

SJØKRIGSSKOLEN  
Tirsdag 27.05.08

Fasit EKSAMEN VÅREN 2008

SENSORTEORI

Klasse OM2

Tillatt tid: 5 timer

Hjelpemidler:

Formelsamling Sensorteori OM2

Tabeller i fysikk for den videregående skole

Formelsamling i matematikk for den videregående skole

Kalkulator

Antall oppgaver: 4

Vektlegging er angitt i % på hver oppgave.

-----  
Jan R. Lien  
Sensor

Harald Totland  
Lærer

Lars Olav Tveita  
Lærer

**Oppg. 1 (25 %)**

Vi hengjer lodd med ulik masse  $m$  i ei fjør og måler forlenging  $x$  av fjøra. Resultatet er vist i tabellen:

Masse $m$ /gram	50	60	70
Forlenging $x$ /cm	8,0	9,7	11,0
$F/x = mg/x$ [N/m]	6,13	6,07	6,24

a) Finn fjørstivheten.

**Fjørstivheten  $k=6,15$  N/m.**

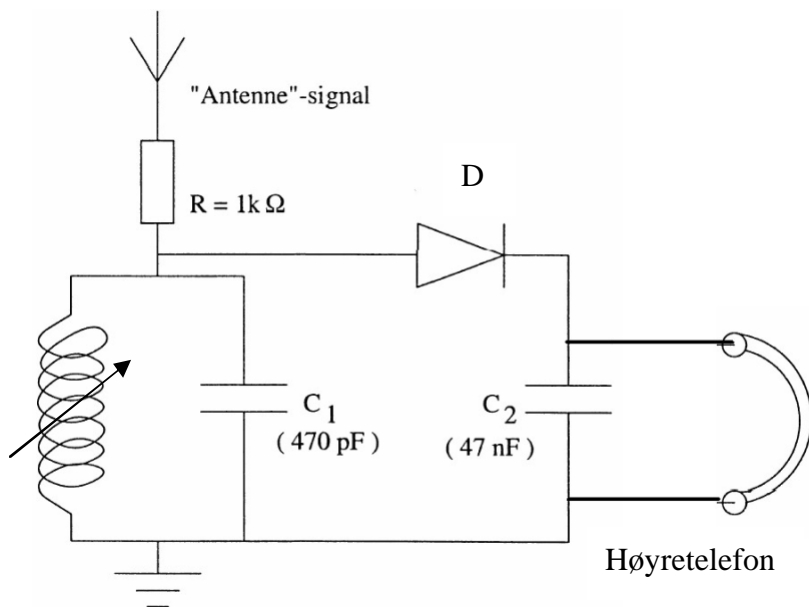
Med 50 g - loddet først hengande i ro i fjøra, startar vi svinging ved å dra loddet 5,0 cm nedover frå likevektsstillinga og sleppe det.

b) Finn frekvens for svinginga og skriv uttrykk for korleis utslaget og farten varierer med tida.

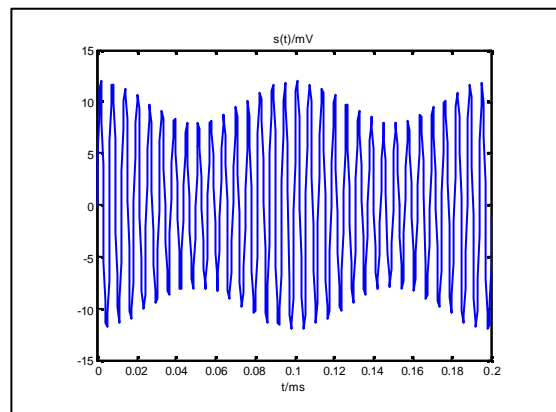
$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{6,15}{0,05}} = 11,0875 \quad f = \frac{\omega}{2\pi} = 1,76 \text{ Hz}$$

$$x(t) = -0,050 \cos(11,1t) \text{ m} \quad v(t) = x'(t) = A\omega \sin(\omega t) = 0,55 \sin(11,1t) \text{ m/s}$$

Figur 1 viser ein enkel radiomottakar (krystallapparat). Figur 2 viser eit radiosignal som antenna fangar opp.



