NTNU
Det skapende universitet

Institutt for fysikk

# Eksamensoppgave i
# TFY4170 Fysikk 2

**Faglig kontakt under eksamen: Justin Wells**

**Tlf.: 45 16 36 97**

**Eksamensdato: 10. desember 2014**

**Eksamenstid (fra-til): 0900-1300**

**Hjelpemiddelkode/Tillatte hjelpemidler:** ***C (Godkjent kalkulator)***

**Annen informasjon**: Hver delspørsmål gi 2 poeng for en fullstendig og korrekt svar. Ufullstendige eller delvis riktige svar får mellom 0 og 2 poeng. Det totale antall poeng tilgjengelig i hvert spørsmål er indikert i eksamen. Totalen for alle spørsmålene er 50 poeng.

Eksamen teller 100% på sluttkarakteren.

**Målform/språk: English, Bokmål, Ny Norsk.**

**Antall sider med oppgaver: 4 per språk**

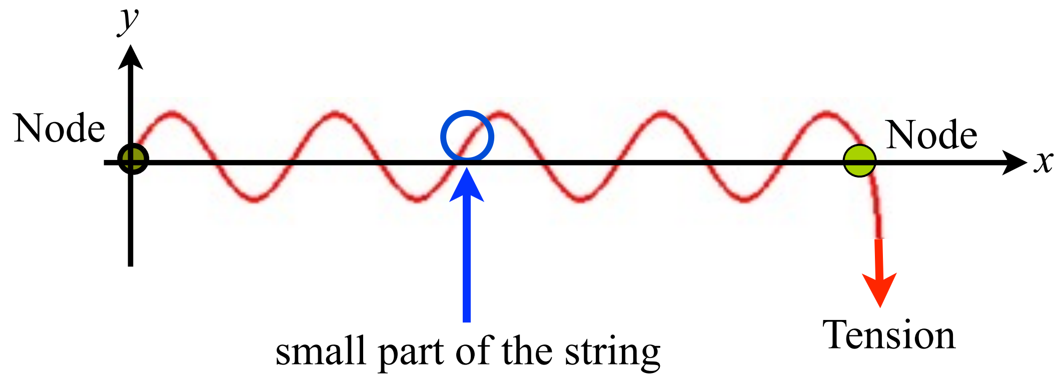
**Antall sider med formler og uttrykk: 2**

**Kontrollert av:**

Dato Sign

# TFY 4170 - exam (English)

**Question 1: Waves on a string.**
The figure illustrates a wave on a string.




Consider the small part of the string (length=$\Delta x$) indicated in blue. The component of the tension acting in the $y$-direction ($T_y$) is approximated as:

$$T_y = T\Delta x \frac{\partial^2 y(x)}{\partial x^2}$$

(where $y$ is the displacement of the string from the equilibrium position). The acceleration of this part of the the string in the y-direction is given by:

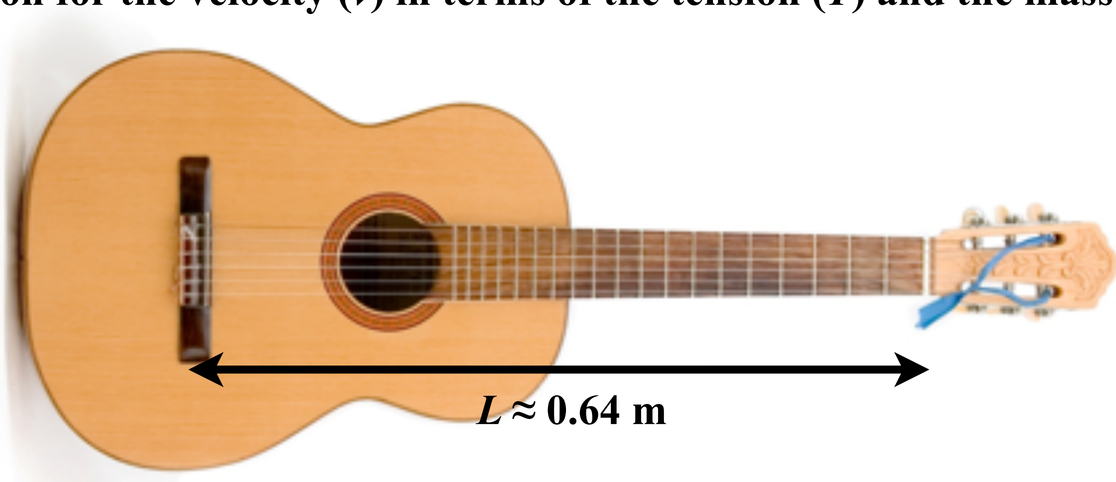
$$\Delta m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = T_y, \qquad \Delta m \approx \mu \Delta x$$

($\Delta m$ is the mass of the small part of the string and $\mu$ is the mass per unit length)

**a) Use the above expressions to show that this part of the string follows the wave equation:**

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

**b) Find an expression for the velocity ($v$) in terms of the tension ($T$) and the mass per unit length ($\mu$).**




A guitar string has a node at each end. When played, standing waves are created on the strings. (note: use the length $L$=0.64 m)

**c) What possible wavelengths can the standing waves have?**

**d) find an expression for the frequency of the fundamental standing wave (i.e. n=1). hint:** $f = \frac{v}{\lambda}$

The lowest pitched string is tuned to $f$ = 82 Hz and has a mass per unit length of 6.8 mg/m.
**e) Estimate the tension of the string.**

The highest pitched string is 2 octaves higher, which means that it has a frequency 4 times higher.
**f) If all the strings have the same mass per unit length, What is the tension of this string? (do you think that this is possible?)**

Actually, each string has a similar tension, but not a similar mass per unit length.
**g) If the highest and lowest strings should have similar tension, estimate the mass per unit length of the highest string.**

*Each part of the question gives 2 points. The maximum for this question is 14*

**Question 2: Electromagnetic waves**

It is possible to use Maxwell's equations to derive the following relationship for the electric field:

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \mu\epsilon \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2}$$

We also know that a general form of the wave equation is: $\frac{\partial^2}{\partial t^2} y(x,t) = v^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x,t)$

**a) Show that $\mathbf{E}(x,t) = E_0 \hat{\mathbf{y}} \exp i(\omega t - kx)$ satisfies both of the above equations.**

**b) Derive an expression for the wave velocity in terms of $\omega$ and $k$.**

**c) Derive an expression for the wave velocity in terms of $\mu$ and $\varepsilon$.**

Consider that $\mathbf{E}(x,t) = E_0 \hat{\mathbf{y}} \exp i(\omega t - kx)$ describes an electromagnetic wave propagating in vacuum.

