Løsningsforslag til skriftlig eksamen i fysikk 2 REA3039, høsten 2023

Oppgave 1

a Riktig svar: C

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta v}{v} = 2\ \% + 2\ \% + 2\ \% = 6\ \%$$

b Riktig svar: C

Tiden bestemmes av y-komponenten til startfarten. Når vinkelen blir større, blir y-komponenten større, og det vil ta lengre tid før kula treffer bakken.

c Riktig svar: C

Et kast rett utover, vil ikke påvirke ballens fart langs den opprinnelige fartsretningen.

d Riktig svar: B

Bilen har konstant fart siden den har en motor, mens ballens fart vil bremses på grunn av luftmotstanden. Den vil derfor ikke bevege seg like langt som bilen på samme tid.

e Riktig svar: A

På vei opp, vil både tyngdekraften og friksjonen bremse klossen. På vei ned, vil tyngdekraften øke farten til klossen, mens friksjonen vil bremse den. Absoluttverdien av Akselerasjonen vil derfor være størst før klossen snur, og fartsgrafen må da være brattest før klossen når toppunktet.

f Riktig svar: B

Siden banen er sirkelformet og banefarten ikke endrer seg, følger det av teori om sentripetalakselerasjon at kraftsummen må peke rett inn mot sentrum av sirkelbanen.

g Riktig svar: B

Punkt 1: Hele tyngdekraften bidrar til sentripetalakselerasjonen.
Punkt 2: Deler av tyngdekraften bidrar til sentripetalakselerasjonen.
Punkt 3: Tyngdekraften virker rett ut fra sentrum, og normalkraften må veie opp for dette
Punkt 4: Normalkraften alene gir sentripetalakselerasjon.

h Riktig svar: A

Vi ser direkte fra formelen at dette må være gravitasjonsfeltstyrke.

i Riktig svar: B

$$\Sigma F = G - N = G - \frac{G}{2} = \frac{G}{2} = \frac{\frac{\gamma Mm}{R^2}}{2} = \frac{\gamma Mm}{2R^2}$$

j Riktig svar: B

Vi ser at linja må regne ut en akselerasjon. Vi antar at partikkel A bare påvirkes av den elektriske kraften fra partikkel B, slik at $\Sigma F = F_{\text{el}} = \frac{kQq}{r^2}$. Da er $a = \frac{\Sigma F}{m} = \frac{\frac{kQq}{r^2}}{m} = \frac{kQq}{mr^2}$.

k Riktig svar: C

Fra banen ser vi at det må virke en kraft rett oppover, mot det elektriske feltet, og partikkelen må derfor være negativt ladd. Den elektriske kraften vil ha en komponent med fartsretningen, og vil øke farten til partikkelen.

l Riktig svar: D

Den elektriske kraften på elektronet peker mot høyre (mot det elektriske feltet). Det elektriske feltet gjør derfor et positivt arbeid på elektronet om det beveger seg fra R til S, eller et negativ om det beveger seg fra S til R. Den kinetiske energien er derfor mindre ved R enn ved S, og farten må være minst ved R.

m Riktig svar: D

I det partikkel A kommer inn i magnetfeltet, må kraften peke rett oppover for å avbøye partikkelen. Høyrehåndsregelen for kraft på elektrisk ladning i magnetfelt forteller at partikkel A derfor må være negativ (alternativ C eller D).

$\Sigma F = ma \quad \Rightarrow \quad qvB = \frac{mv^2}{r} \quad \Rightarrow \quad m = \frac{qBr}{v^2}$. Når radius blir større, vil massen bli større, gitt at q, v og B er like store i de to tilfellene.

n Riktig svar: C

Alle punktene ligger like langt fra begge lederne, så vi trenger bare å se på retningen på de to feltene i hvert tilfelle. Fra høyrehåndsregelen for magnetfeltet rundt en leder, ser vi at feltene peker hver sin vei ved punkt 2 og 4. Ved punkt 1 peker feltet fra begge lederne inn i papirplanet, og ved punkt 3 peker feltet fra begge lederne ut av papirplanet. I disse to tilfellene kan det samlede feltet ikke være lik null.

o Riktig svar: B

Situasjon 1: Fluksen minker, så det induserte magnetfeltet vil peke i samme retning som det opprinnelige feltet, altså inn i papirplanet. Høyrehåndsregel forteller oss at strømretningen går med klokka.

