

OPPGAVESAMLING FOR FINALEUKEN I FYSIKK-OL

Utvalgte øvingsoppgaver til finalerunden

Redigert av Thomas Frågåt



UiO : **Fysisk institutt**
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet



Norsk fysikklærerforener
Norsk Fysisk Selskaps faggruppe for und



Innholdsfortegnelse

Introduksjon	3
Mekanikk	4
Elektromagnetisme	16
Termofysikk	24
Noen utvalgte internasjonale finaleoppgaver	28



Introduksjon

Dette heftet er satt sammen av alle tidligere oppgaver gitt i den norske finalen av fysikk-olympiaden i perioden 2004-2016. I tillegg har vi plukket ut noen oppgaver vi synes er spesielt gode fra den internasjonale finalen. I tillegg til dette heftet, finnes det et hefte med løsningsforslag.

Intensjonen er at oppgavene skal fungere som et øvingshefte under den norske finaleuken, men også som forberedelse til den internasjonale finalen.

Mer informasjon om fysikk-ol finnes her:

<http://www.mn.uio.no/fysikk/forskning/grupper/skolelab/fysikk-ol/>



Mekanikk

Oppgave 1 (finale 2016)

En partikkel (A) med massen m kolliderer rett mot en annen partikkel (B) med massen M i en elastisk kollisjon. Partikkel B er i ro før støtet.

For hvilken verdi av M mister partikkel A mest kinetiske energi?

Oppgave 2 (finale 2016)

En masseløs stang kan svinge fritt som en pendel. På stangen er det festet to små kuler, en med massen m i avstanden l fra opphengningspunktet, og en med massen $2m$ i avstanden $4l$ fra opphengningspunktet. Hele stangen har lengden $4l$. Stangen holdes vannrett og slippes.

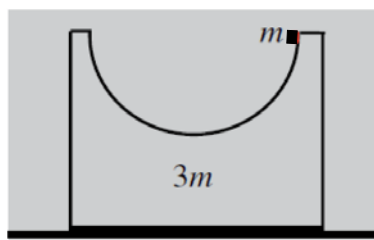
Bestem farten til massesenteret idet stangen med kulene passerer loddrett posisjon, og bestem spinnnet.

Oppgave 3 (finale 2016)

I en sving er veien ofte dosert, det vil si at veibanen danner en vinkel med horisontalplanet. Hvor stor doseringen skal være er avhengig av hvilken fart svingen er beregnet for. Det kan derfor lages en dosering med akkurat riktig vinkel slik at det ikke kreves noe friksjon for å hindre at en bil sklir ut av veien.

En slik sving er konstruert for farten v , og doseringsvinkelen er α . Hvor stor friksjonskoeffisient mellom hjulene og veien må vi ha for at en bil med farten $2v$ som kjører gjennom svingen ikke skal skli? Uttrykk svaret som en funksjon av α .

Oppgave 4 (finale 2015)



Figuren viser en kasse med massen $3m$. Kassen er plassert på et horisontalt bord, og den kan gli uten friksjon. Det er en halvsirkelformet bane, med radien r , i kassen der en liten kloss med massen m kan gli uten friksjon. Den lille klossen blir sluppet fra ro fra det øverste høyre



hjørnet (se figuren). Finn normalkraften fra bordet på kassen i det øyeblikket den lille klossen er i bunnen av den halvsirkelformede banen.

Oppgave 5 (finale 2015)

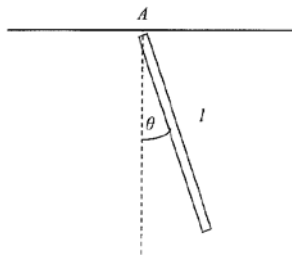
En planet har varierende tetthet. Tettheten er størst i midten der den er ρ_0 , og så avtar den lineært utover mot overflaten der den er ρ_s . Radien til planeten er R .

Finn et uttrykk for tyngdeakselerasjonen på overflaten av denne planeten.

Hint: Du kan få bruk for at $dm = \rho dV$, og at overflaten av en kule er $4\pi R^2$.

Oppgave 6 (finale 2015)

En tynn homogen stang med massen M og lengden l er opphengt slik at den kan svinge fritt uten friksjon (se figuren).



Vi lar stangen henge helt i ro, altså loddrett. En liten ball med massen m blir skutt mot den nederste enden av stangen med en horisontal fart på v_0 . Ballen spretter tilbake med farten v etter et uelastisk støt.

Hva blir det maksimale utslaget, ϑ_{maks} , etter støtet?

Gitte størrelser:

$$M = 0,80 \text{ kg}$$

$$m = 0,050 \text{ kg}$$

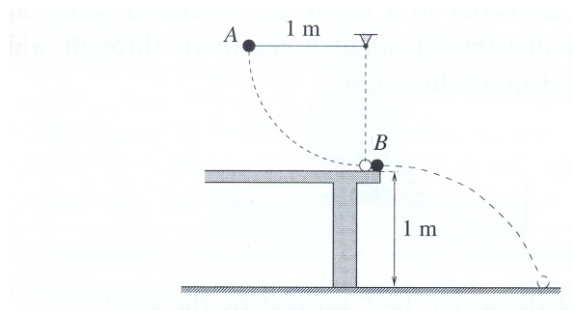
$$l = 0,20 \text{ m}$$

$$v_0 = 6,0 \text{ m/s}$$

$$v = -5,0 \text{ m/s}$$

Hint: Du kan få bruk for at treghetsmomentet til stangen om aksene gjennom A er $I = \frac{1}{3} Ml^2$

Oppgave 7 (finale 2014)



En liten stålkule (B) er i ro på kanten av et bord med høyden 1 m over gulvet. En annen helt lik kule (A) er festet til en lett snor og blir sluppet fra ro med snora horisontalt (se figur). Snora er 1 m. Kule A treffer kule B i et elastisk støt.

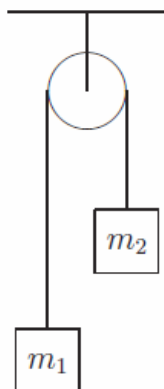
Hvilken kule bruker lengst tid på bevegelsen; kule A fra ro til den treffer kule B eller kule B fra bordkanten til den treffer gulvet?

Oppgave 8 (finale 2014)

En tynn stav med lengden l ligger i ro på et friksjonsløst, horisontalt underlag. Staven kan rotere friksjonsløst om et av endepunktene. Ei kule skytes horisontalt inn mot staven med farten v vinkelrett på stavens lengderetning, treffer staven i midtpunktet og blir sittende fast i staven. Kulas masse er $\frac{1}{4}$ av stavens masse. Hvilken vinkelfart får staven (med kula sittende fast) etter sammenstøtet?

Oppgave 9 (finale 2013)

To lodd med masser m_1 og m_2 ($m_1 > m_2$) henger i en masseløs snor som går over en trinse som er festet i taket.





Trinsa er en sylinder med massen M og radius R og den kan rotere uten friksjon omkring akselen. Anta at snora ikke glir mot trinsen. Finn akselerasjonen til m_1 .

Oppgave 10 (finale 2013)

Vi skal finne et såkalt Lagrangepunkt i forhold til jordas bane rundt sola. Normalt vil en satellitt som beveger seg i en sirkulær bane rundt sola og nærmere sola enn jorda er, ha en hastighet som er større enn jordas, og en omløpstid som er mindre (Keplers 3. lov). På linja mellom sola og jorda finnes det imidlertid et punkt der vi kan plassere en satellitt slik at omløpstida blir akkurat et år, akkurat som jordas. Dette er fordi satellitten påvirkes av jordas tyngdefelt i tillegg til solas. Dette er nyttig fordi satellitten da alltid har samme avstand til jorda, og aldri kommer på andre siden av sola slik at det er vanskelig å kommunisere med den. Dette brukes for eksempel til satellitter som skal observere sola.

Vi kaller massen til sola M_s , massen til jorda M_j , avstanden fra sola til jorda r_j , og vi antar at jorda går i en sirkulær bane.

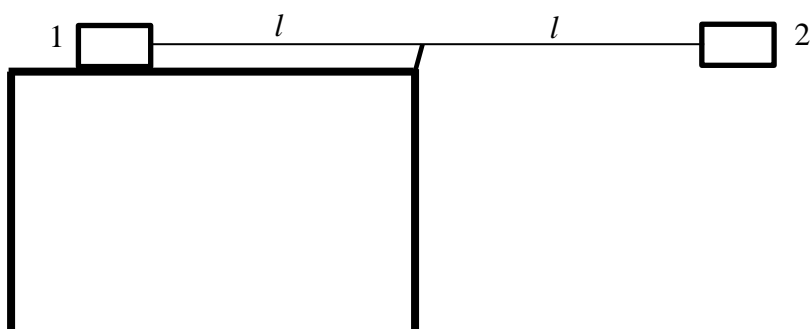
Vi kaller avstanden fra jorda til Lagrangepunktet d og innfører $y = \frac{d}{r_j}$

Siden jordas masse er liten i forhold til solas, blir $y \ll 1$.

Finn et tilnærmet uttrykk for avstanden fra jorda til Lagrangepunktet.

Oppgave 11 (finale 2012)

Figuren viser to like klosser, begge med massen m . Den ene klossen (1) ligger på et bord, og den andre (2) holdes vannrett ut fra bordet. Klossene er forbundet med en tynn tråd, og det er like langt fra bordkanten til hver av klossene. Vi kan se bort fra all friksjon.



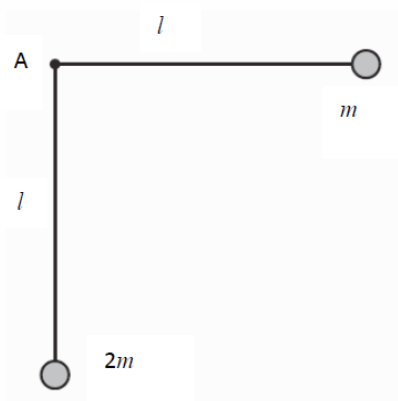
Vi slipper kloss 2. Vil kloss 1 nå bordkanten før kloss 2 treffer den vertikale kanten av bordet? Gi grunn for svaret.



Oppgave 12 (finale 2012)

Vi har en sylinder med horisontal akse og radien R . En kule ligger på toppen av sylinderen. Den gis et lite puff slik at den begynner å rulle nedover sylinderflaten. Hvor langt ned ruller den før den mister kontakten med overflata? Anta at friksjonen er sterk nok til at kula ruller uten å gli og at kulas radius er mye mindre enn sylinderens.

Oppgave 13 (finale 2012)



To tynne stenger er festet normalt på hverandre med hver sin kule i enden. Systemet kan svinge fritt om et punkt A. Stengene er like lange med lengden l , og massene til kulene er henholdsvis m og $2m$ som vist på figuren.

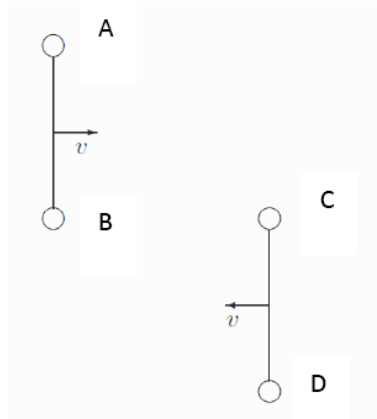
Vi holder systemet som vist på figuren og slipper. Finn den største farten kulene får når $l = 1,0$ m.