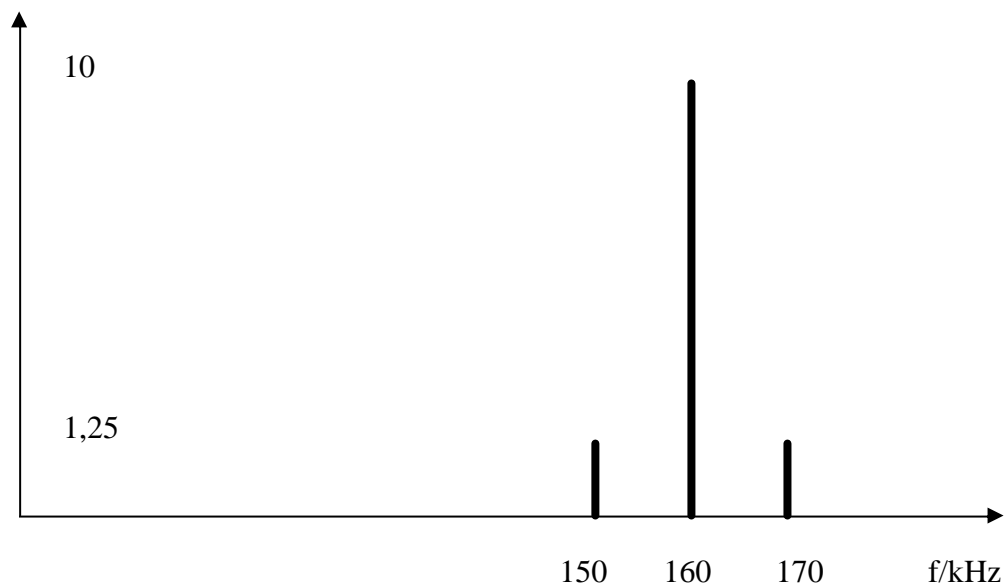
Figur 1. Enkel AM-mottakar (krystallapparat)



Figur 2. Antennesignal

c) Kva type modulasjon har dette signalet? Les av frekvensar for bæreboølge  $c(t)$  og for modulerande signal  $m(t)$  og skisser frekvensspektrum for signalet  $s(t)$ .

**Dette er amplitudemodulert signal (AM). Frekvensar:  $f_c=160$  kHz,  $f_m=10$  kHz**



$$s(t) = 10V[1 + 0,25\cos\omega_m t] \sin\omega_c t = 10V\sin\omega_c t + 1,25\sin(\omega_c - \omega_m)t + 1,25\sin(\omega_c + \omega_m)t$$

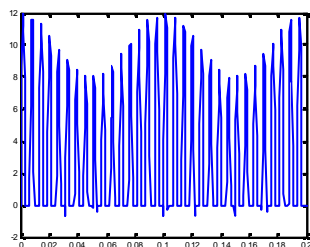
d) Finn den induktansen til den variable spolen som gir best mottaking (resonans).

$$\omega^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow L = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{(2\pi \cdot 160 \text{ kHz})^2 \cdot 470 \cdot 10^{-12}} = \underline{\underline{2,1 \text{ mH}}}$$

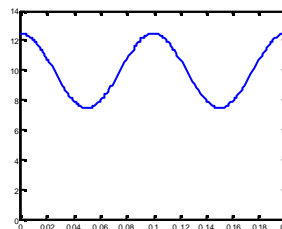
e) Kva misjon har dioden D og kondensatoren C<sub>2</sub>? Skisser signalet som går i ulike punkt i kretsen for å illustrere svaret.

*Dioden og kondensatoren utgjør ein demodulator (detektor). Dioden likerettar signalet ved å kutte den negative delen av signalet, kondensatoren kortsluttar dei høge frekvensane, glattar ut signalet, fungerer saman med motstanden R som eit lavpassfilter, dei lave frekvensane – tilsvarande det modulerande signalet - blir liggjande over høyretelefonen.*