Situasjon 2: Fluksen øker, så det induserte magnetfeltet vil peke i motsatt retning av det opprinnelige feltet, altså ut av papirplanet. Høyrehåndsregel forteller oss at strømretningen går mot klokka.

Situasjon 3: Fluksen minker, så det induserte magnetfeltet vil peke i samme retning som det opprinnelige feltet, altså inn i papirplanet. Høyrehåndsregel forteller oss at strømretningen går med klokka.

p Riktig svar: D

Lengde målt av observatører i ro relativt til det som blir målt (hvilelengde), vil alltid være lengre enn samme lengde målt av en observatør som beveger seg relativt til det som blir målt.

q Riktig svar: B

Vi ser at funksjonen f har formen $f = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - mc^2 = \gamma mc^2 - mc^2 = (\gamma - 1)mc^2$.

Dette kjenner vi igjen som formelen for relativistisk kinetisk energi.

r Riktig svar: C

Når spenningen øker, vil energien og bevegelsesmengden til ionet øke. Vi ser fra formelen $p = \frac{h}{\lambda} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{h}{p}$ at en større bevegelsesmengde betyr en kortere bølgelengde. Dette stemmer også overens om det vi vet om bølger, at større energi tilsvarer kortere bølgelengde.

s Riktig svar: B

Påstand 1: Vi ser fra grafen at partikkel B har en mer veldefinert posisjon enn partikkel A. Påstanden er derfor riktig.

Påstand 2: Vi ser fra grafen at partikkel B har en nokså veldefinert posisjon, så uskerpheten i posisjon er ikke uendelig. Det følger da av Heisenbergs uskarphetsrelasjon at uskarpheten i bevegelsesmengden ikke kan være lik null. Påstanden er derfor feil.

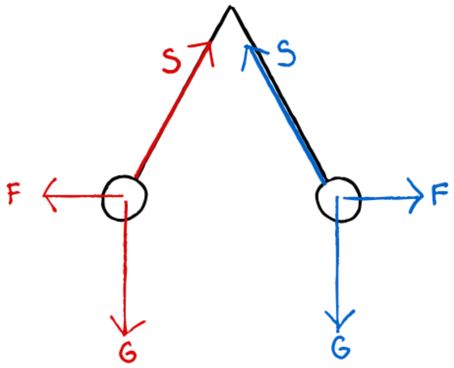
t Riktig svar: D

I boka Ergo Fysikk 2 oppsummeres tunnelering slik: «Et kvanteobjekt som i utgangspunktet ikke har nok energi til å passere en hindring, har likevel en viss sannsynlighet for å klare det, gitt av bølgefunksjonen. Tunnelering kan forklares kun ut fra kvantefysikk» (s. 400).

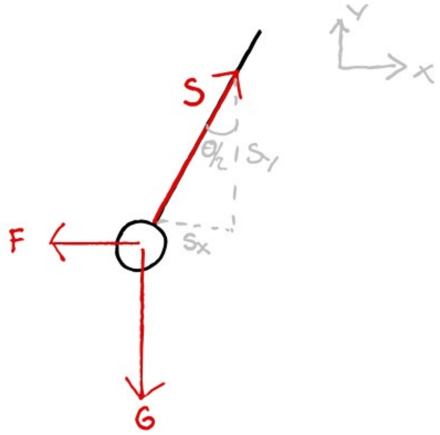
Oppgave 2

a

1 På hver kloss virker det en tyngdekraft, G, en snorkraft, S, og en elektrisk kraft, F.



2 Vi velger å se på kreftene som virker på den venstre kula. Vi dekomponerer snorkraften i en vannrett x-retning og loddrett y-retning.



Siden kula henger i ro, må kraftsummen i både x- og y-retning være lik null, slik at

$$S_x = F = \frac{kQ^2}{r^2} \qquad \text{og} \qquad S_y = G = mg$$

Fra figuren over ser vi at: $$\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{S_x}{S_y} = \frac{\frac{kQ^2}{r^2}}{mg} = \frac{kQ^2}{mgr^2}$$

Når vi løser for ladningen, får vi: $$\frac{kQ^2}{mgr^2} = \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad \Rightarrow \quad Q = \sqrt{\frac{mgr^2}{k} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)}.$$

b

1 Siden hendelsen skjer på jorda, er det Bror som måler hviletiden t_0, mens Albert måler tiden t. Spesiell relativitetsteori forteller oss:

$$t = \gamma t_0 \quad \Rightarrow \quad t_0 = \frac{t}{\gamma} = \frac{1{,}0\ \mu\text{s}}{2{,}0} = \underline{\underline{0{,}50\ \mu\text{s}}}$$