Oppgave 14 (finale 2011)

Et nøytron i ro henfaller til et proton og et elektron. Frigjort energi gir protonet og elektronet kinetisk energi. Massen til protonet er 1836 ganger massen til elektronet. Hvor stor andel av den frigjorte energien går til kinetisk energi til protonet?



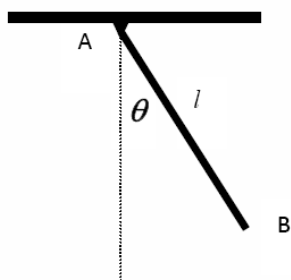
Oppgave 15 (finale 2011)



Vi har fire kuler (A, B, C og D) med massen m som er festet sammen to og to med masseløse staver med lengden l . De to legemene beveger seg mot hverandre på en horisontal flate, hastigheten til begge massesentrene er v og det er ingen friksjon. I utgangspunktet roterer heller ikke legemene. De beveger seg slik at på et tidspunkt vil to av kulene (B og C) kollidere. Vi regner kollisjonen som fullstendig elastisk.

- Hva er hastigheten til hver av kulene rett etter støtet?
- Beskriv den videre bevegelsen til legemene.

Oppgave 16 (finale 2011)



En tynn homogen stang AB med massen m og lengden l , er opphengt i A som vist på figuren. θ er vinkelen mellom stanga og vertikalen. Vi ser bort fra friksjon. Tyngdens akselerasjon er g . Tregghetsmomentet om dreieaksen i A er $I = \frac{1}{3}ml^2$. Bevegelsen starter med at stanga slippes fra ro i horisontal stilling.

- Finn vinkelakselerasjonen som funksjon av vinkelen θ .
- Finn vinkelhastigheten som funksjon av θ .
- Finn kraften som virker på stanga i opphengningspunktet (A) når stanga passerer laveste stilling (dvs. når den er vertikal).



Oppgave 17 (finale 2010)

En seilbåt har satt spinnaker (ballongformet seil som brukes når vinden kommer rett bakfra). Vindens fart i forhold til vannet er u og seilbåtens fart i forhold til vannet er v . Vi antar at kraften på seilbåten fra vinden er gitt ved $F = k(u - v)^2$. Vi ser bort fra strøm i vannet.

Finn den maksimale effekten som vinden overfører til seilbåten.

Oppgave 18 (finale 2010)

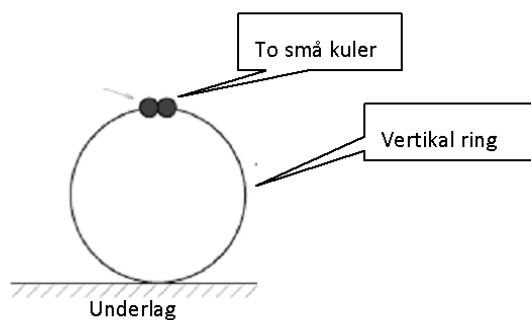
To småbarn, begge med masse 25 kg, sitter i hver sin ende av en tynn, horisontal planke med masse 10 kg og lengde 2,6 m. Planken roterer med 20 omdreininger per minutt om en vertikal akse gjennom midtpunktet.

Hva blir vinkelhastigheten hvis hvert barn flytter seg 60 cm mot midten uten å berøre gulvet?

Oppgave 19 (finale 2010)

To små kuler, hver med masse m , kan skli uten friksjon på en vertikal ring med massen M (se figur). Kulene er tredd på ringen slik at de ikke kan falle av. De blir begge sluppet fra ro fra toppen av ringen og sklir i hver sin retning ned mot bunnen. Ringen står vertikalt hele tiden.

Bestem den maksimale verdien av m/M slik at ringen forblir i kontakt med underlaget hele tiden mens kulene sklir mot bunnen.



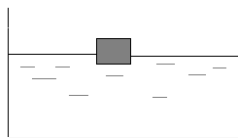
Oppgave 20 (finale 2009)

Ved ekvator på en planet som er ganske lik jorda (samme masse og radius) står en romfarer fra jorda på en badevekt. Han leser av et tall på badevekta som bare er 75 % av hans vekt på jorda. Finn planetens rotasjonstid.



Oppgave 21 (finale 2009)

Figuren viser en kloss som flyter i vann. Klossen har massen $1,0 \text{ kg}$ og den har tettheten 600 kg/m^3 .



Hvor stor kraft må klossen dyttes nedover med for at den skal holde seg helt under vann?

Se bort fra akselerasjonen under dyttet. Vann har tettheten 1000 kg/m^3 .

Oppgave 22 (finale 2009)

En liten kule faller fra høyden h over et rullebelte som beveger seg horisontalt med stor, men konstant fart, v . Kula spretter opp igjen, og da danner farten en vinkel ϑ med horisontalen. Kula har massen m , og friksjonstallet mellom kula og rullebeltet er μ . Som en forenkling antar vi at normalkraften fra beltet på kula under støtet i gjennomsnitt er $2mg$, og at friksjonskraften også holder seg konstant under støtet.

Finn et uttrykk for tiden støtet varer.

Oppgave 23 (finale 2009)

En gutt med massen 40 kg står i ro ytterst på en karusell. Karusellen har treghetsmomentet 500 kgm^2 og radien er $2,0 \text{ m}$. Den kan rotere friksjonsløst. Gutten begynner å gå langs kanten på karusellen. Han går *med urviseren* og med farten $1,5 \text{ m/s}$ i forhold til bakken. I hvilken retning, og med hvilken vinkelfart, roterer karusellen?

Oppgave 24 (finale 2008)

Et kar er halvfullt med vann som har tettheten $1,0 \text{ kg/dm}^3$. En kule flyter på vannet med 70% av kulas volum under vannflata.

a) Hva er kulas tetthet?

Vi fyller så på karet en væske med tettheten $0,5 \text{ kg/m}^3$ som ikke blander seg med vannet.

b) Hvor stor andel av kulas volum er nå under vannflaten (skillet mellom vannet og væsken)?



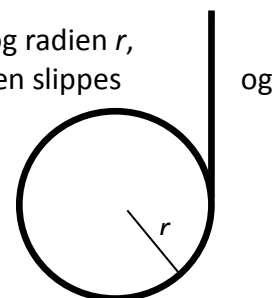
Oppgave 25 (finale 2008)

I et skrått kast danner startfarten vinkelen ϑ med horisontalplanet. Avstanden i rett linje fra startpunktet til et punkt i banen kaller vi r . Hvis vinkelen ϑ er større enn en bestemt vinkel ϑ_0 vil r i løpet av kastet først øke, så avta og så øke igjen.

Finn ϑ_0 .

Oppgave 26 (finale 2008)

En enkel jo-jo kan betraktes som en homogen sylinder med massen m og radien r , der en masseløs snor er festet til sylinderen og viklet opp på den. Jo-jo'en slippes og beveger seg nedover mens snoren ruller ut.



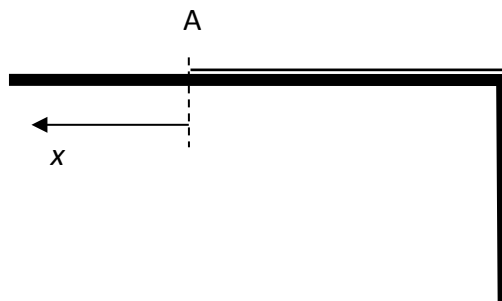
Finn snordraget S og den lineære akselerasjonen a til jo-jo'ens massesenter. Tyngdens akselerasjon er g .

Oppgave 27 (finale 2007)

Et glass med vann på et Brett blir svingt rundt i en vertikal sirkel. Radien i sirkelen er 0,5 m. Finn minimumsfarten i det høyeste punktet i sirkelen for at ikke noe vann skal renne ut.

Oppgave 28 (finale 2007)

En jevntykk snor ligger på et bord som figuren viser. Snoren har lengden l og $\frac{l}{4}$ henger utfor bordkanten. Det er ingen friksjon og vi holder først snoren i ro ved A (se figuren). Så drar vi snoren mot venstre med konstant fart.

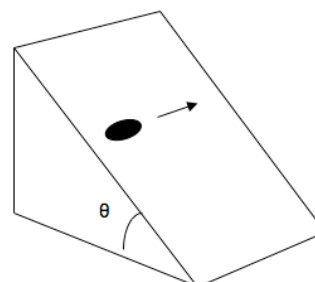


Massen av snoren per lengdeenhet kaller vi for λ .

Finn arbeidet vi har utført når hele snoren er kommet opp på bordet.

Oppgave 29 (finale 2007)

Figuren viser et skråplan med en liten kloss som er i ro. Klossen har massen m . Skråplanet danner vinkelen θ med underlaget. Vi lar så en kraft F virke på klossen med en retning som er parallell til underlaget, - altså i retningen som pilen på figuren viser. Den statiske





friksjonskoeffisienten mellom klossen og skråplanet er μ_s .

Hvor stor kraft skal til for at klossen akkurat skal begynne å bevege seg i pilens retning?

(Du kan få bruk for at $\cos v = \sqrt{1 - \sin^2 v}$)

Oppgave 30 (finale 2007)

Ei kule ruller nedover et skråplan med friksjonstallet $\mu = 0,5$

Hvor stor kan skråplanets hellingsvinkel være uten at kula begynner å gli?

Oppgave 31 (finale 2006)

Et skråplan danner vinkelen α med horisontalplanet. En kloss slippes fra ro fra toppen av skråplanet og sklir nedover. Friksjonen varierer, og friksjonstallet er $\mu = kx$ der k er en konstant og x er avstanden målt langs skråplanet.

Hvor langt sklir klossen før den stopper?

Oppgave 32 (finale 2006)

En tynn vertikal trepinne er hengslet i toppen slik at den kan svinge fritt i et plan. Vi senker pinnen sakte ned i et kar med vann. I et gitt øyeblikk vil trepinne svinge ut fra sin vertikale stilling. Trepinne har massen m og lengden er l .

Hvor stor del av trepinne er nedsunket i vannet i det øyeblikket den begynner å svinge ut til siden? Trepinne har akkurat halvparten så stor tetthet som vann.

Oppgave 33 (finale 2005)

En bil med farten v kolliderer med en murvegg. Bilen har en kompresjonssone og bilen trykkes sammen i fronten med $1m$. Vi antar at akselerasjonen er konstant under kompresjonen. Sjøføren sitter $1m$ fra frontruta og bruker ikke bilbelte (fy!).

Forklar at sjøføren treffer frontruta akkurat i det bilen stanser.

Oppgave 34 (finale 2005)

En karusell på en lekeplass består av en horisontal homogen sirkelskive, med samlet masse 150 kg , som kan rotere fritt om en vertikal akse gjennom sentrum. Skiva har radius $1,2\text{ m}$.

Et barn med masse 30 kg løper med fart $3,0\text{ m/s}$ langs en tangent til karusellen, hopper på og holder seg fast ytterst på karusellen.