Strøm gjennom dioden



Strøm gjennom høyretelefon

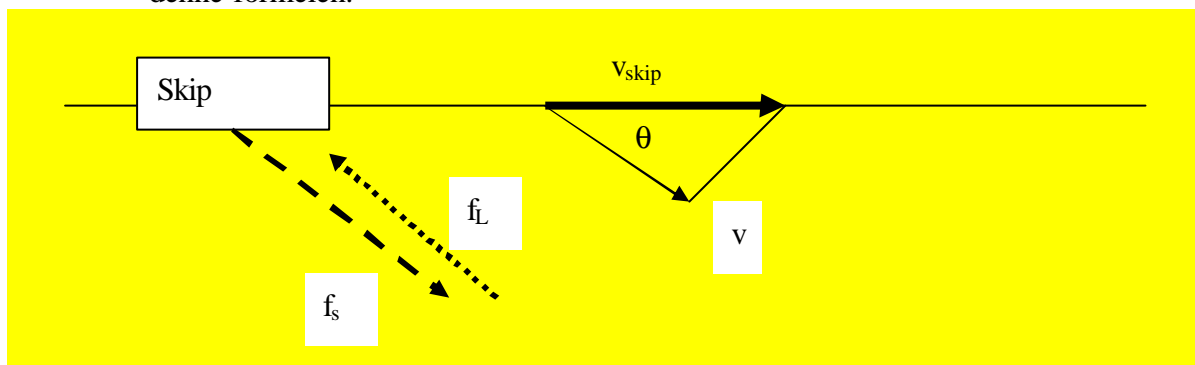


**Oppg. 2 (25 %)**

Ein dopplerlogg måler dopplerskift for reflekterte lydsignal frå botnen eller frå havmassane. Formelen for å finne farten til eit skip vha dopplerlogg er:

$$v_{skip} = \frac{c|\Delta f|}{2f_s \cos \mathbf{q}}$$

- a) Ta utgangspunkt i formlane for dopplereffekt for lyd og vis korleis vi kjem fram til denne formelen.



Når lydstrålen går nedover, er skipet sendar (S) og botnen eller sjøen lyttar (L). Positiv retning er oppover på skrå, og vi må bruke senderfart  $v_s = -v$ . Når lydstrålen kjem tilbake, er botnen eller sjøen sendar (S) og skipet lyttar (L). Positiv retning er då nedover på skrå, og vi må bruke lytterfart  $v_L = v$ .

$$\frac{f_L}{c + v_L} = \frac{f_s}{c + v_s} \quad \text{blir då} \quad \frac{f_L}{c + v} = \frac{f_s}{c - v}$$

$$f_L = \frac{c + v}{c - v} f_s \quad \text{og dopplerskiftet blir}$$

$$\Delta f = f_L - f_s = \left(\frac{c + v}{c - v} - 1\right) f_s = \frac{2v}{c - v} f_s \approx \frac{2v}{c} f_s \quad \text{når } v \ll c$$

$$\text{Farten til skipet er } v_{skip} = \frac{v}{\cos \mathbf{q}} = \frac{c \Delta f}{2 f_s \cos \mathbf{q}}$$

- b) Ein Atlas dopplerlogg brukar frekvens 79,00 kHz og tiltvinkel  $32^\circ$ . I eit tilfelle måler loggen beatfrekvens 750 Hz. Lydfarten i sjøen er 1500 m/s. Finn farten til skipet.

$$\text{Farten til skipet er } v_{skip} = \frac{c \Delta f}{2 f_s \cos \mathbf{q}} = \frac{1500 \text{ m/s} \cdot 750 \text{ Hz}}{2 \cdot 79 \cdot 10^3 \text{ Hz} \cdot \cos 32^\circ} = \underline{\underline{8,4 \text{ m/s}}}$$

Ei antenne for kontinuerleg radarstråle med bølglengde 12,0 cm sender ut gjennomsnittseffekt 1000 W. I avstand 10,0 m frå antenna måler vi midt i hovedloben ein maksimal elektrisk feltstyrke på 200 V/m. Radarstråla er horisontalt polarisert.

- c) Finn gjennomsnittintensiteten til radarstrålinga midt i hovedloben i denne avstanden.

$$\bar{I} = \frac{I_m}{2} = \frac{E_m^2}{2\mu_0 c} = \frac{(200\text{V/m})^2}{2 \cdot 377\Omega} = \underline{\underline{53 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}}$$

- d) Finn direktiviteten til antenna.

$$I_{iso} = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{1000 \text{ W}}{4\pi (10\text{m})^2} = 0,7958 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Gain: } G = \frac{I}{I_{iso}} = \frac{53 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{0,7958 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 66,66 \quad \text{Direktivitet } D = 10\lg G = \underline{\underline{18 \text{ dB}}}$$

- e) For å demonstrere faren som radarstråling kan representere, vil vi bruke radarstrålene til å steike bitar av wienerpølse i sentrum av hovedloben - denne gangen i avstand 2,0 m frå antenna. Vi går ut frå at pølsene har om lag samme eigenskapar som mus når det gjeld absorpsjon av radarbølger. Vi antar spesifikk varmekapasitet 2,0 kJ/kgK for pølser. Finn temperaturouke pr. minutt i pølsene dersom det ikkje er varmetap. Bruk SAR-kurvane i vedlegg. Kva retning vil du plassere pølsene – horisontalt/vertikalt, på langs /på tvers av retningen mot antenna – og kor lange ville du kutte pølsebitane for å oppnå maksimal oppvarming? Grunngi svara.