2 Generell relativitetsteori forteller oss at tiden går saktere i et gravitasjonsfelt enn utenfor gravitasjonsfeltet. Hvis romskipet er langt unna jorda, vil det være i et langt svakere gravitasjonsfelt. Hvis Albert måler tiden 1,0 μs langt unna jorda, vil Bror måle enda kortere tid enn 0,50 μs. Effekten fra den spesielle relativitetsteorien (oppg. a) vil fremdeles være gjeldende, men tiden vil løpe enda fortere for Albert sammenliknet med for Bror.

c For å observere fenomenet fotoelektrisk effekt, sender vi lys med en bestemt frekvens mot en metallplate. Hvis frekvensen til lyset er høy nok, vil det slås løs elektroner fra metallplata. Hvis frekvensen ikke er høy nok, vil det ikke slås løs elektroner selv om vi øker intensiteten på lyset. Hvis fotoelektriske effekt kunne forklares ved hjelp av klassisk fysikk, burde det være nok å øke energien til lysbølgene gjennom å øke intensiteten (amplituden) til lyset for at det skulle kunne bli slått løs elektroner.
Når vi øker frekvensen til lyset, øker vi ifølge kvantefysikken energien til hvert enkelt foton/lyskvant. Et elektron blir slått løs av et bestemt lyskvant for

d Vi kobler metallskinnene til spenningskilden, og lukker kretsen med lederstaven slik at det begynner å gå en strøm. Vi holder så magnetene over lederstaven slik at vi får et magnetfelt i det området der lederstaven er. Nå vil lederstaven begynne å bevege seg langs skinnene. Retningen lederstaven beveger seg vil variere med strømretning og regningen på magnetfeltet.

Oppgave 3

a Vi tar utgangspunkt i Newtons 2. lov, bruker at kraftsummen er lik tyngdekraften fra jorda, og setter inn uttrykket for sentripetalakselerasjon. Vi løser deretter for farten:

$$\Sigma F = ma \quad \Rightarrow \quad \gamma \frac{Mm}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \quad \Rightarrow \quad v^2 = \gamma \frac{M}{r} \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\gamma \frac{M}{r}}$$

Når vi setter inn tall, får vi:

$$v = \sqrt{6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \text{Nm}^2/\text{kg}^2 \cdot \frac{5{,}974 \cdot 10^{24}\ \text{kg}}{12 \cdot 10^6\ \text{m}}} = 5{,}76 \cdot 10^3\ \text{m/s} = \underline{\underline{5{,}76\ \text{km/s}}}$$

b Satellitten er bare påvirket av tyngdekraften, så den mekaniske energien er bevart. Siden den potensielle energien er størst når avstanden er størst, vil den kinetiske energien, og dermed farten, være minst når avstanden er størst. Vi lar punktet der satellitten er 12 000 km fra sentrum av jorda være punkt 1, og punktet der satellitten er 26 000 km fra sentrum av jorda være punkt 2. Siden den mekaniske energien er bevart, har vi:

$$E_2 = E_1 \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{2}mv_2^2 - \gamma \frac{Mm}{r_2} = \frac{1}{2}mv_1^2 - \gamma \frac{Mm}{r_1} \quad \Rightarrow \quad v_2 = \sqrt{v_1^2 - 2\gamma \frac{M}{r_1} + 2\gamma \frac{M}{r_2}}$$

Vi rydder opp i uttrykket og setter inn tall, og får da:

$$\begin{aligned} v_2 &= \sqrt{v_1^2 + 2\gamma M \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)} \\ &= \sqrt{\left(6{,}74 \cdot 10^3\ \text{m/s}\right)^2 + 2 \cdot 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \text{Nm}^2/\text{kg}^2 \cdot 5{,}974 \cdot 10^{24}\ \text{kg} \left(\frac{1}{26 \cdot 10^6\ \text{m}} - \frac{1}{12 \cdot 10^6\ \text{m}} \right)} \\ &= 3{,}11 \cdot 10^3\ \text{m/s} = \underline{\underline{3{,}11\ \text{km/s}}} \end{aligned}$$