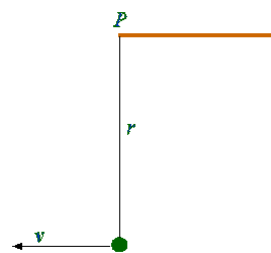
Finn vinkelfarten til barnet på karusellen dersom karusellen opprinnelig sto i ro.



Oppgave 35 (finale 2005)

Sirkelbane og skrått kast

Et legeme henger i en masseløs snor fra enden av en stang slik figuren viser. Legemet gis en startfart v i horisontalretning mot venstre. Det vil så følge en sirkelbane opp til et punkt Q . Derfra er banen en parabel.

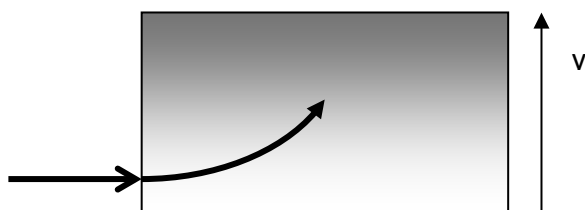


Hvor stor må startfarten v være for at kula skal treffe opphengningspunktet P ?

Oppgave 36 (finale 2004)

Et lite legeme er i ro på et bord. Det blir gitt et dytt og det beveger seg 1 m i løpet av 2 s før det faller ned fra bordet. Er det rimelig å anta at det lille legemet har hjul?

Oppgave 37 (finale 2004) (Optikk)

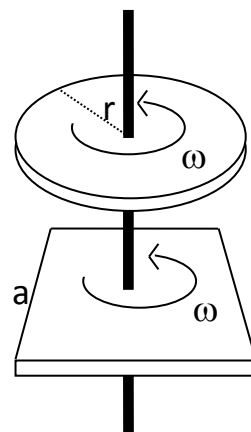


Figuren viser en lysstråle som kommer inn (praktisk talt vinklerrett) mot et legeme med varierende brytningsindeks i y -retning, $n(y)$. Lysstrålen bøyes av som vist, og den følger en sirkel med radien R . Det er luft rundt legemet, og luft har brytningsindeks n_0 .

Finn et uttrykk for $n(y)$ uttrykt ved n_0 og R .

Oppgave 38 (finale 2004)

En rund skive med radius $r = 0,30$ m og masse $m_1 = 3,0$ kg roterer friksjonsfritt med vinkelhastigheten $\omega_1 = 40$ rad/s om en vertikal, tynn, masseløs aksling. En kvadratisk skive er festet til akslingen. Kvadratet har sidelengde $a = 0,60$ m og masse $m_2 = 5,0$ kg. Kvadratet roterer friksjonsfritt med vinkelhastigheten $\omega_2 = 10$ rad/s samme vei som den runde skiven.

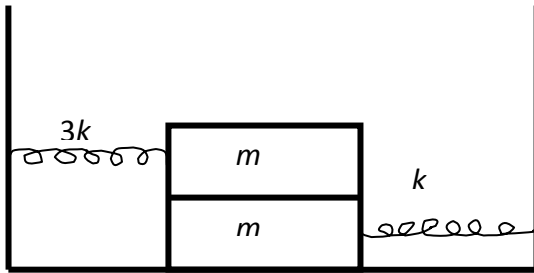


Vi slipper den runde skiven ned på den kvadratiske. Friksjonen mellom de to er så stor at vi kan anta at de blir sittende sammen umiddelbart og roterer med en felles vinkelhastighet.

Hvor stor brøkdelen av den opprinnelige rotasjonsenergien har systemet tapt under sammenkoblingen?



Oppgave 39 (finale 2004)



To like klosser ligger oppe på hverandre. Begge har massen m . Det er friksjon mellom klossene, og den statiske friksjonskoeffisienten er μ . Vi kan imidlertid se bort fra friksjonen mellom den underste klossen og underlaget. Det er en fjær festet til hver kloss med fjærkonstant på henholdsvis k og $3k$, - se figuren. Når systemet er i likevekt, er den høyre fjæren strukket en lengde x_1 . Finn det største utslaget (amplituden) systemet kan svinge med uten at de to klossene begynner å gli mot hverandre.



Elektromagnetisme

Oppgave 1 (finale 2016)

En metallstav med masse m kan gli uten friksjon på to lange, parallelle metallskinner som danner en vinkel α med horisontalplanet. Skinnene er forbundet med en kondensator med kapasitansen C , og avstanden mellom skinnene er l . Systemet befinner seg i et homogent magnetisk felt B som står normalt på planet skinnene og staven danner.

Metallstaven slippes fra ro og glir nedover de to skinnene. Finn akselerasjonen til metallstaven.

Oppgave 2 (finale 2016)

Vi vil lagre elektroner ved å la dem gå i sirkelbane i et magnetfelt. Elektronene skal gå i en vannrett sirkel med sentrum på z -aksen, og de skal gå med farten v . Elektronene har ladningen q og massen m . Hvis magnetfeltet er homogent vil elektronene falle ned på grunn av tyngdekraften. Vi har derfor et magnetfelt gitt ved en komponent i z -retning som er

$$B_z = B_0 \left(1 - \frac{z}{z_m}\right), \text{ og en komponent i radiell retning som er } B_r = \frac{B_0}{2z_m} r \text{ der } B_0 \text{ og } z_m \text{ er gitte}$$

konstanter.

I hvilken høyde z må vi sende inn elektronene for at de skal holde seg på samme høyden, og hva må radien i sirkelen være?

Oppgave 3 (finale 2015)

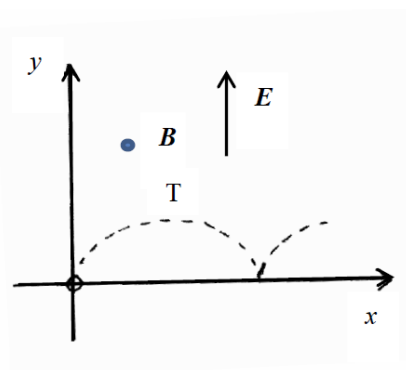
N motstander er koplet i parallell. Forklar hvorfor den totale resistansen alltid er mindre enn den minste resistansen i parallellkoplingen.

Oppgave 4 (finale 2015)

En partikkel med massen m og ladningen $+q$ starter fra ro i origo (se figuren). Det er et homogent elektrisk felt i y -retning, og det er et homogent magnetisk felt med retning ut av papirplanet.

Partikkelen følger en bane som er en sykloide. Avstanden fra x -aksen til toppunktet (T) kaller vi y_T .

Det kan vises at i toppunktet har banen en krumning som er lik radien i en sirkel med $R = 2y_T$.

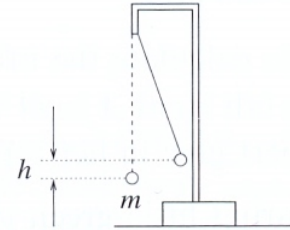




Vis at farten i toppunktet kan skrives $v = \frac{2E}{B}$.

Oppgave 5 (finale 2014)

En liten, positivt ladd kule (A) med massen m henger i en tynn, isolerende tråd. En annen og lik, positivt ladd kule (B) blir flyttet sakte fra en stor avstand til den er i den opprinnelige posisjonen til kule A. Kule A har fått en ny posisjon i høyden h (se figuren).



Vis at arbeidet som blir gjort i løpet av denne prosessen er $3mgh$.

Oppgave 6 (finale 2014)

A

En spole har induktansen 96 mH og en indre resistans på 180Ω . Spolen koples i serie med en spenningskilde som leverer strømmen $I = I_0 \cos \omega t$ der $I_0 = 0,4 \text{ A}$ og $\omega = 2500 \text{ s}^{-1}$.

Finn spenningsamplituden (U_0) til spenningskilden.

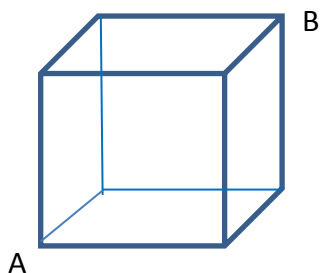
Oppgave 7 (finale 2014)

En liten kule med ladningen $+q$ og massen m skytes ut med vinkelen α med horisontalplanet. Parallelt med horisontalplanet, og med retning fra startpunktet mot nedslagspunktet, er det et homogent elektrisk felt E . Finn et uttrykk for vinkelen α som gir maksimal kastelengde. Nedslagspunktet er i samme plan som startpunktet.

Hint: Du kan få bruk for at $\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$ og $\sin^2 \alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{2}$

Oppgave 8 (finale 2013)

Alle 12 sidekantene i figuren har resistansen 1Ω . Finn resistansen mellom A og B.



Oppgave 9 (finale 2013)

En lang spole med n viklinger per lengdeenhet fører en strøm I . Bruk Ampères lov å finne magnetfeltet innenfor spolen.

Oppgave 10 (finale 2013)



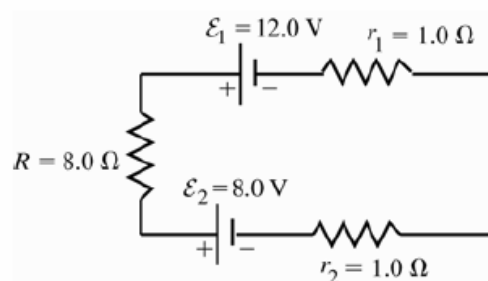
To små kuler (A og B) er festet i hver sin ende av en ikke-ledende stang.

Mellom disse er det en tredje kule (C) som kan gli uten friksjon på stangen. Alle tre kulene har ladningen q og massen m , og de er ikke-ledende. Hele systemet er plassert på en horisontal ikke-ledende flate uten friksjon. Vi starter med at hele systemet holdes i ro, og C har avstanden x til B og $3x$ til A. Systemet slippes.

Finn den maksimale farten til kule C.

Oppgave 11 (finale 2012)

Gitt kretsen på figuren. Finn forholdet mellom total avgitt elektrisk effekt og effekten i de tre motstandene.



Oppgave 12 (finale 2012)

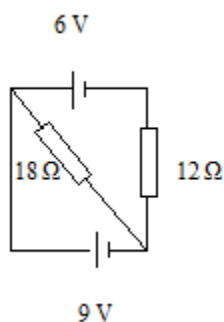
To protoner og to positroner («elektron» med positiv ladning) ligger i hjørnene på et kvadrat med sidekant r . Protonene (og da også positronene) ligger diagonalt overfor hverandre. Så slippes partiklene. Hva er forholdet mellom den kinetiske energien til et positron og et proton når de har kommet veldig langt fra hverandre? Det er tilstrekkelig med et tilnærmet uttrykk.

Oppgave 13 (finale 2012)

En 100 W lampe er koplet til lysnettet (220 V og 50 Hz). Så kopler vi en spole i serie med lampen. Hvor stor må induktansen i spolen være for at effekten i lampen skal reduseres til det halve?

Oppgave 14 (finale 2011)

Figuren viser en krets med to batterier uten indre resistans og to motstander.