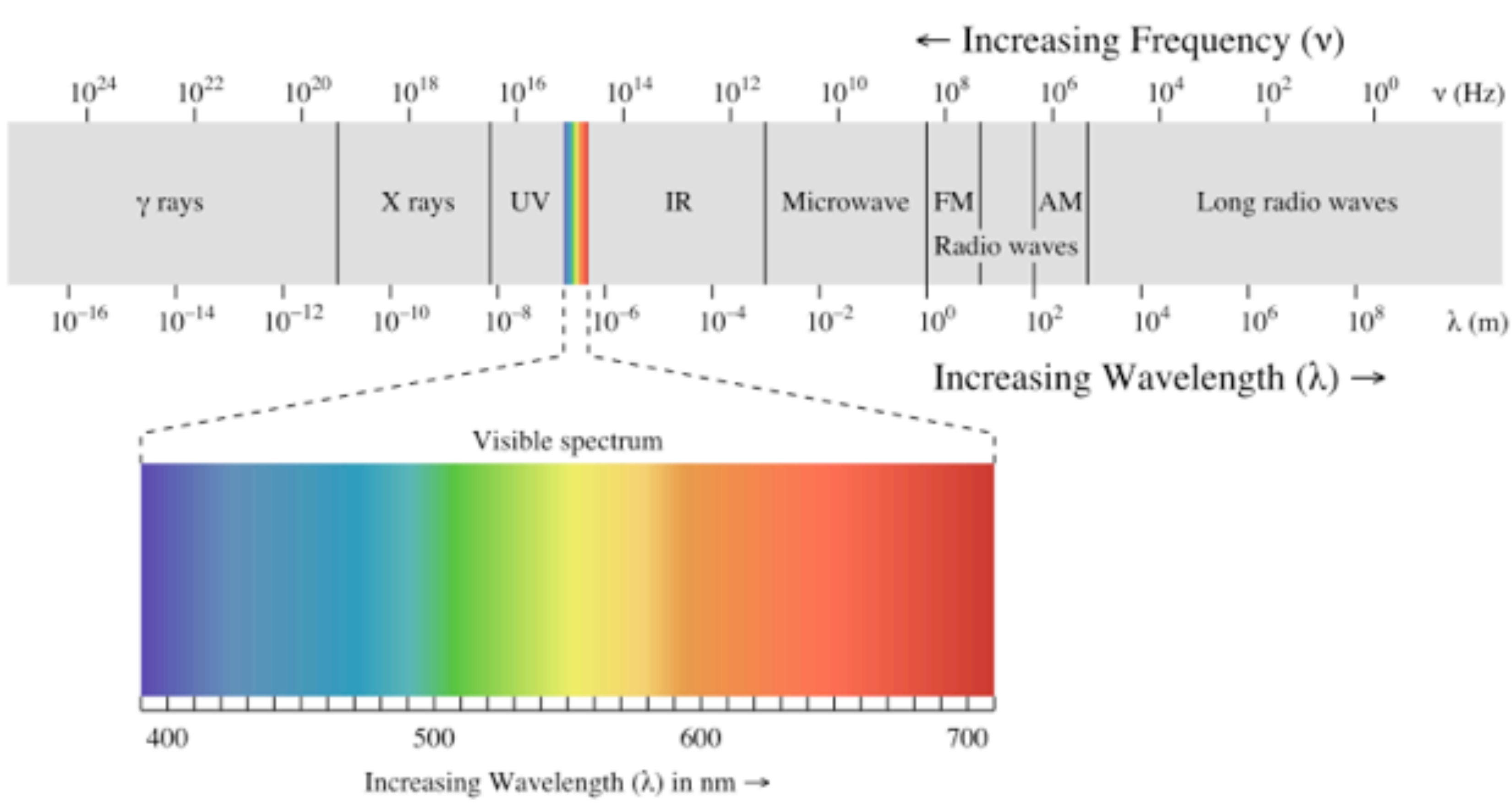
**d) What is the velocity? In which direction is the wave propagating?**

If this is an electromagnetic wave, then there must also be a magnetic oscillation.

**e) Describe the magnetic field (i.e. direction of oscillation, direction of propagation, velocity)**

*Each part of the question gives 2 points. The maximum for this question is 10*

***The electromagnetic spectrum: This will be useful in question 3.***



**Question 3: Electromagnetic radiation**

The figure shows a device called a "Crooke's Radiometer". It consists of 4 panels/ blades which are black on the front side and white on the back side. It is in vacuum (inside a glass bulb) and able to rotate around the central point (which has very low friction - i.e. approximately zero). When light shines on it, it rotates with the black face moving away from the light source.

Crooke believed that this device was powered by radiation pressure. Assume that the blades are 1 $cm^2$ and that there centre is 2.5 cm from the centre of rotation. Assume that the incoming light shines straight onto the face of the blades.

**a) What is the force (Pressure x area) on a black face and a white face? Do you think that a rotation can be driven by radiation pressure?**

Reminders: $P=\langle S\rangle/c$ where $P$ is the radiation pressure, $\langle S\rangle$ is the Poynting vector, and has magnitude equal to the power per unit area (around 1340 $W/m^2$ for sunlight).

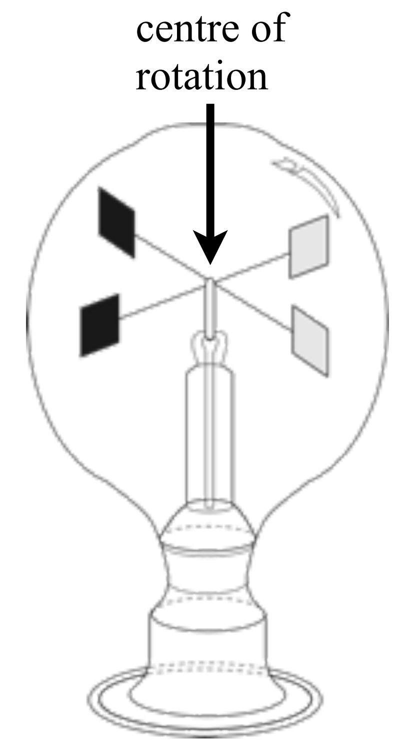



*Figure: Crooke's radiometer*

It is also possible to consider light to be made of particles, called photons.
The average wavelength of solar radiation is in the middle of the visible region (i.e. green/yellow).

**b) Estimate the average momentum of a photon from the sun? How many photons per second are hitting each blade of the radiometer?**
hint: momentum=$h/\lambda$

When electromagnetic waves interact with a crystal, it is possible to see interference and diffraction. This can be used to investigate the spacing of atoms in a material. One example of this is *Bragg diffraction* (see figure).

We want to build a diffractometer to investigate common materials such as silicon
(lattice spacing $d_{Si}$ = 0.54 nm);

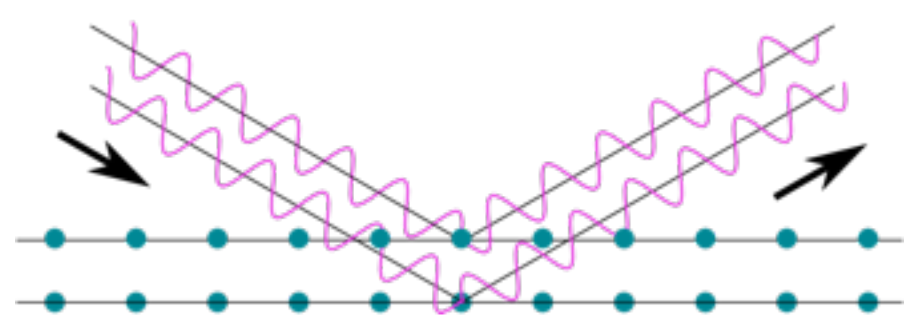


*Figure: Bragg diffraction*

**c) Derive an expression for the Bragg diffraction condition (i.e. angle at which the constructive interference occurs) in terms of wavelength and lattice spacing.**

Our diffractometer could use electromagnetic waves, or an electron beam.

