 35^\circ$. Dette gir parameterframstillingen

$$x = x_0 + v_{0x}t \quad (1)$$

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (2)$$

Vi bruker likning (2) til å finne tiden når kula treffer gulvet der $y = -0,80$:

$$0,95 + 2,4 \cdot \sin 35^\circ \cdot t - \frac{1}{2} \cdot 9,81 \cdot t^2 = -0,80$$

$$-4,905t^2 + 1,3766t + 1,75 = 0$$

$$t = -0,4732 \quad \vee \quad t = 0,7539 \quad (\text{fra abc-formelen})$$

Den første løsningen er ufysisk. Vi setter den andre løsningen inn i likning (1):

$$x = 0,010 + 2,4 \cdot \cos 35^\circ \cdot 0,7539 = 1,49$$

Isoporkula traff gulvet i punktet $x = 1,18$.

$$1,49 \text{ m} - 1,18 \text{ m} = 0,31 \text{ m}$$

Stålkula og isoporkula lander ca. 31 cm fra hverandre.

OPPGAVE 4

- a) Vi ser bort fra startfarten kjelken får når menneskene løper i gang øverst i banen. Hvis vi ser bort fra luftmotstand og friksjon, vil den mekaniske energien til kjelken være bevart. Øverst er farten null, og høydeforskjellen er 114,3 meter. Vi finner farten nederst i banen:

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 114,3} \text{ m/s} = 47,36 \text{ m/s} = 170 \text{ km/t}$$

Den høyeste farten kjelken kan få er 170 km/t.

- b) Kjelken er påvirket av tre krefter: tyngden $\vec{G}$, normalkraften $\vec{N}$ og friksjonen $\vec{R}$. Vi dekomponerer tyngden i en x -komponent $G_x = mg \sin \alpha$ og en y -komponent $G_y = mg \cos \alpha$. Det er ingen bevegelse i y -retningen. Newtons 1. lov gir derfor

$$N = G_y = mg \cos \alpha$$

Friksjonen er gitt ved $R = \mu N = \mu mg \cos \alpha$.

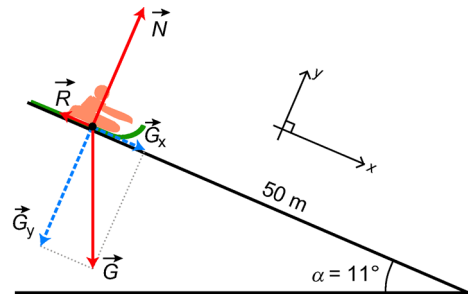
Newtons 2. lov $\Sigma F_x = ma$ i x -retningen gir

$$ma = G_x - R$$

$$ma = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha$$

Vi finner dermed kjelkens akselerasjon:

$$\begin{aligned} a &= g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \\ &= 9,81 \cdot (\sin 11^\circ - 0,011 \cdot \cos 11^\circ) \text{ m/s}^2 = 1,77 \text{ m/s}^2 \approx \underline{1,8 \text{ m/s}^2} \end{aligned}$$



- c) Vi bruker setningen om mekanisk energi: Endringen i kjelkens mekaniske energi er lik arbeidet utført av alle andre krefter enn tyngden,

$$\Delta E = W_A$$

Utenom tyngden er det bare friksjonen som gjør et arbeid på kjelken:

$$\begin{aligned} W_A = W_R &= -R \cdot s = -\mu mgs \cos \alpha \\ &= -0,011 \cdot 630 \cdot 9,81 \cdot 50 \cdot \cos 11^\circ \text{ J} = -3337 \text{ J} \approx -3,3 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Kjelken mister 3,3 kJ mekanisk energi.