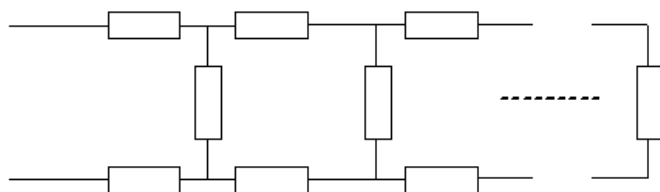
Finn strømmen gjennom 9 V batteriet.

Oppgave 15 (finale 2011)

En L - R - C krets består av en spenningskilde på 120 V med frekvensen 8,0 Hz, en motstand med resistansen 400Ω , en spole med induktansen 9,0 H og en kondensator med kapasitansen C .

Bestem kapasitansen når strømmen i kretsen har sin maksimale verdi, og finn spenningen over spolen i dette tilfellet.

Oppgave 16 (finale 2010)



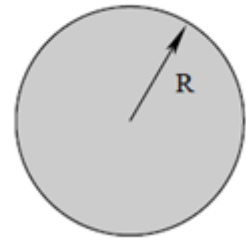
Figuren viser en uendelig lang sammenkopling av motstander. Alle motstandene har resistansen 1Ω .

Bestem den totale resistansen i kretsen.



Oppgave 17 (finale 2010)

En ladet partikkel med ladningen q og massen m blir gitt en kinetisk energi K_0 når den er i midten av et uniformt ladet sfærisk område med totalladningen Q og radien R . Q og q har motsatte fortegn. Det sfæriske ladede området kan ikke bevege seg.



Finn den verdien av K_0 som gjør at partikkelen akkurat vil nå grensen for det ladede området.

Oppgave 18 (finale 2009)

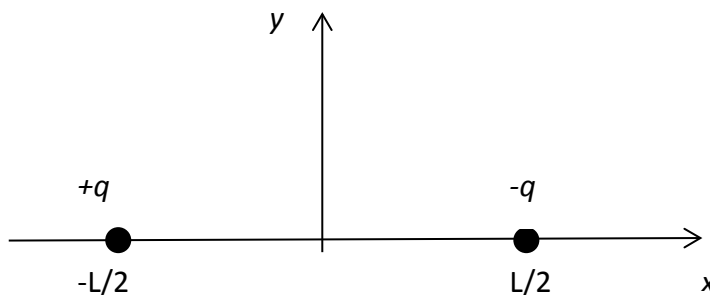
En kule av ikke-ledende materiale har radien R . Utenfor kulas overflate i avstanden r fra kulas sentrum er det et elektrisk felt E (der altså $r > R$). Vi antar at kulas ladning er jevnt fordelt over hele volumet.

Finn et uttrykk for det elektriske feltet inne i kula i en avstand a fra kulas sentrum

(altså der $a < R$).

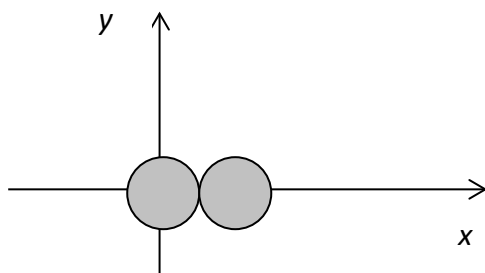
Oppgave 19 (finale 2008)

To partikler med ubetydelig masse og med ladning henholdsvis $+q$ og $-q$ blir holdt i ro i et homogent magnetisk felt. Se figur. Magnetfeltet står normalt på og er rettet inn i xy -planet



Partiklene blir sluppet samtidig. De kolliderer ikke. Finn et uttrykk for farten til partikkelen med ladning $+q$ som funksjon av x . (Hint: Det kan være lurt å gjøre energibetraktninger)

Oppgave 20 (finale 2008)



Figuren viser to kuler som hver har en ladning på Q jevnt fordelt over hele volumet. Begge kulene har radien R . Den ene kule har sentrum i origo og den andre i $x = 2R$.

Finn det elektriske feltet i punktet $x = R/2$ og i punktet $x = R$ på x -aksen.

Oppgave 21 (finale 2007)

En vekselstrømskilde med spenningsamplituden 120 V og frekvensen 50 Hz er koplet i serie med en motstand, en kondensator og en spole.. Motstanden har resistansen $80\ \Omega$. Kondensatoren har en reaktans på $480\ \Omega$ og spenningsamplituden over kondensatoren er 360 V .

- Finn kretsens impedans.
- Finn spolens reaktans
- Forklar hvorfor det blir to mulige svar i b)
- Finn resonansfrekvensen når du velger én av verdiene du fant i b)

Oppgave 22 (finale 2006)

To identiske metallkuler har samme ladning. De er plassert en avstand x fra hverandre, og det virker da en kraft F på dem. Vi lar så en tredje kule som er lik de to andre, men ikke ladet, berøre først den ene av de to kulene og så den andre. Deretter fjernes den.

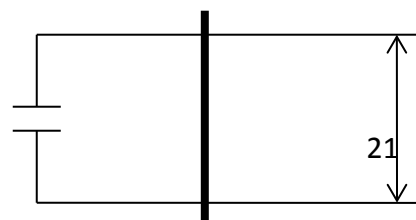
Hvor stor er nå kraften mellom de to opprinnelige kulene?

Oppgave 23 (finale 2006)

En hul koppersylinder fører strømmen I og har innerradien r og ytterradien $3r$. Strømmen er jevnt fordelt over tverrsnittet av lederen. Magnetfeltet i avstand $2r$ fra sylinderaksen har en bestemt verdi. Den samme verdien for magnetfeltet kan vi finne utenfor sylinderen i en avstand x fra sylinderaksen.

Oppgave 24 (finale 2006)

En metallstav med massen m kan gli uten friksjon på to lange horisontale parallelle skinner. Skinnene, som har





ubetydelig resistans, kan forbindes med en kondensator med kapasitansen C . Avstanden mellom skinnene er l . Systemet befinner seg i et magnetfelt med flukstettheten B som står normalt på planet skinnene og staven danner. Staven har resistansen R . Kondensatoren lades opp til spenningen U_0 og koples så til skinnene som vist på figuren.

Finn stavens akselerasjon i det øyeblikket staven begynner å gli, og finn stavens maksimale fart. Vi antar at staven glir mot høyre i figuren.

Oppgave 25 (finale 2005)

Gauss lov

Et ikke ledende kuleskall med innerradius a og ytterradius b har ladningstettheten $\rho = \frac{k}{r}$ der k er en konstant og r er avstanden fra kulesenteret. I tillegg er det en punktladning i kulesenteret med ladningen q .

Finn et uttrykk for k slik at det elektriske feltet i kuleskallet ($a < r < b$) blir konstant.

Oppgave 26 (finale 2005)

Vekselstrøm

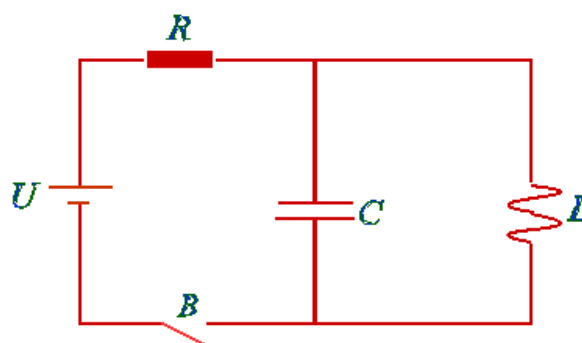
En likestrømkilde med spenningen U er koplet sammen med en kondensator og en spole slik figuren viser.

$$C = 1,0 \text{ mF}$$

$$L = 0,040\text{H}$$

$$R = 4,0\Omega$$

$$U = 20\text{V}$$



Resistansen utenom de 4 Ohm som er tegnet inn, er neglisjerbar.

Ved tida $t = 0$ slår vi strømmen på med bryteren B. Da er ladningen på kondensatoren lik null, og strømmen gjennom spolen er lik null.

- Skisser grafer som viser hvordan strømmen gjennom kondensatoren og gjennom spolen endrer seg etter tidspunktet $t = 0$. (Kun grafens form, ikke nødvendig med regning.)
- Finn den maksimale strømmen gjennom spolen.

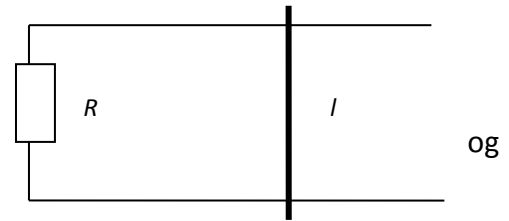
Når spolestrømmen har blitt konstant, slås bryteren B av ved et tidspunkt t_1 .

- Vis ved å skissere fortsettelsen av grafen som du tegnet i a) hvordan spolestrømmen vil utvikle seg etter tidspunktet t_1 . (Kun grafens form, ikke nødvendig med regning.)



Oppgave 27 (finale 2004)

En metallstav kan gli uten friksjon på to lange horisontale parallelle skinner. Skinnene er forbundet med en motstand med resistansen R , avstanden mellom dem er l . Systemet befinner seg i et magnetisk felt med flukstettheten B som står normalt på planet skinnene og staven danner. Staven blir gitt et dytt og får startfarten v_0 . Hvor langt vil staven gli før den stopper?



(Hint: du kan få bruk for at $x = \int v dt$)



Termofysikk

Oppgave 1 (finale 2014)

En kopperstang blir plassert med en ende i kokende vann, og den andre enden i en blanding av is og vann. Den delen av kopperstangen som ikke er i kokende vann eller i isblandingen er isolert. Etter en tid er 0,16 kg av isen smeltet. Finn den totale endringen i entropi for hele systemet.

(Du får bruk for at $Q = mL$ der $L = 3,34 \cdot 10^5$ J/kg er spesifikk smeltevarme for vann)

Oppgave 2 (finale 2013)

Når en heliumballong stiger vil den utvide seg fordi trykket i atmosfæren synker med stigende høyde.

Vi antar at trykket i atmosfæren avtar med høyden (y) over jordoverflaten etter følgende modell:

$$p(y) = p_0 e^{\frac{-Mg}{RT_0} \cdot y}$$

Her er p_0 trykket ved jordoverflaten og T_0 er temperaturen som vi antar er konstant. M er den molare massen av luften, g er tyngdeakselerasjonen og R er gasskonstanten. $p_0 = 102,0$ kPa og temperaturen $T_0 = 0^\circ\text{C}$.

En heliumfylt ballong sendes opp fra jordoverflaten. Ved starten er volumet V_0 og trykket p_0 . Vi antar at under oppstigningen utveksler ballongen ikke varme med omgivelsene. Ballongen sprekker når volumet har økt med 10 % i forhold til V_0 .

Bestem den maksimale høyden ballongen kan nå før den sprekker.

(Du kan få bruk for at $\gamma = 5/3$ for helium)

Oppgave 3 (finale 2012)

En sylinder med et stempel inneholder nitrogengass med trykket 180 kPa og temperaturen 27°C . Vi betrakter gassen som en idealgass. Gassen presses sammen ved konstant trykk til volumet er halvparten av det opprinnelige. Gassen ekspanderer så adiabatisk til volumet er det samme som ved starten av prosessen.

Bestem trykk og temperatur etter den adiabatisk ekspansjonen.