c Nå er $v_1 = 0$ og $r_1 = 26 \cdot 10^6\ \text{m}$. Avstanden $r_2 = 6371 \cdot 10^3\ \text{m}$ er jordas middelradius, og vi ønsker å finne v_2. Vi kan bruke det samme uttrykket som vi fant i oppgave b:

$$\begin{aligned} v_2 &= \sqrt{v_1^2 + 2\gamma M \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)} \\ &= \sqrt{\left(0\ \text{m/s}\right)^2 + 2 \cdot 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \text{Nm}^2/\text{kg}^2 \cdot 5{,}974 \cdot 10^{24}\ \text{kg} \left(\frac{1}{6371 \cdot 10^3\ \text{m}} - \frac{1}{26 \cdot 10^6\ \text{m}} \right)} \\ &= 9{,}72 \cdot 10^3\ \text{m/s} = \underline{\underline{9{,}72\ \text{km/s}}} \end{aligned}$$

d Hvis vi regner kraften $G = \gamma \frac{Mm}{r^2}$ for konstant et kort tidsrom *dt*, ser vi at uttrykket (gamma*M/r**2) tilsvarer en akselerasjon $a = \frac{G}{m} = \gamma \frac{M}{r^2}$ som er konstant i samme tidsrom. Da er kriteriet for bruk av bevegelseslikningene oppfylt. Vi ser at uttrykket på linje 9 da er det samme som fartsformelen $v = v_0 + at$.

På linje 10 regner programmet ut den nye avstanden fra jordas sentrum, etter at satellitten har falt med konstant fart v over en tid *dt*. På samme måte som over, vil tilnærmingen være god dersom *dt* er svært liten.

e Vi legger inn en linje som setter starttiden lik 0 (linje 6 i programmet under), og oppdaterer tiden med *dt* hver gang løkka kjører (linje 12). Til slutt skriver vi ut sluttiden (linje 13).

```
1  gamma = 6.67e-11
2  M = 5.974e24
3  R = 6371e3
4  r = 26000e3
5  v = 0
6  t = 0
7  dt = 0.1
8
9  while r > R:
10     v = v + (gamma*M/r**2)*dt
11     r = r - v*dt
12     t = t + dt
13 print(t)
```

Når programmet kjører, skriver det ut at det tar 6965 sekunder før satellitten treffer bakken. Dette er det samme som 116 minutter, eller 1 time og 56 minutter.

Oppgave 4

a I formelen ser vi at vindfarten v står opphøyd i tredje potens, og derfor vil ha mye å si for hvilken effekt turbinen kan hente ut. Vindfarten er viktig både fordi den kinetiske energien til en gitt masse vil være avhengig av farten i andre potens. I tillegg vil mengden vind som blåser forbi vindturbinen være proporsjonal med farten til vinden. Større fart vil derfor gi større masse *og* gi større energi per masse.

b Vi snur om på formelen, og får $P_{\text{maks}} = 0{,}45 \cdot \frac{1}{2}\rho\pi r^2 v^3 \quad \Rightarrow \quad v = \left(\frac{2P_{\text{maks}}}{0{,}45\rho\pi r^2}\right)^{\frac{1}{3}}$. Når vi setter inn tall, blir dette $v = \left(\frac{2P_{\text{maks}}}{0{,}45\rho\pi r^2}\right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{2 \cdot 3{,}45 \cdot 10^6\ \text{W}}{0{,}45 \cdot 1{,}22\ \text{kg/m}^3 \cdot \pi \cdot (68{,}0\ \text{m})^2}\right)^{\frac{1}{3}} = 9{,}5288\ \text{m/s} = \underline{\underline{9{,}53\ \text{m/s}}}$

c

1 Farten til rotortuppene er lik strekning delt på tid: $v_{\text{r}} = \frac{2\pi r}{t}$.

Én runde tar da tiden $T = \frac{2\pi r}{v_{\text{r}}} = \frac{2\pi \cdot 68{,}0\ \text{m}}{70{,}0\ \text{m/s}} = 6{,}1037\ \text{s}$.