**d) If we want to see the first Bragg peak at angle θ≃30° what wavelength radiation do we need? What kind of electromagnetic radiation is this (i.e. is it visible, UV...)?**

**e) If we instead use an electron beam, what velocity do the electrons need? Comment on whether you think it is better to use electrons or electromagnetic radiation.**

*Each part of the question gives 2 points. The maximum for this question is 10*

**Question 4: Electrons in a box.**

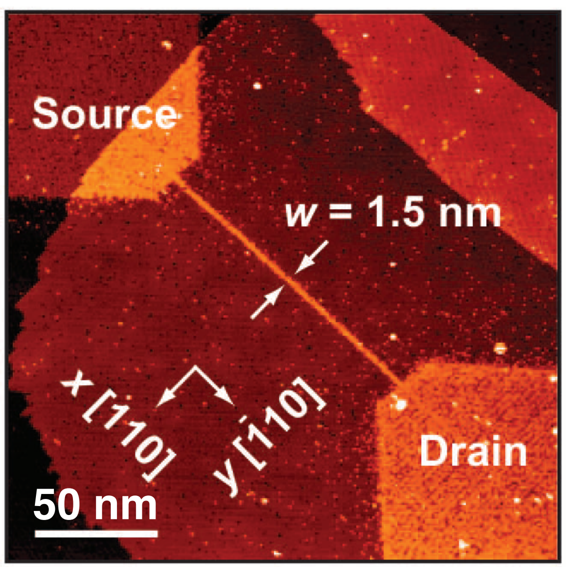
Consider an electron trapped inside a box of length L.
To solve the `particle in a box', we use the Schrödinger equation: $\left[-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2}+U(x)\right]\Psi(x)=E\Psi(x)$

Outside the box, $U(x)=\infty$. This means that the wavefunction $\Psi(x)=0$
Inside the box, $U(x)=0$.

**a) Show that the trial solution** $\Psi(x)=A\cos(kx)+B\sin(kx)$ **satisfies the Schrödinger equation inside the box.**

**b) By considering the boundary conditions:** $\Psi(x=0)=0$ **and** $\Psi(x=L)=0$ **find expressions for *A* and *B*.**

**c) Using your answers from above, find an expression for the possible energy states of the trapped electron.**




The figure shows "the world's smallest wire". According to the people who made it, it is the smallest ohmic wire ever made. It is approximately 1.5 nm wide and 120 nm long.

Look at the figure. We will now use the 1D infinite well approximation to investigate the long axis of this wire (i.e. $L$= 120 nm).

The Fermi energy for a metal wire is typically around 7 eV.

**d) What is the meaning of the term "Fermi energy"?**

**e) Approximately how many of the electronic states are occupied?**

**f) What is the typical energy separation of states at the Fermi level?**

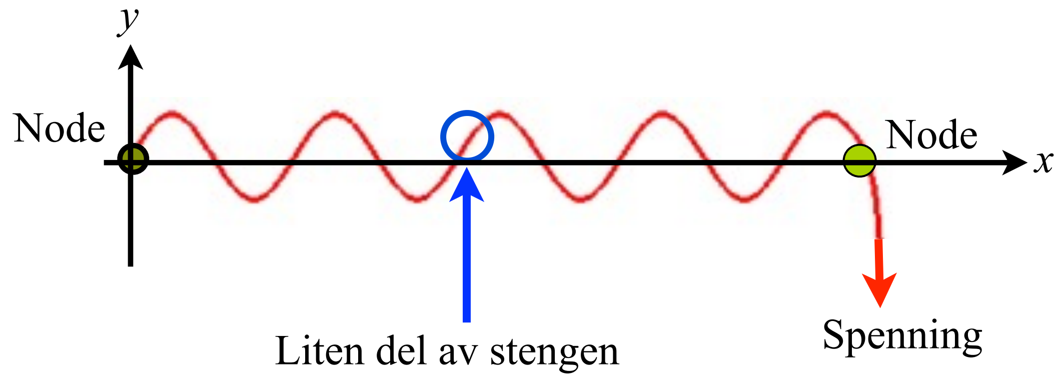
At room temperature, the thermal energy $K_B T$ is around 25 meV.
**g) compare your answer above with the thermal energy. Do you think that this wire will behave as a metallic conductor at room temperature?**

**h) Is it reasonable to use the 1D infinite well approximation for this wire? Do you think it is useful for understanding the real behaviour of the wire?**

*Each part of the question gives 2 points. The maximum for this question is 16*

# TFY 4170 - examen (Bokmål)

**Spørsmål 1: Bølger på en streng.**
Figuren illustrerer en bølge på en streng.




Betrakt den lille delen av strengen (lengde = $\Delta x$) angitt i blått. Den komponent av spenningen som opptrer i $y$-retningen ($T_y$) approksimeres som:

$$T_y = T\Delta x \frac{\partial^2 y(x)}{\partial x^2}$$

(hvor $T_y$ er forskyvningen av strengen fra likevektsposisjon). Akselerasjon av denne delen av strengen i $y$-retningen er gitt ved:

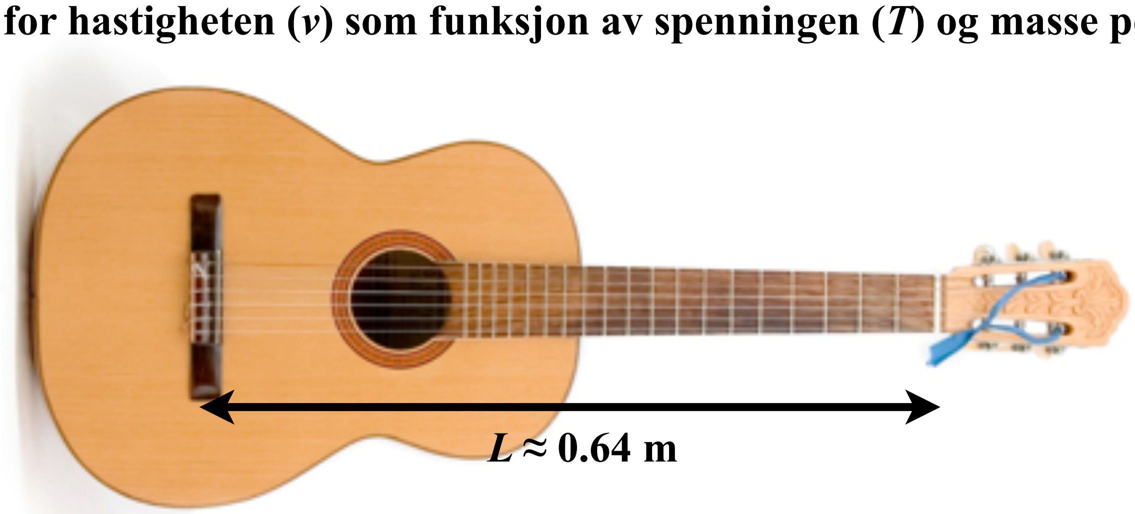
$$\Delta m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = T_y, \qquad \Delta m \approx \mu \Delta x$$

($\Delta m$ er massen av den lille del av strengen og $\mu$ er masse pr lengdeenhet)