(Du kan få bruk for at $\gamma = 1,40$ for nitrogen)



Oppgave 4 (finale 2011)

En énatomig idealgass utvider seg sakte inntil volumet er blitt dobbelt så stort. I prosessen gjør gassen et arbeid på 300 J på omgivelsene.

Finn endringen i indre energi hvis prosessen er a) isoterm, b) adiabatisk, c) isobar.

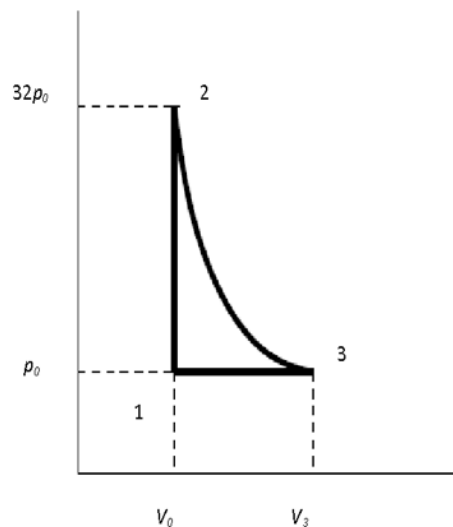
(Du kan få bruk for at $C_p = \frac{5}{2}R$)

Oppgave 5 (finale 2010)

En enkel varmemaskin består av et stempel i en sylinder fylt med énatomig idealgass. I starten har gassen trykket p_0 og volumet V_0 . Gassen blir sakte oppvarmet ved konstant volum. Trykket øker da til $32p_0$. Stempelet slippes så fri og gassen ekspanderer adiabatisk til trykket igjen er p_0 . Så blir gassen kjølt ned under konstant trykk til den opprinnelige temperaturen.

Bestem, uttrykt ved p_0 og V_0 , hvor mye varme som tilføres gassen gjennom en hel syklus.

(Du kan få bruk for at $C_V = \frac{3}{2}R$ for en énatomig idealgass.)



Oppgave 6 (finale 2009)

2,5 mol nitrogengass (N_2) er i en sylinder. Trykket er $1,01 \cdot 10^5$ Pa, og temperaturen er $20,0$ °C. Gassen blir tilført en varme på $1,52 \cdot 10^4$ J under konstant volum. Deretter fortsetter oppvarmingen under konstant trykk til volumet er blitt dobbelt så stort.

Finn sluttemperaturen til gassen og finn endringen i indre energi for gassen for hele prosessen.

For nitrogen er $C_V = 20,76$ J/mol K og $C_p = 29,07$ J/mol K.

Oppgave 7 (finale 2008)

2,0 mol av en idealgass ekspanderer adiabatisk. Temperaturen synker fra 75 °C til 20 °C.

Skisser et pV -diagram for denne prosessen, og bestem endringen i indre energi. (Du kan få bruk for at $C_V = 12,47$ J/mol·K).

Hvis denne prosessen er reversibel, hva blir da endringen i entropi?



Oppgave 8 (finale 2007)

Vi heller en liter vann med temperaturen $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ut i en stor innsjø der temperaturen er $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vi kan betrakte vannet vi heller og innsjøen som et isolert system.

Finn entropi-endringen i denne prosessen.

Oppgave 9 (finale 2016)

Vi slipper en isklump med massen $1,0\text{ kg}$ og temperaturen $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ut i en stor innsjø der temperaturen er $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Smeltevarmen er $l = 334\text{ kJ/kg}$. Spesifikk varmekapasitet for vann er $c = 4,2\text{ kJ/kg K}$.

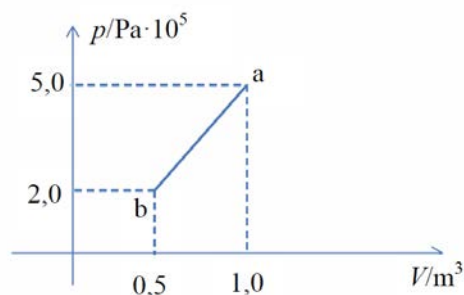
Finn entropiendringen i denne prosessen.

Oppgave 10 (finale 2015)

100 mol av en enatomig ideal gass blir presset sammen fra tilstand a til tilstand b som vist på figuren.

Hvor mye varme (Q) er involvert i prosessen?

(Du kan få bruk for at $C_v = \frac{3}{2}R$)



Oppgave 11 (finale 2006)

En idealgass utvider seg langsomt slik at volumet øker til det dobbelte. I løpet av prosessen utføres det et arbeid på omgivelsene som er 300 J . Prosessen foregår ved konstant trykk.

Bestem endringen av indre energi i gassen. (Du kan få bruk for at den molare varmekapasiteten $C_p = \frac{5}{2}R$)

Oppgave 12 (finale 2005)

Gass og fjærkraft

Et bevegelig tungt stempel henger i en fjær inne i en vertikal sylinder slik som vist på figurene til høyre. Når all luft er pumpet ut av sylindere, er stemplet i likevekt som vist i diagram 1 med bare et neglisjerbart volum mellom stemplet og bunnen av sylindere. Når en gasmengde med temperatur T blir

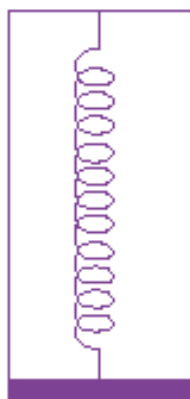


Diagram 1

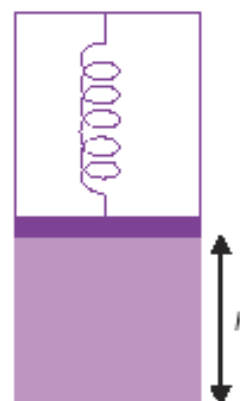


Diagram 2

sluppet inn under stemplet, hever dette seg til høyden h som vist i diagram 2.

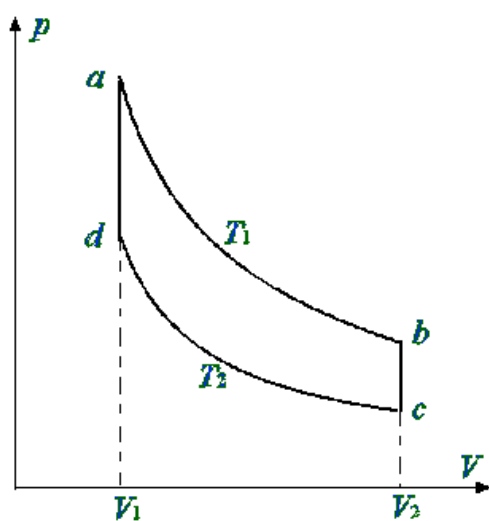
Hvilken høyde får stemplet over bunnen av sylinderen dersom gassen varmes opp til temperaturen $2T$?

Anta at stemplet beveger seg uten friksjon, at fjæra følger Hookes lov og at gassen er ideell.

(Hookes lov: Fjærkrafta er proporsjonal med avstanden fra likevekt.)

Oppgave 13 (finale 2005)

Termofysikk, Stirlingmotor



En Stirlingmotor er en varmekraftmaskin som arbeider i et omløp i et trykk-volumdiagram som vist på figuren. Vi skal se på en teoretisk motor der arbeidsgassen er n mol av en ideell gass. Fra punkt a til b utvides gassen fra volum V_1 til volum V_2 ved konstant temperatur T_1 . Fra b til c går gassen ved konstant volum V_2 til temperatur T_2 . Fra c til d komprimeres gassen ved konstant temperatur T_2 tilbake til startvolumet V_1 , hvorefter den går med konstant volum tilbake til starttemperaturen T_1 . Arbeidsgassens molare varmekapasitet er C_V .

Den molare gasskonstanten er $R = 8,31 \frac{J}{mol \cdot K}$

- Beregn arbeidet som motoren gjør på omgivelsene i løpet av ett omløp.
- Beregn varme ut eller inn i arbeidsgassen for de fire delprosessene, dvs Q_{a-b} , Q_{b-c} , Q_{c-d} og Q_{d-a} .

Oppgave 14 (finale 2004)

Bestem endringen i entropi når vi blander 1,00 kg vann med temperaturen $20^\circ C$ med 2,00 kg vann med temperaturen $80^\circ C$.

Vann har spesifikk varmekapasitet $c = 4190 J/kg \cdot K$.

Se bort fra varmeutveksling med omgivelsene.

Noen utvalgte internasjonale finaleoppgaver

IPhO 2016



Theory
Norwegian (Norway)

Q1-1

To problemer i mekanikk (10 poeng)

Vær vennlig å lese de generelle instruksjonene i den separate konvolutten før du begynner på dette problemet.

Del A. Den gjemte disken (3,5 poeng)

Vi ser på en massiv tresylinder med radius r_1 og tykkelse h_1 . Et sted inne i tresylinderen har treet blitt erstattet av en metalldisk med radius r_2 og tykkelse h_2 . Metalldisken er plassert på en slik måte at dens symmetriakse B er parallell med symmetriaksen S til tresylinderen, og er plassert med samme avstand fra topp- og bunnstykket av tresylinderen. Vi kaller avstanden mellom S og B for d . Massetettheten til treverket er ρ_1 , massetettheten til metallet er $\rho_2 > \rho_1$. Den totale massen av tresylinderen og metalldisken er M .

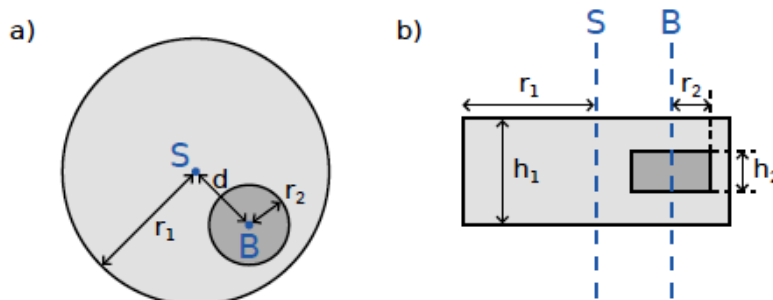
I denne oppgaven plasserer vi tresylinderen slik at den kan rulle fritt til venstre og høyre. Se Fig. 1 for å se oppsettet fra siden og fra toppen.

Målet med denne oppgaven er å bestemme størrelsen og posisjonen til metalldisken.

I det følgende kan du alltid anta at følgende er kjent når du blir spurt om å uttrykke resultatet med kjente størrelser:

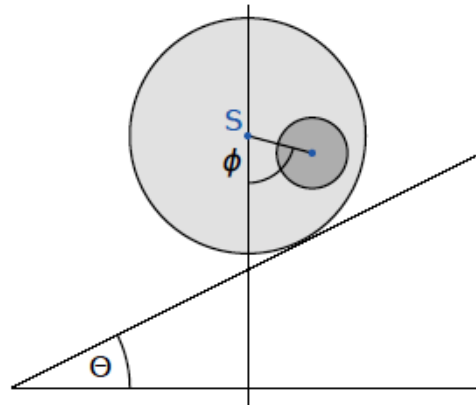
$$r_1, h_1, \rho_1, \rho_2, M. \quad (1)$$

Målet er å bestemme r_2, h_2 og d , ved indirekte målinger.