Vi vet at effekt er arbeid per tid. På én runde utvinnes da energien:
$W = Pt = 3{,}45 \cdot 10^6\ \text{W} \cdot 6{,}1037\ \text{s} = 2{,}1058 \cdot 10^7\ \text{J} = \underline{\underline{21{,}1\ \text{MJ}}}$

2 Vi regner om fra kWh til Joule: $1\ \text{kWh} = 10^3 \cdot \text{W} \cdot 3600\ \text{s} = 3{,}6 \cdot 10^6\ \text{J}$

Prisen er da: $2{,}00\ \text{kr} \cdot \frac{2{,}1058 \cdot 10^7\ \text{J}}{3{,}6 \cdot 10^6\ \text{J/kWh}} = \underline{\underline{11{,}7\ \text{kr}}}$

Verdien på energien fra én runde er omtrent 11 kroner og 70 øre.

d Hvis all den kinetiske energien skulle blitt omformet til elektrisk energi, ville vinden mistet all sin fart. Vi ville fått en opphopning av luft i turbinen, og det ville bli vindstille akkurat ved turbinen.

f Den induserte spenningen er lik den tidsderiverte av fluksen:

$$\varepsilon(t) = \Phi'(t) = 3{,}2 \cdot \left(-\sin(100\pi t)\right) \cdot 100\pi = -320\pi \sin(100\pi t)$$

Maksimalverdien av den induserte spenningen er da: $\varepsilon_{\text{maks}} = 320\pi\ \text{V}$, og effektivverdien er

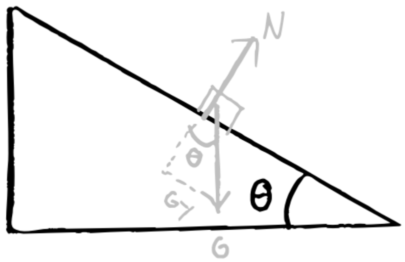
$$\varepsilon_{\text{e}} = \frac{\varepsilon_{\text{maks}}}{\sqrt{2}} = \frac{320\pi\ \text{V}}{\sqrt{2}} = 711\ \text{V} = \underline{\underline{0{,}71\ \text{kV}}}$$

Siden spenningen øker, er det sekundærsiden som har flest vindinger.
Forholdet mellom antall vindinger på sekundær- og primærsiden er

$$\frac{N_{\text{s}}}{N_{\text{p}}} = \frac{U_{\text{s}}}{U_{\text{p}}} = \frac{132\ \text{kV}}{0{,}71\ \text{kV}} = \underline{\underline{186}}$$

Oppgave 5

a Vi tegner skråplanet sett fra siden, og tegner kreftene (tyngdekraft og normalkraft) som virker på klossen. Det virker ingen krefter i *x*-retning.



Summen av kreftene vil være lik tyngdekraften i *y*-retning som vist på figuren. Vi har da

$\Sigma F = G_y = mg\sin 30^\circ = \frac{mg}{2}$. Akselerasjonen er da $a = \frac{\Sigma F}{m} = \frac{\frac{mg}{2}}{m} = \frac{g}{2}$, som var det vi skulle vise.

b Vi ser nå på bevegelse i y-retning. Vi vet at $v_{0y} = v_0 \cos\alpha$ og $a_y = a = \frac{g}{2}$. Vi bruker at

$y = v_{0y}t - \frac{1}{2}a_y t^2$ og ønsker å finne tiden når $y = 0$.

Vi har da: $y = v_{0y}t - \frac{1}{2}a_y t^2 = \left(v_{0y} - \frac{1}{2}a_y t\right)\cdot t = 0$.

Siden vi ønsker sluttiden, setter vi uttrykket i parentes lik null. Når vi setter inn akselerasjonen fra a, får vi:

$$v_{0y} - \frac{1}{2}a_y t = v_0 \cdot \sin\alpha - \frac{1}{2}\cdot\frac{g}{2}\cdot t = v_0 \cdot \sin\alpha - \frac{g}{4}\cdot t = 0$$

Vi løser for tiden og setter inn tall, og får:

$$t = \frac{2v_{0y}}{a_y} = \frac{2v_0 \cdot \sin\alpha}{g/2} = \frac{4v_0 \cdot \sin\alpha}{g} = \frac{4\cdot 1{,}5\ \text{m/s}\cdot \sin 45^\circ}{9{,}81\text{m/s}^2} = 0{,}4325\ \text{s} = \underline{\underline{0{,}43\ \text{s}}}$$

c Vi finner ut hvor langt klossen har beveget seg i x-retning i løpet av 0,43 s. Siden det ikke er akselerasjon i x-retning er farten konstant, og vi kan bruke:

$$x = v_{0x}t = v_0 \cdot \cos\alpha \cdot t = 1{,}5\ \text{m/s}\cdot \sin 45^\circ \cdot 0{,}43\ \text{s} = \underline{\underline{0{,}46\ \text{m}}}$$

Klossen er 46 cm fra startpunktet når den kommer ned fra skråplanet.

d I oppgave c så vi at sammenhengen mellom posisjon langs x-aksen og tiden er $x = v_0 \cdot \cos\alpha \cdot t$.