**a) Bruk uttrykkene over til å vise at denne delen av strengen følger bølgeligningen:**

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

**b) Finn et uttrykk for hastigheten ($v$) som funksjon av spenningen ($T$) og masse per lengdeenhet ($\mu$).**




En gitarstreng har en node i hver ende. Når strengene spilles, blir stående bølger opprettet på strengene. (Merk: Bruk lengden $L = 0.64$ m)

**c) Hvilke mulige bølgelengder kan de stående bølgene har?**

**d) Finn et uttrykk for frekvensen av den fundamentale stående bølgen (dvs. $n = 1$). Hint:** $f = \dfrac{v}{\lambda}$

Strengen som gir den laveste tonen er avstemt til $f = 82$ Hz og har en masse pr lper engdeenhet på 6,8 mg/m.
**e) Anslå spenningen i strengen.**

Strengen som gir den høyeste tonen er to oktaver høyere, noe som betyr at den har en frekvens fire ganger høyere.
**f) Hvis alle strengene har samme masse per lengdeenhet, hva er spenningen i denne strengen? (tror du at dette er mulig?)**

Faktisk har hver av strengene samme spenning, men ikke samme masse per lengdeenhet.
**g) Hvis den høyeste og laveste strengen skal ha samme spenning, anslå massen per lengdeenhet av den høyeste strengen.**

*Hver del av spørsmålet gir 2 poeng. Maksimum for dette spørsmålet er 14*

**Spørsmål 2: Elektromagnetiske bølger**

Det er mulig å bruke Maxwells ligninger for å utlede følgende sammenheng for det elektriske feltet:

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \mu\epsilon \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2}$$

Vi vet også at en generell form av bølgeligningen er: $\frac{\partial^2}{\partial t^2} y(x,t) = v^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x,t)$

**a) Vis at $\mathbf{E}(x,t) = E_0 \hat{\mathbf{y}} \exp i(\omega t - kx)$ tilfredsstiller begge de ligningene over.**

**b) Utled et uttrykk for den bølgehastigheten som funksjon av ω og *k*.**

**c) Utled et uttrykk for den bølgehastigheten som funksjon av μ og ε.**

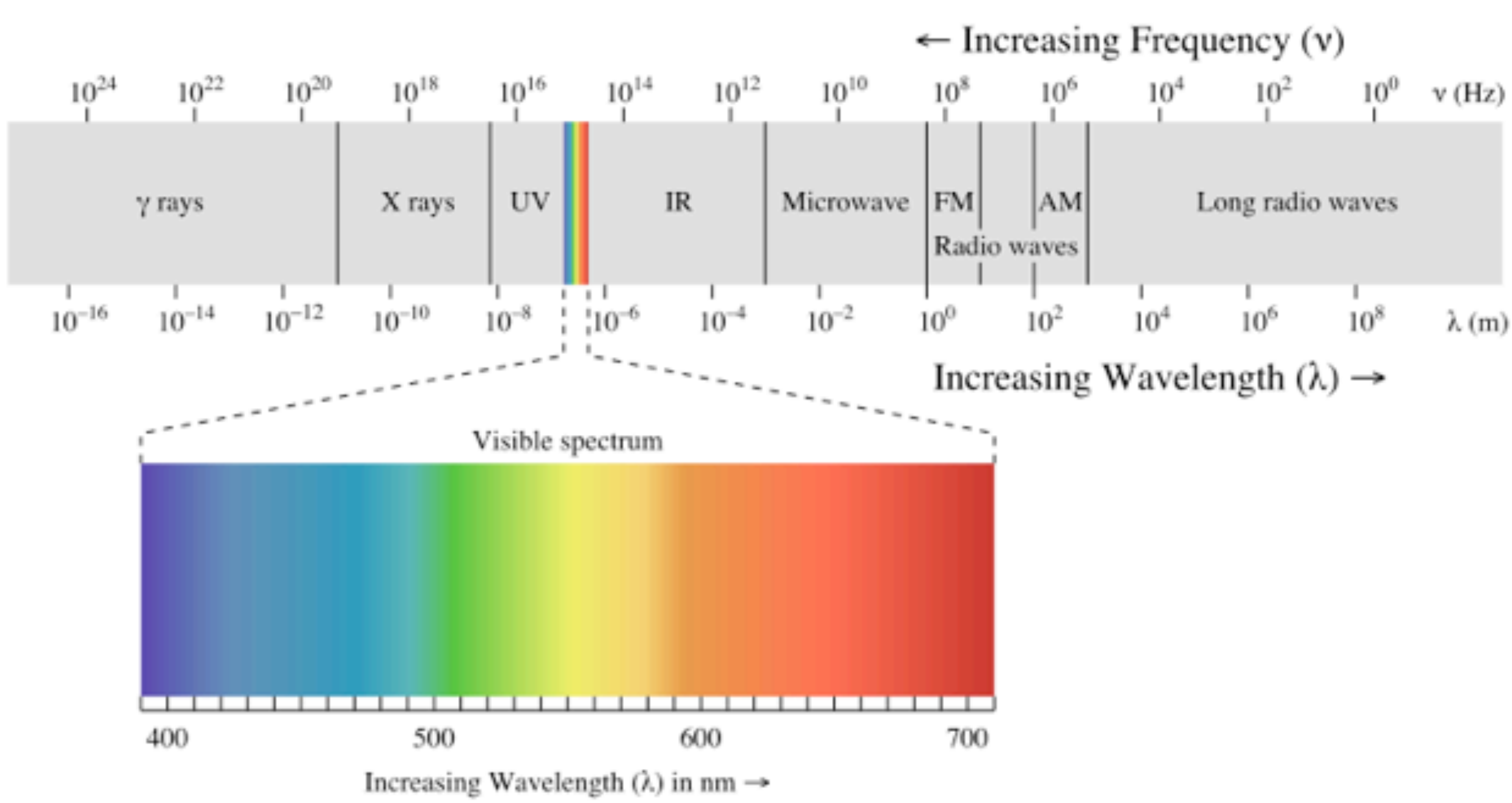
Tenk det at at $\mathbf{E}(x,t) = E_0 \hat{\mathbf{y}} \exp i(\omega t - kx)$ beskriver en elektromagnetisk bølge som forplanter seg i vakuum.

**d) Hva er bølgehastigheten? I hvilken retning forplanter bølgen seg?**

Hvis dette er en elektromagnetisk bølge, så må det også være en magnetisk bølge.
**e) Beskriv i ord det magnetiske feltet (dvs. svigningsretning, forplantningsretning, hastighet)**

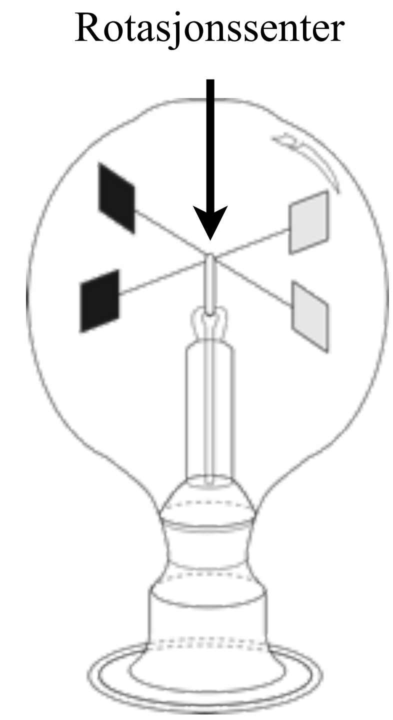
*Hver del av spørsmålet gir 2 poeng. Maksimum for dette spørsmålet er 10*

***Det elektromagnetiske spektrum: Dette vil være nyttig i spørsmål 3.***



**Spørsmål 3: Elektromagnetisk stråling**

Figuren viser et apparat som kalles et "Crookes Radiometer". Det består av fire paneler / blader som er svarte på forsiden og hvite på baksiden. De er i vakuum (inne i en glasspære) og kann rotere rundt det sentrale punktet (som har meget lav friksjon - dvs. omtrent null). Når lyset skinner på den, roterer den slik at de svarte overflatene beveger seg bort fra lyskilden.