Figur 1: a) Sett fra siden, b) sett fra toppen

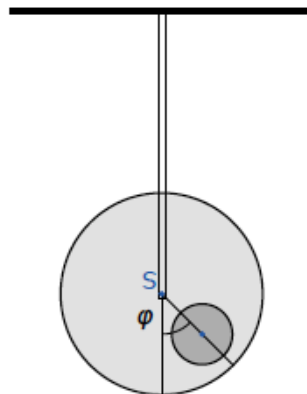
Vi kaller b for avstanden mellom massesenteret C til hele systemet og symmetriaksen S til tresylinderen. For å bestemme denne avstanden, setter vi opp det følgende eksperimentet: Vi plasserer tresylinderen på en horisontal base på en slik måte at den er i en stabil likevektsstilling. La oss nå sakte skråstille basen med en vinkel θ (se Fig. 2). Som følge av den statiske friksjonen kan tresylinderen rulle fritt uten å gli. Den vil rulle ned skråplanet lite grann, men den legger seg til ro i en stabil likevektsstilling etter å ha rotert en vinkel ϕ som vi måler.



Figur 2: Sylinderen på et skråplan.

A.1 Finn et uttrykk for b som en funksjon av størrelsene (1), vinkelen ϕ og helningsvinkel Θ til skråplanet. 0.8pt

Fra nå av kan vi anta at verdien til b er kjent.



Figur 3: Opphengt system

Vi kan nå måle treghetsmomentet I_S til systemet med hensyn til symmetriaksen S . Til dette formålet så henger vi tresylinderen opp etter symmetriaksen i en uelastisk stang. Vi trekker den så vekk fra likevektsstillingen med en liten vinkel φ og slipper den. Se figur 3 for oppsettet. Vi finner at φ beskriver en periodisk bevegelse med periode T .



A.2 Finn bevegelseslikningen for φ . Uttrykk treghetsmomentet I_S til systemet rundt dens symmetriakse S uttrykt ved hjelp av T , b og de kjente størrelsene (1). Du kan anta at vi bare så vidt avviker fra likevektsstillingen slik at φ alltid er veldig liten. 0.5pt

Fra målingene i spørsmål A.1 og A.2 ønsker vi nå å bestemme geometrien til metalledisken på inne i tresylindere.

A.3 Finn et uttrykk for avstanden d som en funksjon av b og størrelsene (1). Du kan også inkludere r_2 og h_2 som variabler i uttrykket ditt etter som de vil bli beregnet i oppgave A.5. 0.4pt

A.4 Finn et uttrykk for treghetsmomentet I_S uttrykt ved b og de kjente størrelsene (1). Du kan også inkludere r_2 og h_2 som variabler i uttrykket ditt etter som de vil bli beregnet i oppgave A.5. 0.7pt

A.5 Ved å bruke alle resultatene funnet ovenfor, skriv ned et uttrykk for h_2 og r_2 uttrykt ved hjelp av b , T og de kjente størrelsene (1). Du kan uttrykke h_2 som en funksjon av r_2 . 1.1pt

Del B. Roterende romstasjon (6,5 poeng)

Alice er en astronaut som lever å en romstasjon. Romstasjonen er et gigantisk hjul med radius R som roterer rundt sin akse, og derved gir kunstig gravitasjon for astronautene. Astronautene bor på innsiden av felgen på hjulet. Se bort fra den gravitasjonelle tiltrekningen fra romstasjonen og krumningen av gulvet.

B.1 Med hvilken vinkelfrekvensen ω_{ss} roterer romstasjonen slik at astronautene opplever den samme gravitasjonen g_E som på jordas overflate? 0.5pt

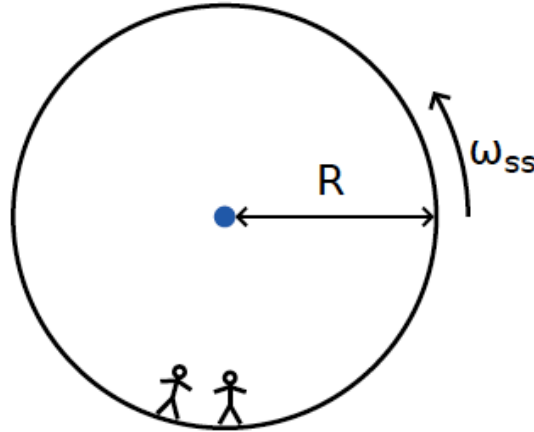
Alice og astronautvennen hennes, Bob, har en diskusjon. Bob tror ikke at de faktisk lever på en romstasjon og hevder at de er på jorda. Alice ønsker å bevise for Bob at de bor på en roterende romstasjon ved hjelp av fysikk. Til dette formålet fester hun gjenstand med masse m i en fjær med fjærkonstant k og lar den svinge (oscillere). Gjenstanden svinger bare i vertikal retning og kan ikke bevege seg horisontalt.

B.2 Ved å anta at jordas gravitasjon er konstant med tyngdeakselerasjon g_E , hva ville vinkelfrekvensen til svingningene ω_E bli målt til av en person på jorden? 0.2pt

B.3 Hvilken vinkelfrekvens til svingningene ω måler Alice på romstasjonen? 0.6pt

Alice er overbevist om at hennes eksperiment beviser at de er på en roterende romstasjon. Bob forblir skeptisk. Han hevder at når man tar hensyn til endringen i gravitasjonen som følge av høyden over jordoverflaten, vil man finne liknende effekter. Har han rett?

I de følgende oppgavene undersøker vi om Bob har rett.



Figur 4: Romstasjon

- B.4** Finn et uttrykk for tyngdeakselerasjonen $g_E(h)$ for små høyder h over jordoverflaten og beregn svingefrekvensen $\tilde{\omega}_E$ til den svingende gjenstanden (lineær tilnærming er nok). Kall jordradien R_E . Se bort fra jordrotasjonen. 0.8pt

Faktisk finner Alice ut at for denne romstasjonen at fjærpendelen svinger med frekvensen som Bob forutså.

- B.5** For hvilken radius R av romstasjonen vil svingefrekvensen ω være den samme som svingefrekvensen $\tilde{\omega}_E$ på jorda? Uttrykk svaret ved hjelp av R_E . 0.3pt

Oppgitt over Bobs stahet finner Alice på et eksperiment for å bevise poenget sitt. Derfor klatrer hun opp i et tårn med høyde H over gulvet til romstasjonen og slipper en gjenstand. Dette eksperimentet kan forstås både i det roterende referansesystemet såvel som i et treghetssystem.

I et jevnt roterende referansesystem vil astronautene oppfatte en fiktiv kraft \vec{F}_C kalt Coriolis-kraften. Kraften \vec{F}_C virker på en gjenstand med masse m som beveger seg med en hastighet \vec{v} i et roterende referansesystem med konstant vinkelfrekvens $\tilde{\omega}_{ss}$ som er gitt ved

$$\vec{F}_C = 2m\vec{v} \times \tilde{\omega}_{ss} . \quad (2)$$

Uttrykt med skalarstørrelser kan du bruke

$$F_C = 2mv\omega_{ss} \sin \phi , \quad (3)$$

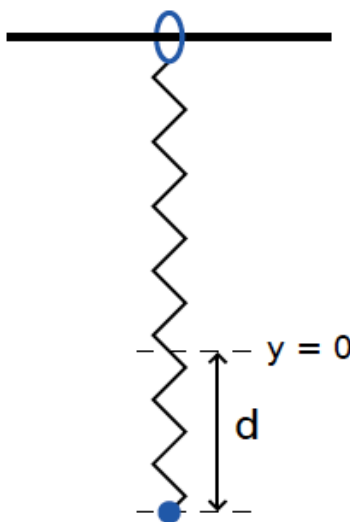
hvor ϕ er vinkelen mellom farten og rotasjonsaksen. Kraften er vinkelrett på både farten v og rotasjonsaksen. Fortegnet til kraften kan bestemmes ved hjelp av høyrehåndsregelen, men i det følgende kan du velge den fritt.

- B.6** Beregn den horisontale farten v_x og den horisontale forskyvningen d_x (relativ til grunnflaten til tårnet, i retningen vinkelrett på tårnet) til gjenstanden i det den treffer gulvet. Du kan anta at høyden H til tårnet er liten slik at akselerasjonen som målt av astronautene er konstant gjennom hele fallet. Du kan også anta at $d_x \ll H$. 1.1pt

For å få et godt resultat bestemmer Alice seg for å gjennomføre eksperimentet fra et mye høyere tårn enn tidligere. Til hennes overraskelse treffer gjenstanden gulvet ved bunnen av tårnet slik at $d_x = 0$.

- B.7** Finn den laveste høyden på tårnet hvor det kan skje at $d_x = 0$. 1.3pt

Alice er villig til å gjøre et siste forsøk for å overbevise Bob. Hun ønsker å bruke fjæroscillatoren til å vise effekten av Coriolis-kraften. Hun endrer derfor det opprinnelige oppsettet: Hun fester fjæren til en ring som kan gli fritt på en horisontal stang i x -retning uten friksjon. Fjæren svinger i y -retning. Stangen er parallell med gulvet og er vinkelrett på rotasjonsaksen til romstasjonen, med y -retningen pekende rett inn mot rotasjonssenteret for romstasjonen.



Figur 5: Oppsett.

- B.8** Alice trekker gjenstanden en i avstand d nedover fra likevektsstillingen $x = 0$, $y = 0$, og slipper den (se figur 5). 1.7pt
- Finn et algebraisk uttrykk for $x(t)$ og $y(t)$. Du kan anta at $\omega_{gs}d$ er liten og du kan se bort fra Coriolis-kraften for bevegelsen langs y -aksen.
 - Skisser banen $(x(t), y(t))$, og marker alle viktige karakteristiske egenskaper slik som amplitude.

Alice og Bob fortsetter å argumentere.

Ikke-lineær dynamikk i elektriske kretser (10 poeng)

Vennligst les de generelle instruksjonene i den vedlagte konvolutten før du starter på oppgaven.

Introduksjon

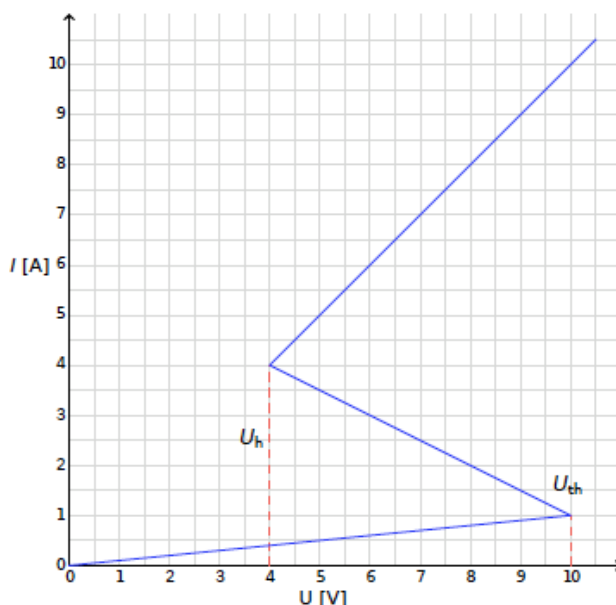
Bi-stabile ikke-lineære halvlederkomponenter (f.eks. tyristorer) blir ofte benyttet i elektronikk til brytere og frekvensgeneratorer. Tyristorer brukes primært til å styre vekselstrøm (AC) i elektronikk, f.eks. ved likeretting av vekselstrøm (AC) til likestrøm (DC) ved store effekter (i megawatt området). Bi-stabile komponenter kan også brukes som modeller for selvstyrende fenomener i fysikken (dette blir belyst i del B), biologi (se del C) og i andre områder av ikke-lineær naturvitenskap.