*Avstanden er 1/5 av den i d). Intensiteten er då 25x den i d):*

$$I = 53 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 25 = 1325 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Frekvens } f = \frac{c}{\lambda} = 2,5 \text{ GHz}$$

$$\text{Avlesing SAR-kurve: } SAR = 10^{0,4} \frac{\text{W}}{\text{kg}} = 2,5 \frac{\text{W}}{\text{kg}} \quad \text{når } I=10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

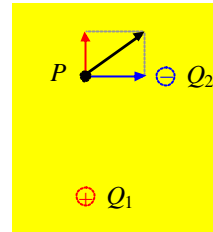
$$\text{Her er } SAR = 2,5 \cdot \frac{1325\text{W}}{10 \text{ kg}} = 333 \frac{\text{W}}{\text{kg}}$$

$$\text{Temperaturouke på 1 minutt: } \Delta T = \frac{SAR \cdot t}{c} = \frac{333 \frac{\text{W}}{\text{kg}} \cdot 60\text{s}}{2000\text{J/kgK}} = \underline{\underline{10 \text{ K}}}$$

*Pølsebitane bør ha lengderetning langs elektrisk feltvektor, dvs horisontalt på tvers av retningen mot antenna og lengde lik  $\lambda/2 = 6 \text{ cm}$  for å få best elektrisk dipolantenne.*

**Oppgave 3 (25 %)**

- a) To punktladninger,  $Q_1 = +5,0 \cdot 10^{-9}$  C og  $Q_2 = -3,0 \cdot 10^{-9}$  C, er plassert som vist på figuren. Punktet  $P$  er 6,0 cm fra  $Q_1$  og 4,0 cm fra  $Q_2$ . Tegn figur, og finn den elektriske feltstyrken i  $P$  (verdi og retning).



Den elektriske feltstyrken  $\vec{E}$  er vektorsummen av  $\vec{E}_+$  og  $\vec{E}_-$ . Absoluttverdiene er

$$E_+ = k_e \frac{Q_1}{r_1^2} = 8,99 \cdot 10^9 \cdot \frac{5,0 \cdot 10^{-9}}{0,06^2} \text{ N/C} = 12,5 \text{ kN/C}, \quad E_- = k_e \frac{|Q_2|}{r_2^2} = k_e \frac{3,0 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{(0,04 \text{ m})^2} = 16,9 \text{ kN/C},$$

$$E = \sqrt{E_+^2 + E_-^2} = \underline{\underline{21 \text{ kN/C}}} = \underline{\underline{21 \text{ kV/m}}}. \text{ Vinkelen mellom } \vec{E} \text{ og } \vec{E}_- \text{ er } \arctan \frac{E_+}{E_-} = \underline{\underline{36,5^\circ}}.$$

- b) Et elektron akselereres i vakuum fra den negative til den positive platen i en kondensator. Det tar  $9,5 \cdot 10^{-9}$  s. Avstanden mellom platene er 12 cm. Finn (i) spenningen og (ii) den elektriske feltstyrken mellom platene (i den rekkefølgen du foretrekker).

**Enten:**  $s = \frac{v_0 + v}{2} t, \quad v = \frac{2s}{t} = \frac{2 \cdot 0,12 \text{ m}}{9,5 \cdot 10^{-9} \text{ s}} = \underline{\underline{2,5 \cdot 10^7 \text{ m/s}}}. \quad W = \Delta E_k, \quad eU = \frac{1}{2} mv^2 - 0,$

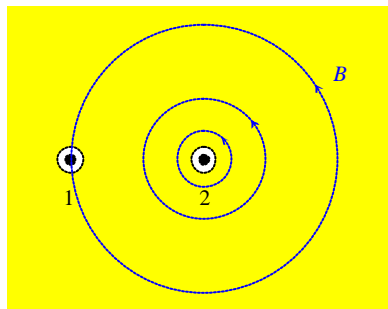
$$U = \frac{mv^2}{2e} = \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (2,5 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 1817 \text{ V} = \underline{\underline{1,8 \text{ kV}}}. \quad E = \frac{U}{d} = \frac{1817 \text{ V}}{0,12 \text{ m}} = \underline{\underline{15 \text{ kV/m}}}.$$