*Figur: Crookes radiometer*

Crooke mente at denne enheten ble drevet av strålingstrykk. Anta at bladener er 1 $cm^2$, og at bladenes sentere er 2,5 cm fra rotasjonssenteret. Anta at det innkommende lyset skinner direkte på bladene.

**a) a) Hva er kraften (trykk x areal) på en svart overflate og en hvit overflate? Tror du at en rotasjon kan være drevet av strålingstrykk?**

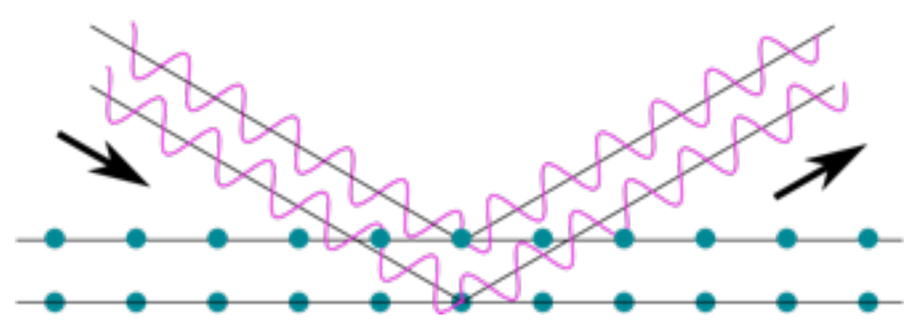
Påminnelser: $P = \langle S \rangle / c$ hvor $P$ er strålingstrykket , $\langle S \rangle$ er Poynting-vektoren, og har størrelse tilsvarende kraften per arealenhet (rundt 1340 $W/m^2$ for sollys).

Det også mulig å tenke på lys som partikler, kalt fotoner.
Den gjennomsnittlige bølgelengden av solstråling er i midten av det synlige området (dvs. grønn / gul).

**b) Estimer den gjennomsnittlige bevegelsesmengden til et foton fra solen? Hvor mange fotoner per sekund er å treffer hvert blad av radiometeret?**
**hint: bevegelsesmengde=$h/\lambda$**

Når elektromagnetiske bølger samvirker med en krystall, er det mulig å se interferens og diffraksjon. Dette kan brukes til å undersøke avstanden mellom atomene i et materiale. Ett eksempel på dette er Bragg diffraksjon (se figur).

Vi ønsker å bygge et diffraktometer for å undersøke vanlige materialer som silisium.
(gitteravstand $d_{Si}$ = 0,54 nm)



*Figur: Bragg diffraksjon*

**c) Utled et uttrykk for Bragg diffraksjon (vinkelen hvor det oppstår konstruktiv interferens) som en funksjon av bølgelengde og gitteravstand.**

Vårt diffraktometer kan bruke elektromagnetiske bølger, eller en elektronstråle.

**d) Hvis vi ønsker å se den første Bragg toppen med på vinkel $\theta \simeq 30°$ hvilken bølgelengde må strålingen ha?**
**Hva slags elektromagnetisk stråling er dette (synlig lys, UV...)?**

**e) Hvis vi i stedet bruker en elektronstråle, hvilken hastighet må elektronene ha?**
**Kommentere om du tror det er best å bruke elektroner eller elektromagnetisk stråling.**

*Hver del av spørsmålet gir 2 poeng. Maksimum for dette spørsmålet er 10*

**Spørsmål 4: Elektroner i en boks.**

Betrakt et elektron fanget inne i en boks med lengde $L$.
For å løse “partikkel i en boks”, bruker vi Schrödinger ligningen:

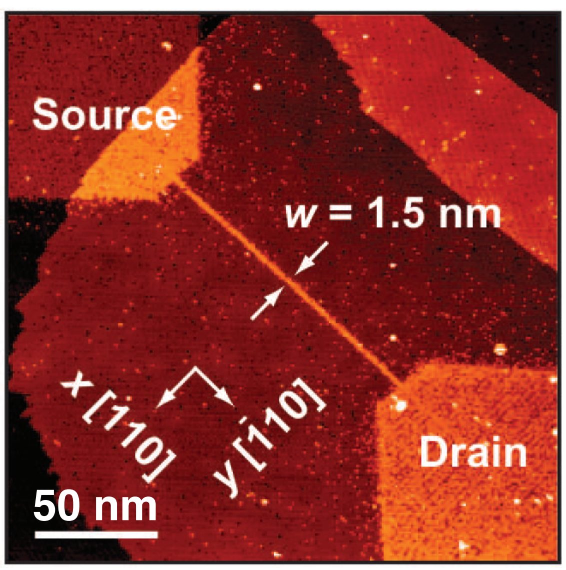
$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2}+U(x)\right]\Psi(x)=E\Psi(x)$$

Utenfor boksen er $U(x) = \infty$. Dette betyr at bølgefunksjonen $\Psi(x) = 0$
Inne i boksen er $U(x) = 0$.

**a) Vis at prøveløsningen $\Psi(x) = A\cos(kx) + B\sin(kx)$ tilfredsstiller Schrödingerligningen inne i boksen.**

**b) Ved å bruke grensebetingelsene: $\Psi(x=0)=0$ og $\Psi(x=L)=0$ finn et uttrykk for A og B.**

**c) Bruk svarene dine fra tidligere i oppgaven og finn et uttrykk for mulige energinivåer til elektronet fanget I boksen.**




Figuren viser "verdens minste ledning". Ifølge personene som har laget den, er det den minste ohmske ledningen noensinne laget. Det er ca.1,5 nm bred og 120 nm lang.

Se på figuren. Vi vil nå bruke 1D uendelig boks approksimasjonen for å undersøke den lange aksen av denne ledningen (dvs. $L$ = 120 nm).

Fermi energien for en metalltråd er typisk rundt 7 eV.