- d) 1) Det er to krefter som virker på kjelken: tyngden $\vec{G}$ og normalkraften $\vec{N}$. Kraftsummen $\Sigma \vec{F} = \vec{G} + \vec{N}$ peker vannrett inn mot sentrum av sirkelbanen. Det betyr at

$$\frac{G}{N} = \cos \alpha$$

$$G = mg = 630 \cdot 9,81 \text{ N} = 6180 \text{ N} \approx \underline{6,2 \text{ kN}}$$

$$N = \frac{G}{\cos \alpha} = \frac{6180 \text{ N}}{\cos 73^\circ} = 21137 \text{ N} \approx \underline{21 \text{ kN}}$$

Vi ser at normalkraften er 3,4 ganger så stor som tyngden.

- 2) Fra Newtons 2. lov er

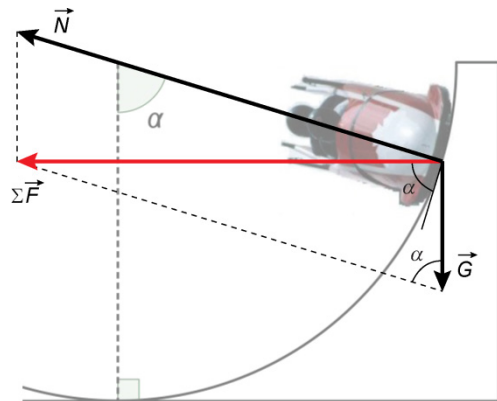
$$\Sigma F = ma = \frac{mv^2}{r}$$

Av figuren i oppgave d1 ser vi at

$$\tan \alpha = \frac{\Sigma F}{G} = \frac{mv^2/r}{mg} = \frac{v^2}{gr}$$

Vi finner kjelkens fart gjennom svingen:

$$v = \sqrt{gr \tan \alpha} = \sqrt{9,81 \cdot 20 \cdot \tan 73^\circ} \text{ m/s} = \underline{25 \text{ m/s}}$$



OPPGAVE 5

- a) Vi bruker setningen om kinetisk energi, $W_1 = \Delta E_k$, der $W_1 = eU_1$ er det elektriske arbeidet som blir utført på elektronet. Siden startfarten er lik null får vi

$$\frac{1}{2}mv^2 = eU_1$$

Vi finner farten til elektronet:

$$v = \sqrt{\frac{2eU_1}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \cdot 500}{9,11 \cdot 10^{-31}}} \text{ m/s} = 1,325 \cdot 10^7 \text{ m/s} \approx \underline{1,33 \cdot 10^7 \text{ m/s}}$$

- b) Igjen bruker vi setningen om kinetisk energi,

$$\Delta E_k = W_2 = eU_2$$

men nå er startfarten $v_0 = 1,325 \cdot 10^7 \text{ m/s}$. Vi får

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = eU_2$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 + eU_2$$

$$v^2 = v_0^2 + \frac{2eU_2}{m}$$

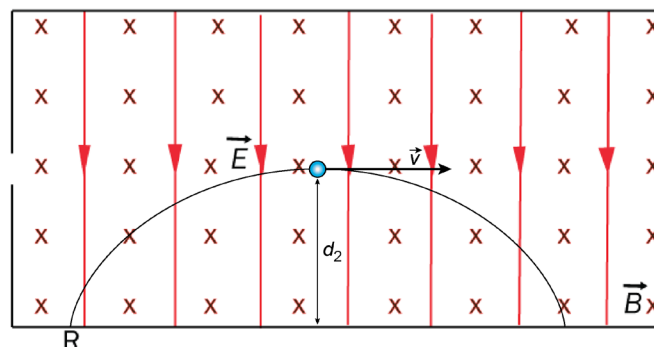
$$v = \sqrt{v_0^2 + \frac{2eU_2}{m}} = \sqrt{(1,325 \cdot 10^7)^2 + \frac{2 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \cdot 600}{9,11 \cdot 10^{-31}}} \text{ m/s} = \underline{1,97 \cdot 10^7 \text{ m/s}}$$

(Farten er nå 6,6 % av lysfarten, som er på grensen til at vi burde ha regnet relativistisk.)