**Eller:**  $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2, \quad a = \frac{2s}{t^2} = \frac{2 \cdot 0,12 \text{ m}}{(9,5 \cdot 10^{-9} \text{ s})^2} = \underline{\underline{2,66 \cdot 10^{15} \text{ m/s}^2}}.$

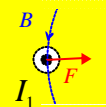
$$E = \frac{F}{q} = \frac{ma}{q} = \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 2,66 \cdot 10^{15} \text{ m/s}^2}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = \underline{\underline{15 \text{ kV/m}}}. \quad U = Ed = 15 \text{ kV/m} \cdot 0,12 \text{ m} = \underline{\underline{1,8 \text{ kV}}}.$$

- c) To rette, parallelle strømledere har strømretning ut av papirplanet. De vil da påvirke hverandre med krefter.

- (i) Lag en tegning som viser magnetfeltet skapt av strømmen i ledning 2.  
(ii) I hvilken retning peker magnetkraften på ledning 1? Begrunn svaret.



Høyrehåndsregelen: Rette fingre (strøm) ut av papiret, bøyde fingre (magnetfelt) nedover på arket  $\Rightarrow$  tommel (kraft) mot høyre:



- (iii) Blir magnetkraften på ledning 2 større, mindre eller like stor som magnetkraften på ledning 1 – eller er det ikke nok opplysninger til å avgjøre dette? Begrunn svaret.  
Ledning 2 påvirker ledning 1 med kraften  $F$  ovenfor. Ifølge Newtons 3. lov påvirker ledning 1 ledning 2 med en kraft som er like stor og motsatt rettet (dvs. ledningene tiltrekker hverandre).

d) Et fly flyr med farten 220 m/s over et område der jordas magnetfelt har en lodrett komponent på  $5,2 \cdot 10^{-5}$  T nedover. Avstanden mellom vingespissene er 70 m.

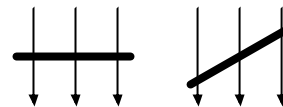
(i) Hvor stor er spenningen som blir induert mellom vingespissene?

$$e = vBl = 220 \text{ m/s} \cdot 5,2 \cdot 10^{-5} \text{ T} \cdot 70 \text{ m} = \underline{\underline{0,80 \text{ V}}}.$$

(ii) Hvilken av vingespissene er positiv? Begrunn svaret.

Høyrehåndsregelen: Rette fingre (fartstretning) fremover, bøyde fingre (magnetfelt) nedover  $\Rightarrow$  tommel (kraft på positive ladninger) mot venstre.

e) Et konstant og homogent magnetfelt på 0,50 T står vinkelrett på en ledersløyfe med areal  $0,40 \text{ m}^2$ . Ledersløyfen roteres  $30^\circ$  i løpet av 0,20 s (se figur). Finn den gjennomsnittlige induerte spenningen.



$$\Phi_1 = BA = 0,50 \text{ T} \cdot 0,40 \text{ m}^2 = 0,20 \text{ Wb}, \quad \Phi_2 = BA \cos j = 0,50 \text{ T} \cdot 0,40 \text{ m}^2 \cdot \cos 30^\circ = 0,173 \text{ Wb},$$

$$\bar{e} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\Delta t} = -\frac{0,20 \text{ Wb} - 0,173 \text{ Wb}}{0,20 \text{ s}} = \underline{\underline{0,13 \text{ V}}}.$$

#### Oppgave 4 (25 %)

a) Glødetråden i en 60 W lyspære har en temperatur på  $2500^\circ\text{C}$ .

(i) Hvor stort overflateareal har glødetråden?

Antar at glødetråden stråler som et svart legeme, med intensitet

$$I = \sigma T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4} \cdot (2500 + 273,15)^4 \text{ K}^4 = \underline{\underline{3,35 \cdot 10^6 \text{ W/m}^2}}.$$

$$P = I \cdot A, \quad A = \frac{P}{I} = \frac{60 \text{ W}}{3,35 \cdot 10^6 \text{ W/m}^2} = \underline{\underline{1,8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2}} = \underline{\underline{18 \text{ mm}^2}}.$$

(ii) Finn bølgelengden for maksimum i strålingen.

$$\lambda_{\text{topp}} = \frac{a}{T} = \frac{0,0029 \text{ Km}}{2773,15 \text{ K}} = \underline{\underline{1,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}}} = \underline{\underline{1,0 \text{ mm}}}.$$