**d) Hva er betydningen av "Fermi energi"?**

**e) Omtrent hvor mange av de elektroniske nivåerene er okkupert?**

**f) Hva er den typiske energi separasjonen av energitilstander på Fermi-nivået?**

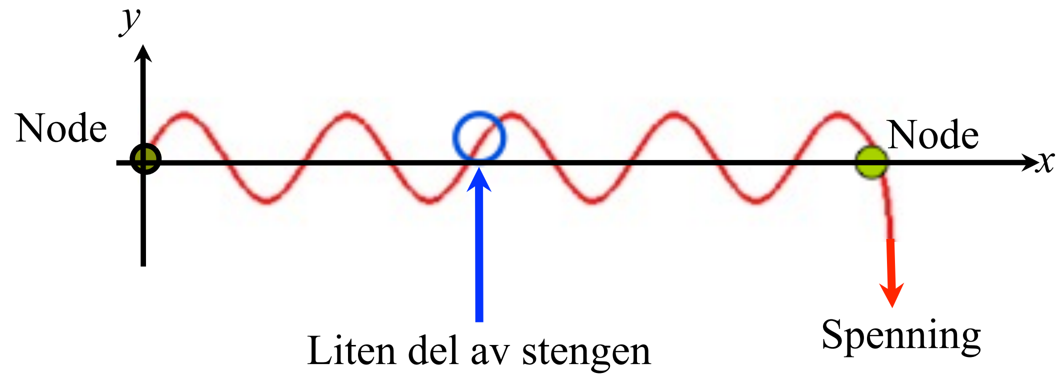
Ved romtemperatur er den termiske energien $K_B T$ rundt 25 meV.
**g) Sammenligne svaret ovenfor med den termiske energien. Tror du at denne ledningen vil oppføre seg som en metallisk leder ved romtemperatur?**

**h) Er det rimelig å bruke 1D uendelig boks approksimasjon for denne ledningen? Tror du det er nyttig for å forstå hvordan den virkelige ledningen faktisk fungerer?**

*Hver del av spørsmålet gir 2 poeng. Maksimum for dette spørsmålet er 16*

# TFY 4170 - eksamen (Nynorsk)

**Spørsmål 1: Bølgjer på ein streng.**
Figuren illustrerer ei bølgje på ein streng.




Betrakt den lille delen av strengen (lengde = $\Delta x$) angjeve i blått. Den komponenten av spenninga som opptrer i $y$-retninga ($T_y$) er tilnærmingsvis:

$$T_y = T\Delta x \frac{\partial^2 y(x)}{\partial x^2}$$

(kor $T_y$ er forskyvninga av strengen frå likevektsposisjon). Akselerasjon av denne delen av strengen i $y$-retninga er gjeve ved:

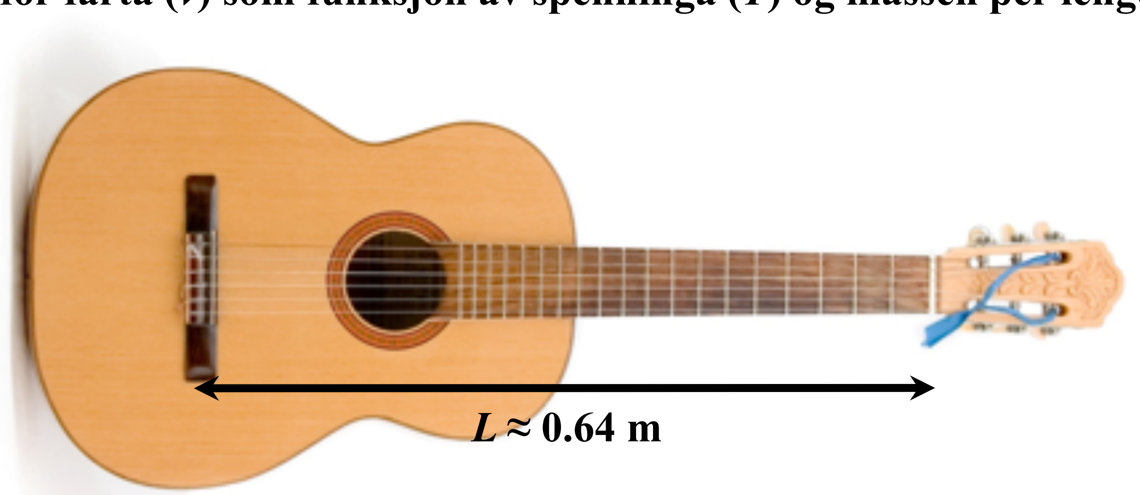
$$\Delta m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = T_y, \qquad \Delta m \approx \mu \Delta x$$

($\Delta m$ er massa av den lille delen av strengen og $\mu$ er masse per lengdeeining)

**a) Bruk uttrykka over til å vise at denne delen av strengen følgjer bølgjeligninga:**

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

**b) Finn eit uttrykk for farta ($v$) som funksjon av spenninga ($T$) og massen per lengdeeining ($\mu$).**




Ein gitarstreng har ei node i kvar ende. Når strengane spelast, blir ståande bølgjer oppretta.
(Merk: Bruk lengden $L$ = 0.64 m)

**c) Hvilke mogelege bølgjelengdar kan dei ståande bølgjene ha?**

**d) Finn eit uttrykk for frekvensen av den fundamentale ståande bølgja (dvs. $n$ = 1). Hint:** $f = \frac{v}{\lambda}$

Strengen som gjev den lågaste tona er avstemt til $f$ = 82 Hz og har ein masse per lengdeeining på 6,8 mg/m.

**e) Berekn spenninga i strengen.** Strengen som gjev den høgaste tona er to oktavar høgare, noko som betyr at den har ein frekvens fire gonger høgare.

**f) Om alle strengane har same masse per lengdeeining, kva er spenninga i denne strengen? (tror du at dette er mogeleg?)**

Faktisk har kvar av strengene same spenning, men ikkje same masse per lengdeeining.

**g) Om den høgaste og lågaste strengen skal ha same spenning, anslå massen per lengdeeining av den høgaste strengen.**

*Kvar del av spørsmålet gjev 2 poeng. Maksimum for dette spørsmålet er 14 poeng.*

**Spørsmål 2: Elektromagnetiske bølgjer**

Det er mogeleg å nytte Maxwells ligningar for å greie ut følgjande samanheng for det elektriske feltet:

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \mu\epsilon \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2}$$

Me veit også at ein generell form av bølgjeligninga er: $\frac{\partial^2}{\partial t^2} y(x,t) = v^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x,t)$