Formål

Å studere ustabiliteter og ikke-triviell dynamikk i kretser, inkludert elementer med ikke-lineære $I - V$ karakteristikk. Å oppdage mulige anvendelser av slike kretser til bruk i utvikling og modellering av biologiske systemer.

Del A. Stasjonære tilstander og ustabiliteter (3 poeng)

Fig. 1 viser den såkalte **S-formede** $I - V$ av en ikke-lineær komponent X . I spenningsområdet mellom $U_h = 4.00 \text{ V}$ (holdespenningen) og $U_{th} = 10.0 \text{ V}$ (terskelspenningen) har $I - V$ karakteristikken flere mulige verdier for strømmen for en gitt spenning. For enkelhets skyld er grafen i fig. 1 valgt å være stykkevis lineær (hver del består av en rett linje). Om den øverste delen; denne linjen vil gå gjennom origo, hvis den blir forlenget. Denne tilnærmingen gir en god beskrivelse av reelle tyristorer.



Figur 1: $I - V$ karakteristikk av den ikke-lineære komponenten X .

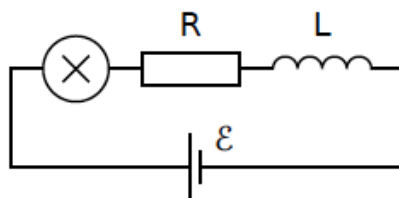
- A.1** Bruk grafen til å bestemme resistansen R_{on} til komponent X for den øverste del av $I - V$ karakteristikken. Bestem også resistansen R_{off} for den nederste del av karakteristikken. 0.4pt

Den midterste delen er beskrevet ved hjelp av likningen

$$I = I_0 - \frac{U}{R_{\text{int}}}. \quad (1)$$

Bestem verdiene til I_0 og R_{int} .

Komponent X er koblet i serie (se Fig.2) med en motstand R , en induksjonsspole L og en ideell (uten indre resistans) spenningskilde \mathcal{E} . Man sier at kretsen er i en stasjonær tilstand, hvis strømmen som funksjon av tiden er konstant, $I(t) = \text{const}$.



Figur 2: Kretsdiagram med komponent X , motstand R , induksjonsspole L og spenningskilde \mathcal{E} .

- A.2** For kretsen vist i figur 2; hvor mange stasjonære tilstander kan det maksimalt være når \mathcal{E} er konstant og $R = 3.00 \Omega$? Hva blir svaret når $R = 1.00 \Omega$? 1pt

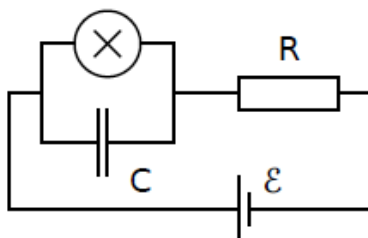
- A.3** Bruk $R = 3.00 \Omega$, $L = 1.00 \mu\text{H}$ og $\mathcal{E} = 15.0 \text{ V}$ for kretsen vist i Fig. 2. Bestem verdien til strømmen $I_{\text{stationary}}$ og spenningen $V_{\text{stationary}}$ for den ikke-lineære komponenten X i den stasjonære tilstanden. 0.6pt

Kretsen i Fig. 2 er i stasjonære tilstand med $I(t) = I_{\text{stationary}}$. Den stasjonære tilstanden sies å være stabil hvis, etter en liten forskyvning (økning eller reduksjon i strømmen), strømmen returnerer til stasjonær tilstand. Og hvis systemet i stedet fortsetter å bevege seg bort fra den stasjonære tilstand, sies det å være ustabil.

- A.4** Bruk tallverdiene fra oppgave A.3 til å undersøke stabiliteten til den stasjonære tilstanden med $I(t) = I_{\text{stationary}}$. Er den stasjonære tilstanden stabil eller ustabil?? 1pt

Del B. Bistabile ikke-lineære komponenter i fysikk: radiosender (5 poeng)

Vi skal nå undersøke en annen kretsconfigurasjon (see Fig. 3). Nå skal den ikke-lineære komponenten X være koblet i parallell med en kondensator med kapasitans $C = 1.00 \mu\text{F}$. Disse to er så koblet i serie med en motstand med resistans $R = 3.00 \Omega$ og en ideell spenningskilde med konstant spenning $\mathcal{E} = 15.0 \text{ V}$. Det viser seg at denne kretsen svinger, siden den ikke-lineære komponenten X hopper fram og tilbake mellom de to delene av $I - V$ karakteristikken i løpet av en periode.



Figur 3: Kretsdiagram med komponent X , kondensator C , motstand R og spenningskilde \mathcal{E} .

- | | | |
|------------|--|-------|
| B.1 | Tegn inn på $I - V$ grafen hvordan svingningen går rundt i løpet av en periode. Angi også retningen (med eller mot klokken). Begrunn svaret ved å bruke likninger og skisser. | 1.8pt |
| B.2 | Finn et uttrykk for tidene t_1 og t_2 som systemet tilbringer i hver del av $I - V$ grafen i løpet av en periode. Bestem også tallverdiene. Finn den numeriske verdien til svingeperioden T . Se bort fra den tiden det tar å hoppe mellom delene på $I - V$ grafen. | 1.9pt |
| B.3 | Estimer det gjennomsnittlige effekttapet P til den ikke-lineære komponenten i løpet av en periode. Det er tilstrekkelig å angi riktig størrelsesorden. | 0.7pt |

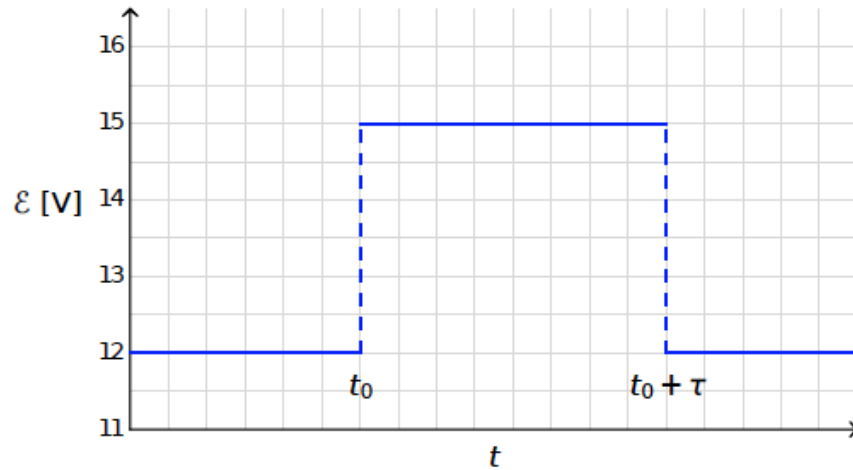
Kretsen i Fig. 3 benyttes til å bygge en radiosender. For dette formålet er det komponenten X festet til en ende av en lineær antenne (en lang rett ledning) med lengde s . Den andre enden av ledningen er fri. I antennen dannes en stående elektromagnetisk bølge. Hastigheten av elektromagnetiske bølger langs antennen er den samme som i vakuum. Senderen bruker grunnsvingningen til systemet, som har perioden T fra oppgave B.2.

- | | | |
|------------|--|-------|
| B.4 | Hva er den optimale verdien til s , hvis den må være kortere enn 1 km? | 0.6pt |
|------------|--|-------|

Pel C. Bistabile ikke-lineære komponenter i biologi: nevristor (2 poeng)

I denne delen av oppgaven skal vi se på bistabile ikke-lineære komponenter til å modellere biologiske prosesser. Et nevron i en menneskehjerne har følgende egenskap: Når den stimuleres av et ytre signal, foretar nevronet en enkel svingning og returnerer til opprinnelig tilstand. Denne egenskapen kalles eksitabilitet. Pga. denne egenskapen, kan pulser forplante seg i et nettverk av nevroner, som utgjør nervesystemet. En halvlederbrikke, som er designet til å simulere de nevne egenskapene, kalles en nevristor (kommer fra nevron og transistor).

Vi skal forsøke å modellere en enkel nevristor vha. en krets som inneholder den ikke-lineære komponenten X , brukt tidligere. For å få til dette, senkes spenningen \mathcal{E} i kretsen gitt i Fig. 3 til verdien $\mathcal{E}' = 12.0 \text{ V}$. Dermed stopper svingningene og systemet når sin stasjonære tilstand. Deretter økes spenningen raskt tilbake til verdien $\mathcal{E} = 15.0 \text{ V}$, og tidsrommet τ (with $\tau < T$) senkes spenningen igjen til verdien \mathcal{E}' (se Fig. 4). Det viser seg at det fins en bestemt kritisk verdi τ_{crit} , hvor systemet viser helt forskjellig oppførsel for henholdsvis $\tau < \tau_{\text{crit}}$ og $\tau > \tau_{\text{crit}}$.



Figur 4: Spenningen fra spenningskilden som funksjon av tid.

C.1	Skisser grafene for tidsavhengigheten til strømmen $I_X(t)$ gjennom den ikke-lineære komponenten X for $\tau < \tau_{\text{crit}}$ og for $\tau > \tau_{\text{crit}}$.	1.2pt
C.2	Finn et uttrykk for den kritiske tiden τ_{crit} og beregn den numeriske verdien for når systemet svitsjer.	0.6pt
C.3	Kan kretsen kalles en nevristor, når $\tau = 1.00 \times 10^{-6}$ s ?	0.2pt



Large Hadron Collider (10 poeng)

Vær vennlig å lese de generelle instruksjonene i den separate konvolutten før du begynner på denne oppgaven.

I denne oppgaven blir fysikken ved partikkelakseleratoren LHC (Large Hadron Collider) ved CERN diskutert. CERN er verdens største partikkelfysikklaboratorium. Hovedmålet er å få innsikt i de fundamentale naturlovene. To partikkelstråler blir akselerert til høye energier mens de holdes på plass i akseleratorringen av sterke magnetfelt før de kollideres med hverandre. Protonene er ikke jevnt fordelt utover hele omkretsen av akseleratoren, men de er samlet i såkalte bunter. Partiklene som skapes som følge av kollisjonene blir observert med store detektorer. Noen parametere for LHC kan bli funnet i tabell 1.

LHC-ringen	
Ringens omkrets	26659 m
Antall bunter per protonstråle	2808
Antall protoner i hvert bunt	1.15×10^{11}
Protonstråler	
Energi til protonener	7.00 TeV
Massesenterenergi	14,0 TeV

Tabell 1: Typiske numeriske verdier for relevante LHC-parametere

Partikkelfysikere bruker hensiktsmessige enheter for energi, bevegelsesmengde og masse: Energien blir målt i elektronvolt [eV]. Per definisjon er 1 eV mengden energi en partikkel med elementærladning, e , får når den forflyttes gjennom en potensialforskjell på én volt ($1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$).