(iii) Hvor mange prosent av effekten stråles ut som synlig lys (380–750 nm)? Plancks

$$\text{strålingslov for denne temperaturen er (med standard-enheter) } u = \frac{3,75 \cdot 10^{-16}}{I^5 \cdot \left( e^{\frac{5,2 \cdot 10^{-6}}{I}} - 1 \right)}.$$

$$I_{\text{synlig lys}} = \int_{I_1}^{I_2} u dI = \int_{380 \cdot 10^{-9}}^{750 \cdot 10^{-9}} \frac{3,75 \cdot 10^{-16}}{I^5 \cdot \left( e^{\frac{5,2 \cdot 10^{-6}}{I}} - 1 \right)} dI = \underline{\underline{2,61 \cdot 10^5 \text{ W/m}^2}}. \quad \text{Enten: } \frac{I_{\text{synlig lys}}}{I} = 0,078.$$

$$\text{Eller: } P_{\text{synlig lys}} = I_{\text{synlig lys}} \cdot A = 4,67 \text{ W}, \quad \frac{P_{\text{synlig lys}}}{P} = 0,078. \quad \text{Altså ca. } \underline{\underline{8 \%}}.$$

b) (i) Forklar begrepene n-doping og p-doping.

Doping: i en halvlederkrystall erstattes en (liten) del av atomene med lignende atomer, med det resultat at ledningsevnen øker kraftig. n-doping: fremmedatomene har ett elektron mer, disse ekstra elektronene blir ledningselektroner, altså negative ladningsbærere. p-doping: fremmedatomene har ett elektron mindre, hullene (ledige elektronplasser) blir positive ladningsbærere.

(ii) Forklar hvordan en pn-overgang må kobles til polene i et batteri for å lede strøm, og forklar hvorfor det ikke går omvendt.

p-siden til pluss og n-siden til minus. Med motsatt kobling – p til minus og n til pluss – vil både hull og ledningselektroner trekkes vekk fra grensesjiktet, som blir uten frie ladningsbærere.

(iii) Forklar hvorfor det dannes et permanent elektrisk felt i sperresjiktet i en pn-overgang.

Elektronene er i stadig bevegelse, noen av dem forlater n-siden – som dermed blir positivt ladet – og fyller hull på p-siden – som dermed blir negativt ladet. Det elektriske feltet går altså fra n- til p-siden.

(iv) Gi et eksempel på en anvendelse som utnytter det elektriske feltet omtalt i (iii).

Fotodiode, CCD: lysfotoner overfører energi til elektroner i atomene (indre fotoelektrisk effekt), det skapes ledningselektroner og hull, det elektriske feltet trekker disse til hver sin side.

c) Lyset fra en halvlederlaser brukt til avlesning av CD-ROM-plater, har bølgelengde 850 nm. Effekten er 2,0 mW. Hvor mange fotoner sendes ut pr. sekund?

$$\text{I løpet av ett sekund: } N = \frac{E}{E_{\text{foton}}} = \frac{Pt}{hf} = \frac{Pt}{h\frac{c}{\lambda}} = \frac{2,0 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot 1 \text{ s}}{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{850 \cdot 10^{-9} \text{ m}}} = \frac{2,0 \cdot 10^{-3} \text{ J}}{2,34 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = \underline{\underline{8,5 \cdot 10^{15}}}$$

d) (i) Hva er forskjellen(e) mellom et reelt og et virtuelt bilde, og hva må til for å registrere et virtuelt bilde?

Reelt bilde: lysstråler samles, bildet kan vises på en skjerm eller registreres av en detektor.

Virtuelt bilde: ingen lysstråler samles i bildeplanet; for å registrere bildet trengs en samlelinse (f.eks. øyet).

(ii) En spredelinse med brennvidde 12 cm blir brukt til å avbilde et objekt som er 20 cm unna. Finn bildeavstanden, og konstruer strålegangen.

$$f = -12 \text{ cm}, \quad a = 20 \text{ cm}, \quad \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}, \quad b = \frac{1}{\frac{1}{f} - \frac{1}{a}} = \frac{1}{-\frac{1}{12,0 \text{ cm}} - \frac{1}{20 \text{ cm}}} = \underline{\underline{-7,5 \text{ cm}}} \quad (\text{altså på samme siden av linsen som objektet}).$$



Vedlegg.

SAR-verdiar ved intensitet  $10 \text{ W/m}^2$  med E-felt parallelt med lengderetningen til kroppen.