**a) Vis at** $\mathbf{E}(x,t) = E_0 \hat{\mathbf{y}} \exp i(\omega t - kx)$ **tilfredsstiller båe likningane over.**

**b) Grei ut eit uttrykk for bølgjehastigheita som funksjon av** $\omega$ **og** $k$**.**

**c) Grei ut eit uttrykk for bølgjehastigheita som funksjon av** $\mu$ **og** $\varepsilon$**.**

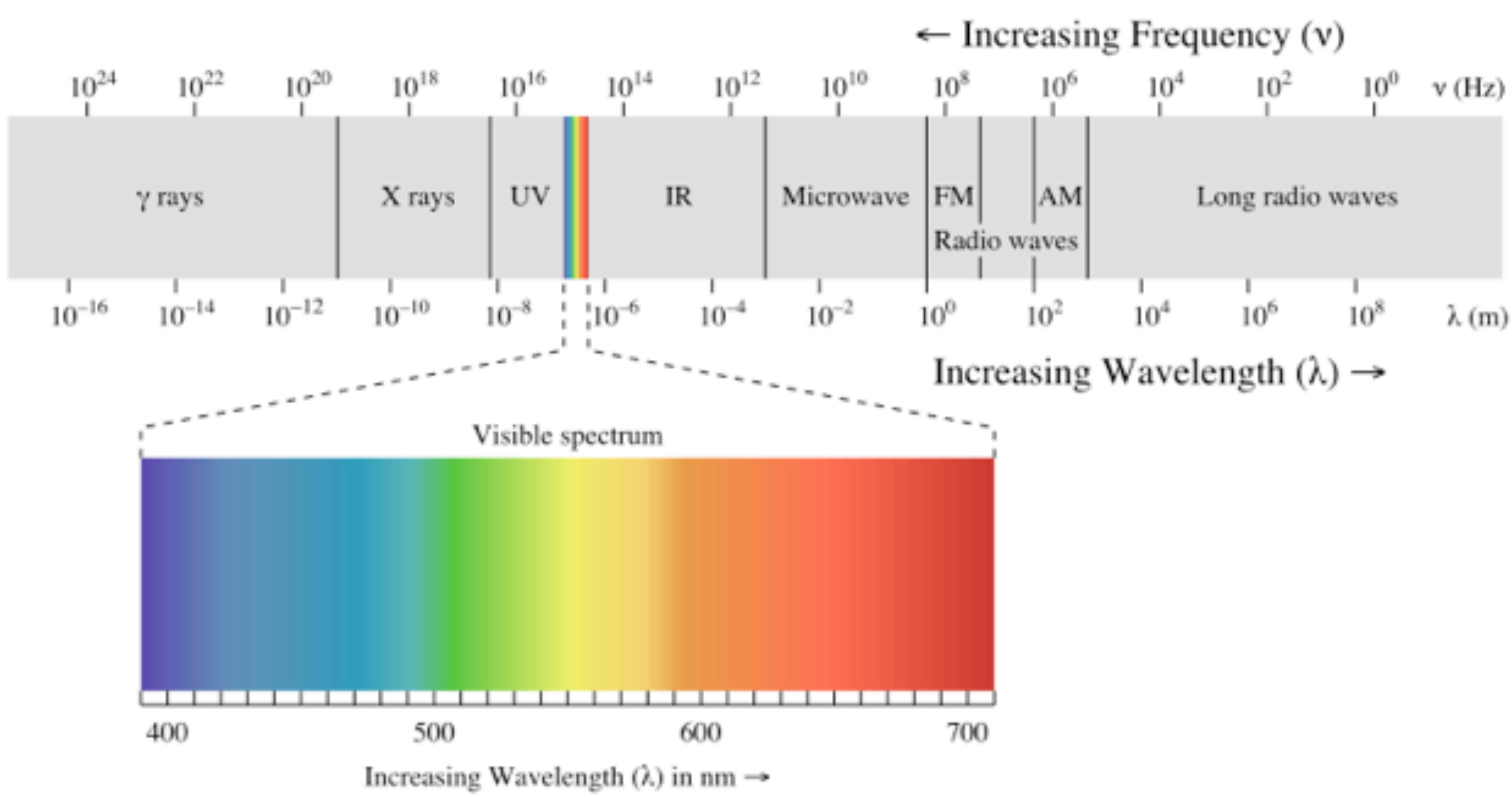
Tenk deg at $\mathbf{E}(x,t) = E_0 \hat{\mathbf{y}} \exp i(\omega t - kx)$ beskriv ei elektromagnetisk bølge som forplantar seg i vakuum.

**d) Kva er bølgjehastigheita? I kva for ei retning forplantar bølgja seg?**

Om dette er ei elektromagnetisk bølgje, så må det også vere ei magnetisk bølgje.
**e) Beskriv det magnetiske feltet (dvs. svingningsretninga, forplantningsretninga, hastigheita)**

*Kvar del av spørsmålet gjev 2 poeng. Maksimum for dette spørsmålet er 10 poeng*

***Det elektromagnetiske spektrum: Dette vil være nyttig i spørsmål 3.***



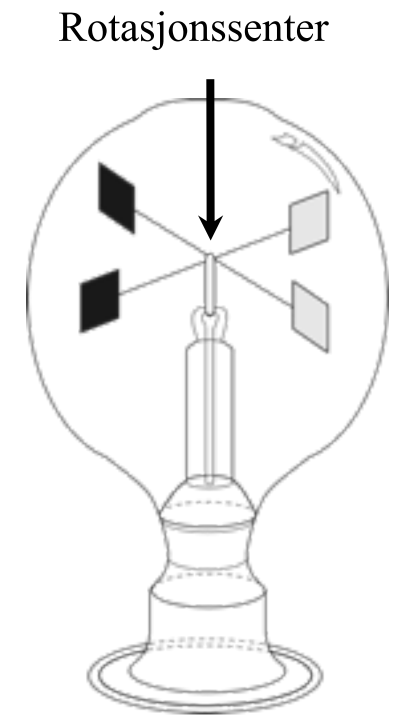
**Spørsmål 3: Elektromagnetisk stråling**

Figuren viser eit apparat som kalles eit "Crookes Radiometer". Det består av fire panel / blad som er svarte på framsida og kvite på baksida. Dei er i vakuum (inne i ei glasspære) og kan rotere rundt det sentrale punktet (som har særs låg friksjon - dvs. omtrent null). Når lyset skin på den, roterer den slik at dei svarte overflatene bevegar seg bort fra lyskjelda.

Crooke meinte at denne eininga blei dreve av strålingstrykk. Anta at blada er 1 $cm^2$, og at sentera av blada er 2,5 cm fra rotasjonssenteret. Anta at det innkomande lyset skin direkte på blada.

**a) Kva er krafta (trykk x areal) på ei svart overflate og ei kvit overflate? Trur du at ein rotasjon kan vere dreve av strålingstrykk?**

Påminningar: $P = \langle S \rangle / c$ kor $P$ er strålingstrykket , $\langle S \rangle$ er Poynting-vektoren, og har størrelse tilsvarande krafta per arealeining (omkring 1340 $W/m^2$ for sollys).



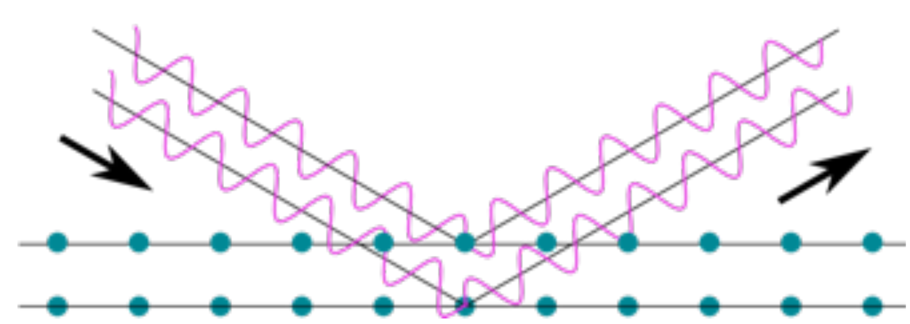

*Figur: Crookes radiometer*

Det også mogeleg å tenkje på lys som partiklar, kalt foton. Den gjennomsnittlege bølgelengda av solstråling er i midten av det synlege området (dvs. grønn / gul).

**b) Estimer den gjennomsnittlege rørslemengda til eit foton fra sola. Kor mange foton per sekund treffer kvart blad av radiometeret? hint: rørslemengde=$h/\lambda$**

Når elektromagnetiske bølgjer verkar saman med ein krystall, er det mogeleg å sjå interferens og diffraksjon. Dette kan nyttast til å undersøkje avstanden mellom atomane i eit materiale. Eit døme på dette er Bragg diffraksjon (sjå figur).