Vi løser formelen for tid og får $t = \frac{x}{v_0 \cdot \cos\alpha}$.

Vi erstatter tiden i formelen for y-retning med dette, og får:

$$y = v_{0y}\cdot\left(\frac{x}{v_0 \cdot \cos\alpha}\right) - \frac{1}{2}a_y \cdot \left(\frac{x}{v_0 \cdot \cos\alpha}\right)^2$$

Vi bruker nå at $v_{0y} = v_0 \cdot \sin\alpha$ og $a_y = \frac{g}{2}$. Formelen over blir da:

$$y = v_0 \cdot \sin\alpha \cdot \left(\frac{x}{v_0 \cdot \cos\alpha}\right) - \frac{1}{2}\cdot\frac{g}{2}\cdot\left(\frac{x}{v_0 \cdot \cos\alpha}\right)^2 = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}\cdot x - \frac{gx^2}{4v_0^2 \cdot \cos^2\alpha}$$

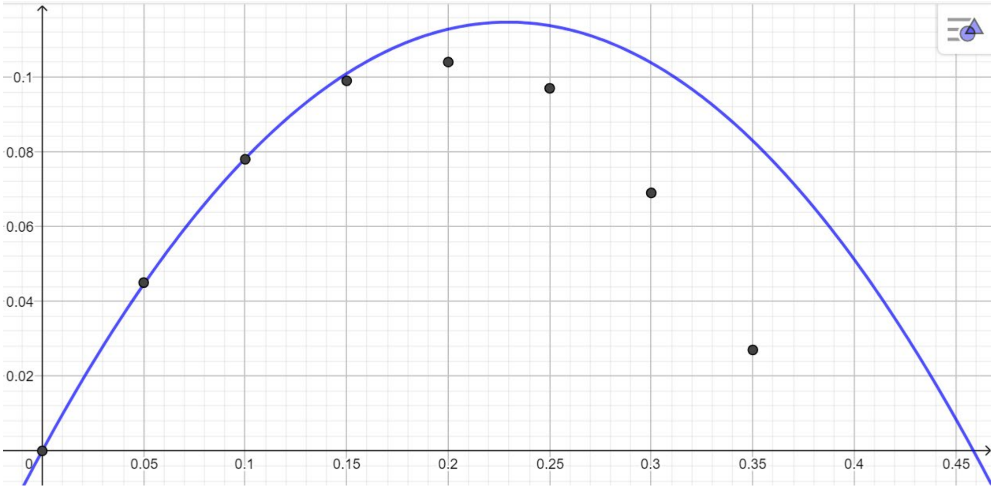
I vårt spesialtilfelle er $\alpha = 45^\circ$. Da er $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}}$. Når vi bruker dette får vi:

$$y = \frac{\frac{1}{\sqrt{2}}}{\frac{1}{\sqrt{2}}} \cdot x - \frac{gx^2}{4v_0^2 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2} = x - \frac{gx^2}{4v_0^2 \cdot \frac{1}{2}} = x - \frac{gx^2}{2v_0^2}$$, som var det vi skulle vise.

e Vi velger å løse oppgaven ved å tegne punktene i et koordinatsystem, og sammenlikne med grafen til funksjonen $f(x) = x - 2{,}18x^2$, der vi har kommet fram til tallet 2,18 ved å bruke at

$$\frac{g}{2v_0^2} = \frac{9{,}81}{2 \cdot 1{,}5^2} = 2{,}18 .$$

Når vi tegner punktene og grafen sammen, får vi dette:



Vi ser at grafen bare passer godt for de første to eller tre punktene, deretter gir funksjonen en for høy verdi.

f Vi ser at klossen kommer høyere opp på skråplanet enn forventet (punktene ligger over grafen). Det ser ut til at klossen bremses mindre enn Ole forventer, så det virker rimelig å anta at han har antatt et for høyt friksjonstall.