Bevegelsesmengden blir målt i enheten eV/c og massen i enheten eV/c^2 , hvor c er lysfarten i vakuum. Siden 1 eV er et veldig lite mål på energi, bruker partikkelfysikere MeV ($1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$), GeV ($1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$) eller TeV ($1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$).

Del A handler om akselerasjonen av protoner eller elektroner. Del B handler om identifisering av partikler som skapes i kollisjoner ved CERN.

Del A. LHC-akseleratoren (6 poeng)

Akselerasjon:

Anta at protonene har blitt akselerert av en spenning V slik at farten deres er veldig nær lysfarten og se bort fra andre energitap som er forårsaket av stråling eller kollisjoner med andre partikler.

A.1 Finn det eksakte uttrykket for slutfarten v til protonene som en funksjon av akseleratorspenningen V og fysiske konstanter. 0.7pt

Et design for et fremtidig eksperiment ved CERN planlegger å bruke protonene fra LHC til å kollideres med elektroner som har en energi på 60,0 GeV.



- A.2** For partikler med høy energi og lav hvilemasse er den relative forskjellen $\Delta = (c - v)/c$ mellom slutfarten og lysfarten veldig liten. Finn en første ordens tilnærming for Δ og beregn Δ for elektroner med en energi på 60,0 GeV ved å bruke akselerasjonsspenningen V og fysiske konstanter. 0.8pt

Vi går nå tilbake til å se på protonene i LHC. Anta at strålerøret har en sirkelform.

- A.3** Utled et uttrykk for den homogene magnetiske flukstettheten B som er nødvendig for å holde protonstrålen på plass i en sirkulær bane. Uttrykket skal bare inneholde energien til protonene E , omkretsen L , fundamentale konstanter og tall. Du kan bruke passende tilnærminger hvis effekten deres er mindre enn presisjonen til minste antall gjeldende siffer. Beregn den magnetiske flukstettheten B for en protonenergi på $E = 7,00$ TeV. Se bort fra vekselvirkninger mellom protoner. 1.0pt

Utstrålt effekt

En akselerert ladd partikkel utstråler energi i form av elektromagnetiske bølger. Den utstrålte effekten P_{rad} til en ladd partikkel som går rundt i sirkel med konstant vinkelfart avhenger bare av dens akselerasjon a , ladningen q , lysfarten c , og permittiviteten i vakuum ϵ_0 .

- A.4** Bruk en dimensjonsanalyse for å finne et uttrykk for den utstrålte effekten P_{rad} . 1.0pt

Den virkelige formelen for utstrålt effekt inneholder en faktor $1/(6\pi)$; videre gir en fullstendig relativistisk utledning en multiplikativ tilleggsfaktor γ^4 , med $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$.

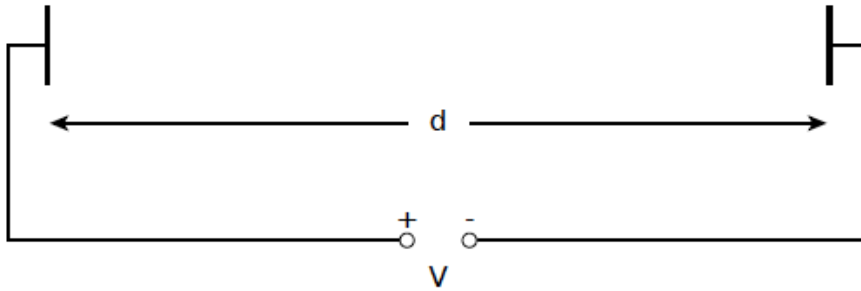
- A.5** Beregn den totale utstrålte effekten P_{tot} til LHC for en protonenergi $E = 7,00$ TeV (se tabell 1). Du kan bruke passende tilnærminger. 1.0pt

Lineær akselerasjon

Ved CERN blir protoner akselerert fra ro med en lineær akselerator med lengde $d = 30,0$ m gjennom en potensialforskjell på $V = 500$ MV. Anta at det elektriske feltet er homogent. En lineær akselerator består av to plater som skissert i Figur 1.



A.6 Bestem tiden T som protonene bruker for å passere gjennom dette feltet. 1.5pt



Figur 1: Skisse av en akseleratormodul

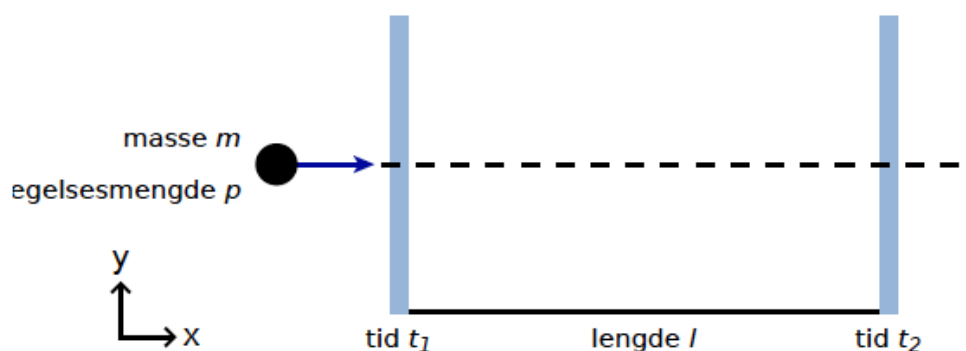
Del B. Partikkelidentifisering (4 poeng)

Flytid:

Det er viktig å identifisere høyenergipartikler som skapes i kollisjonene for å tolke vekselvirkningsprosessen. En enkel metode er å måle tiden (t) som en partikkel med kjent bevegelsesmengde trenger for å passere en lengde l i en såkalt flytid-detektor (ToF, Time of Flight). Typiske partikler som blir identifisert i detektoren, er gitt i tabell 2 sammen med tilhørende masse.

Partikkel	Masse [MeV/c^2]
Deuteron	1876
Proton	938
Ladet Kaon	494
Ladd Pion	140
Elektron	0,511

Tabell 2: Partikler med masse

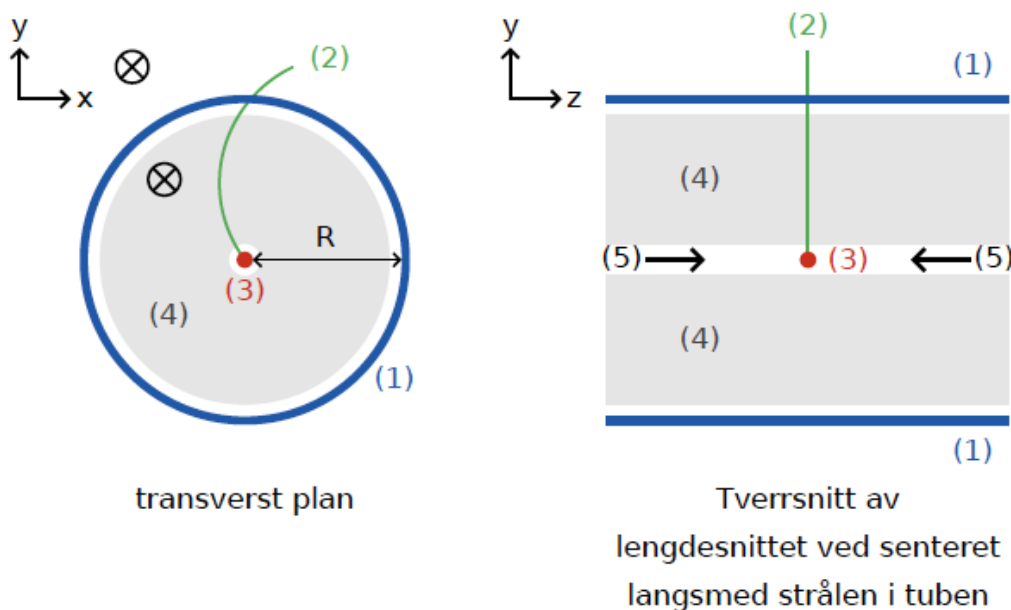


Figur 2: Skisse av en flytid-detektor.

- B.1** Uttrykk partikkelmassen m uttrykt ved bevegelsesmengden p , flylengden l og flytiden t , ved å anta at partikler har elementærladning e og beveger seg med fart opp mot c i rette baner i ToF-detektoren og at de beveger seg vinkelrett på de to deteksjonsplanene (se figur 2). 0.8pt

B.2 Beregn den minste lengden l til en ToF-detektor som med sikkerhet tillater å skille et ladd kaon fra et ladd pion gitt at begge bevegelsesmengde blir målt til å være $1.00 \text{ GeV}/c$. For å kunne gjøre et godt skille er det påkrevd at forskjellen i flytiden er større enn tre ganger tidsoppløsningen til detektoren. Den typiske oppløsningen til en ToF-detektor er 150 ps ($1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$). 0.7pt

I det følgende blir partikler som produseres i en typisk LHC-detektor identifisert i en to-trinns detektor som består av en sporingdetektor og en ToF-detektor. Figur 3 viser oppsettet på tvers av (transvers) og planet langs med protonstrålene. Begge detektorene er tuber som ligger rundt vekselvirkningsområdet med strålen som passerer i midten av tuben. Sporingdetektoren måler banen til en ladd partikkel som passerer gjennom et magnetfelt hvis retning er parallell med protonstrålene. Radien r til banen tillater bestemmelse av den transverselle bevegelsesmengden p_T til partikkelen. Siden kollisjonstiden er kjent trenger ToF-detektoren bare en tube for å måle flytiden som er målt fra kollisjonspunktet og til ToF-tuben. Denne ToF-tuben er plassert rett utenfor sporingkammeret. I denne oppgaven kan du anta at alle partikler som skapes i kollisjonen beveger seg vinkelrett på protonstrålene, dvs at partiklene som skapes ikke har bevegelsesmengde langs retningen til protonstrålene.



- (1) - ToF-tube
- (2) - spor
- (3) - kollisjonspunkt
- (4) - sporingstube
- (5) - protonstråler
- ⊗ - magnetisk felt

Figure 3 : Eksperimentelt oppsett for partikkelidentifisering med sporingkammer og en ToF-detektor. Begge detektorene er tuber som omkranser kollisjonspunktet i midten. Venstre : tverrsnitt vinkelrett på strålerøret. Høyre : lengdesnitt parallelt med strålerøret. Partikkelen beveger seg vinkelrett på strålerøret.



B.3 Uttrykk partikkelmassen ved hjelp av den magnetiske flukstettheten B , radien til ToF-tuben, fundamentale konstanter og de målte størrelsene: radius r til banen og flytiden t . 1.7pt

Vi oppdager fire partikler og ønsker å identifisere dem. Den magnetiske flukstettheten i sporingsdetektoren var $B = 0,500$ T. Radien R til ToF-tuben var $3,70$ m. Her er målingene ($1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$):

Partikkel	Radius til banen r [m]	Flytid t [ns]
A	5,10	20
B	2,94	14
C	6,06	18
D	2,31	25

B.4 Identifiser de fire partiklene ved å beregne massene deres. 0.8pt

IPhO2015

<http://www.ipho2015.in/questions-and-solutions/>