Me ynskje å byggje eit diffraktometer for å undersøkje vanlege materialar som silisium.(gitteravstand $d_{Si}$ = 0,54 nm)**c) Grei ut eit uttrykk for Bragg diffraksjon (vinkelen kor det oppstår konstruktiv interferens) som funksjon av bølgjelengde og gitteravstand.**



*Figur: Bragg diffraksjon*

Vårt diffraktometer kan nytte elektromagnetiske bølgjer eller ei elektronstråle.

**d) Om me ynske å sjå den første Bragg toppen med vinkel θ≈30°, kva for ein bølgjelengde må strålinga ha? Kva slags elektromagnetisk stråling er dette (syneleg lys, UV...)?**

**e) Om me i staden nyttar ei elektronstråle, hva for ein fart må elektronane ha? Kommenter om du tror det er best å nytte elektronar eller elektromagnetisk stråling.**

*Kvar del av spørsmålet gir 2 poeng. Maksimum for dette spørsmålet er 10 poeng.*

**Spørsmål 4: Elektronar i ein boks.**

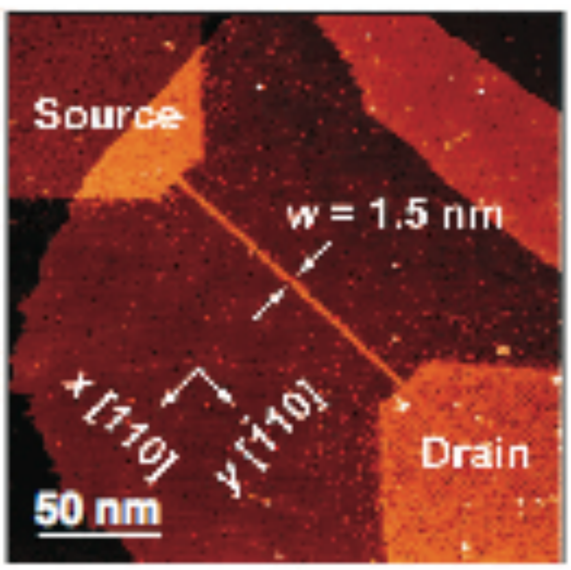
Betrakt eit elektron fanga inne i ein boks med lengde *L*.
For å løyse "partikkel i ein boks", nyttar me Schrödinger likninga: $\left[-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2}+U(x)\right]\Psi(x)=E\Psi(x)$

Utanfor boksen er $U(x) = \infty$. Dette betyr at bølgjefunksjonen $\Psi(x) = 0$
Inne i boksen er $U(x) = 0$.

**a) Vis at prøveløysinga $\Psi(x) = A\cos(kx) + B\sin(kx)$ tilfredsstiller Schrödingerlikninga inne i boksen.**

**b) Ved å nytte grensevilkåra: $\Psi(x = 0) = 0$ og $\Psi(x = L) = 0$ finn eit uttrykk for A og B.**

**c) Bruk svara dine frå tidllegare i oppgåva og finn eit uttrykk for mogelege energinivå til elektronet fanga i boksen.**




Figuren viser "verdas minste leidning". Ifølge personane som laga ho, er det den minste ohmske leidninga laga nokon gong. Ho er ca.1,5 nm brei og 120 nm lang.

Sjå på figuren. Me vil nå bruke 1D uendeleg boks tilnærminga for å undersøkje den lange aksen av denne leidninga (dvs. $L$ = 120 nm). Fermi energien for ein metalltråd er typisk rundt 7 eV.

**d) Kva er tydinga av "Fermi energi"?**

**e) Omtrent kor mange av dei elektroniske nivåa er okkupert?**

**f) Kva er den typiske energiseparasjonen av energitilstandar på Fermi-nivået?**

Ved romtemperatur er den termiske energien $K_B T$ rundt 25 meV.
**g) Sammenlign svaret ovanfor med den termiske energien. Trur du at denne leidningen vil oppføre seg som ein metallisk ledar ved romtemperatur?**

**h) Er det rimeleg å nytte 1D uendeleg boks tilnærminga for denne leidninga? Trur du det er nyttig for å forstå korleis den virkelege leidninga faktisk fungerer?**

*Kvar del av spørsmålet gir 2 poeng. Maksimum for dette spørsmålet er 16 poeng*

# Fundamental constants

| Quantity | Symbol | Approximate value |
|---|---|---|
| Acceleration of free fall (Earth's surface) | $g$ | $9.81\,\mathrm{m\,s^{-2}}$ |
| Gravitational constant | $G$ | $6.67\times10^{-11}\,\mathrm{N\,m^{2}\,kg^{-2}}$ |
| Avogadro's constant | $N_{\mathrm{A}}$ | $6.02\times10^{23}\,\mathrm{mol^{-1}}$ |
| Gas constant | $R$ | $8.31\,\mathrm{J\,K^{-1}\,mol^{-1}}$ |
| Boltzmann's constant | $k$ | $1.38\times10^{-23}\,\mathrm{J\,K^{-1}}$ |
| Stefan–Boltzmann constant | $\sigma$ | $5.67\times10^{-8}\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-4}}$ |
| Coulomb constant | $k$ | $8.99\times10^{9}\,\mathrm{N\,m^{2}\,C^{-2}}$ |
| Permittivity of free space | $\varepsilon_0$ | $8.85\times10^{-12}\,\mathrm{C^{2}\,N^{-1}\,m^{-2}}$ |
| Permeability of free space | $\mu_0$ | $4\pi\times10^{-7}\,\mathrm{T\,m\,A^{-1}}$ |
| Speed of light in vacuum | $c$ | $3.00\times10^{8}\,\mathrm{m\,s^{-1}}$ |
| Planck's constant | $h$ | $6.63\times10^{-34}\,\mathrm{J\,s}$ |
| Elementary charge | $e$ | $1.60\times10^{-19}\,\mathrm{C}$ |
| Electron rest mass | $m_{\mathrm{e}}$ | $9.110\times10^{-31}\,\mathrm{kg} = 0.000549\,\mathrm{u} = 0.511\,\mathrm{MeV\,c^{-2}}$ |
| Proton rest mass | $m_{\mathrm{p}}$ | $1.673\times10^{-27}\,\mathrm{kg} = 1.007276\,\mathrm{u} = 938\,\mathrm{MeV\,c^{-2}}$ |
| Neutron rest mass | $m_{\mathrm{n}}$ | $1.675\times10^{-27}\,\mathrm{kg} = 1.008665\,\mathrm{u} = 940\,\mathrm{MeV\,c^{-2}}$ |
| Unified atomic mass unit | $u$ | $1.661\times10^{-27}\,\mathrm{kg} = 931.5\,\mathrm{MeV\,c^{-2}}$ |

# Metric (SI) multipliers

| Prefix | Abbreviation | Value |
|---|---|---|
| tera | T | $10^{12}$ |
| giga | G | $10^{9}$ |
| mega | M | $10^{6}$ |
| kilo | k | $10^{3}$ |
| hecto | h | $10^{2}$ |
| deca | da | $10^{1}$ |
| deci | d | $10^{-1}$ |
| centi | c | $10^{-2}$ |
| milli | m | $10^{-3}$ |
| micro | µ | $10^{-6}$ |
| nano | n | $10^{-9}$ |
| pico | p | $10^{-12}$ |
| femto | f | $10^{-15}$ |