- c) Elektronet er påvirket av en elektrisk kraft $\vec{F}_e = -e\vec{E}$ og en magnetisk kraft $\vec{F}_m = -e\vec{v} \times \vec{B}$. Siden elektronet beveger seg rett fram med konstant fart, er kreftene like store og motsatt rettet, $\vec{F}_e = -\vec{F}_m$. Dette gir $eE = evB$. Vi finner den magnetiske feltstyrken:

$$B = \frac{E}{v} = \frac{2,18 \cdot 10^5}{1,97 \cdot 10^7} \text{ T} = 1,107 \cdot 10^{-2} \text{ T} \approx \underline{11,1 \text{ mT}}$$

- d) Den magnetiske kraften på elektronet, $\vec{F}_m = -e\vec{v} \times \vec{B}$, er proporsjonal med farten. Når elektronet starter i ro ved R er derfor den magnetiske kraften lik null. Elektronet er da kun påvirket av den elektriske kraften $\vec{F}_e = -e\vec{E}$ (som er uavhengig av farten). Elektronet får en akselerasjon vertikalt oppover. Etter hvert som farten øker, øker også den magnetiske kraften. Siden den magnetiske kraften står vinkelrett på farten, vil banen hele tiden bli stadig mer avbøyd mot høyre, som vist på figuren. Før eller senere må derfor fartsretningen bli horisontal.



Vi bruker setningen om kinetisk energi til å finne farten til elektronet,

$$W_{\Sigma F} = \Delta E_k$$

Den magnetiske kraften står hele tiden vinkelrett på fartsretningen, og gjør derfor ikke noe arbeid på elektronet. Det er kun den elektriske kraften som gjør et arbeid,

$$W_{\Sigma F} = W_e = eEd_2$$

Her er $d_2 = 2,00$ cm avstanden vertikalt som elektronet har beveget seg gjennom det elektriske feltet (se figuren over). Siden startfarten er lik null, får vi

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}mv^2 &= eEd_2 \\ v &= \sqrt{\frac{2eEd_2}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \cdot 2,18 \cdot 10^5 \cdot 2,00 \cdot 10^{-2}}{9,11 \cdot 10^{-31}}} \text{ m/s} \\ &= 3,913 \cdot 10^7 \text{ m/s} \approx \underline{3,91 \cdot 10^7 \text{ m/s}} \end{aligned}$$

- e) Farten til elektronet er nå ca. dobbelt så stor som farten til elektronene i oppgave c. Den magnetiske kraften på elektronet er derfor ca. dobbelt så stor som den elektriske kraften. Elektronet blir derfor avbøyd nedover, og fortsetter helt ned til den nederste platen som vist i figuren i oppgave d. Nær toppunktet er banen tilnærmet sirkelformet. Vi kan finne radien i sirkelbanen ved å bruke formelen for sentripetalakselerasjon,

$$a = \frac{v^2}{r}$$

Først må vi finne akselerasjonen. Den magnetiske kraften $\vec{F}_m$ virker rett nedover, mens den elektriske kraften $\vec{F}_e$ virker rett oppover, som vist på figuren. Vi velger positiv retning nedover. Newtons 2. lov $\Sigma F = ma$ gir da

$$\begin{aligned} \Sigma F &= F_m - F_e \\ ma &= evB - eE \\ a &= \frac{evB - eE}{m} = \frac{e(vB - E)}{m} \\ &= \frac{1,60 \cdot 10^{-19} \cdot (3,913 \cdot 10^7 \cdot 1,107 \cdot 10^{-2} - 2,18 \cdot 10^5)}{9,11 \cdot 10^{-31}} \text{ m/s}^2 = 3,779 \cdot 10^{16} \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Dermed finner vi radien i sirkelbanen:

$$r = \frac{v^2}{a} = \frac{(3,913 \cdot 10^7)^2}{3,779 \cdot 10^{16}} \text{ m} = 4,05 \cdot 10^{-2} \text{ m} = \underline{4,05 \text{ cm}}$$

