NORGES TEKNISK-
NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET
INSTITUTT FOR FYSIKK

Faglig kontakt under eksamen:
Førsteamanuensis Knut Arne Strand
Telefon: 73 59 34 61

EKSAMEN I FAG SIF 4014 FYSIKK 3

Onsdag 13. desember 2000

kl. 0900-1300

Bokmål

Hjelpemidler: B2

- K. Rottmann: Matematisk formelsamling
- O. Øgrim og B. E. Lian: Størrelser og enheter i fysikk og teknikk
- Typegodkjent kalkulator, med tomt minne, i henhold til liste utarbeidet av NTNU

Sensuren kan ventes i uke 2

Oppgave 1

Vi skal i denne oppgaven betrakte overflatebølger som forplanter seg på grenseflaten vann/luft.

Vi antar for pkt a, b og c at vi befinner oss med våre målinger et sted på Stillehavskysten og at det er generert bølger av et eneste stormsentrum svært langt borte slik at dønninger fra dette stormsenteret kommer inn mot stedet der vi befinner oss. Det vil si, vi antar at bølgene kommer inn mot målestasjonen vår med tilnærmet cosinus-form, men slik at frekvensen på cosinus-bølgene (fourierkomponentene) varierer etter som tiden går.

Vi antar videre (for pkt a, b og c) at det hele strekningen der bølgene har forplantet seg, er dypt nok til at vi kan nytte dypvannstilnærmingen av dispersjonsrelasjonen, dvs nytte:

$$\omega^2 = gk$$

der ω er vinkelfrekvens (= $2\pi / T$ der T er periodetid), $k = 2\pi / \lambda$ der λ er bølgelengde og g = 9,82 m/s^2.

a) Finn vinkelfrekvens og bølgelengde til den bølgelengdekomponenten (fourier-komponenten) som har periodetid lik 25 s !

b) Finn fasehastighet og gruppehastighet til den bølgelengdekomponenten som har periodetid T lik 25 s !

Vi antar nå at vi på målestasjonen ved en tid t_1 har registrert at bølgene har periodetid T lik 25 s og at vi ved en tid t_2 har registrert at de har periodetid T lik 19 s.

c) Finn avstanden l fra målestasjonen til stormsenteret når $t_2 - t_1$ er 48 timer !

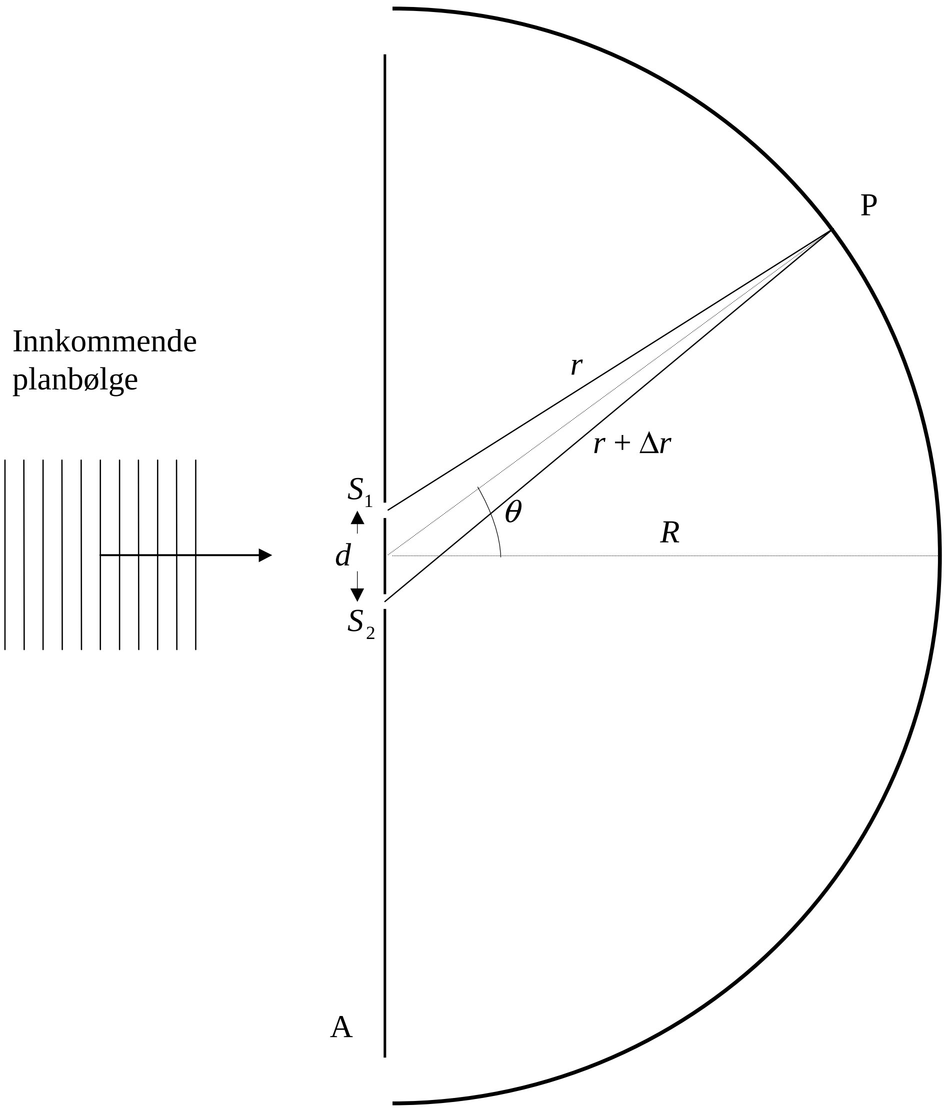
Vi betrakter så det tenkte tilfellet at et bølgetog bestående av mange bølgelengdekomponenter (fourierkomponenter) forplanter seg på vann med så liten dybde D at vi kan anta at følgende dispersjonsrelasjon gjelder for et stort område av bølgelengdekomponentene:

$$\omega = \sqrt{gD}\ k$$

d) Vil bølgelengdekomponentene som fullt ut tilfredsstiller denne relasjonen, spaltes opp slik at de når de har forplantet seg tilstrekkelig langt, vil kunne observeres som tilnærmede cosinus-bølger (med frekvens som varierer med tiden) ? Begrunn svaret !

Oppgave 2

Vi skal i denne oppgaven betrakte en planbølge med lys (som er lineærpolarisert) som kommer inn mot en skjerm A med to spalter S_1 og S_2. Interferensmønsteret dannet av lyset som passerer S_1 og S_2 blir registrert på en sylindrisk observasjonsskjerm med radius *R*, som vist på figuren nedenfor.



Vi antar at spaltene S_1 og S_2 er like og så smale at hver av dem (i samsvar med Huygens' prinsipp) er utgangspunktet for en bølge med en halvsirkel som tverrsnitt. Det vil si, vi antar at bølgene fra de to spaltene er sylinderbølger og at spaltene er så lange at vi ikke har problem med ende-effekter der vi observerer lysfordelingen på observasjonsskjermen. I hele oppgaven skal vi altså bare regne på det som skjer i det tverrsnitt som papirplanet representerer, der bølgene fra S_1 og S_2 har halvsirkler som bølgefronter. Vi antar for hele oppgaven at $R \gg d$ slik at lysstrålen fra S_1 til et punkt P på observasjonsskjermen kan betraktes å være parallell med lysstrålen fra S_2 til P (uavhengig P's plassering).

Vi antar videre for pkt a, b og c:

- Det innkommende lyset er fullstendig koherent,

og i tillegg for pkt a og b:

- Lyset kommer normalt inn mot spalteskjermen A som vist på figuren.
- De elektriske feltene henholdsvis fra spalt S_1 og fra spalt S_2, kan i et punkt P på observasjonsskjermen (dvs at lyset er bøyd vinkelen θ) uttrykkes ved:

$$E_1 = E_{10}\cos\left[kr - \omega t - \varphi\right]$$

$$E_2 = E_{20}\cos\left[k(r + \Delta r) - \omega t - \varphi\right]$$

der $k = 2\pi/\lambda$, λ er bølgelengden, ω er vinkelfrekvensen, φ er en fasekonstant (som vi ikke har bestemt), r er avstanden fra S_1 til P og $r + \Delta r$ er avstanden fra S_2 til P. E_{10} og E_{20} er avhengige av henholdsvis r og $r + \Delta r$. Men siden vi betrakter $R \gg d$ kan vi med god tilnærmelse sette:

$$E_{10} = E_{20} \equiv E_0 \qquad \text{(uavhengig P's plassering på sylinderskjermen)}$$

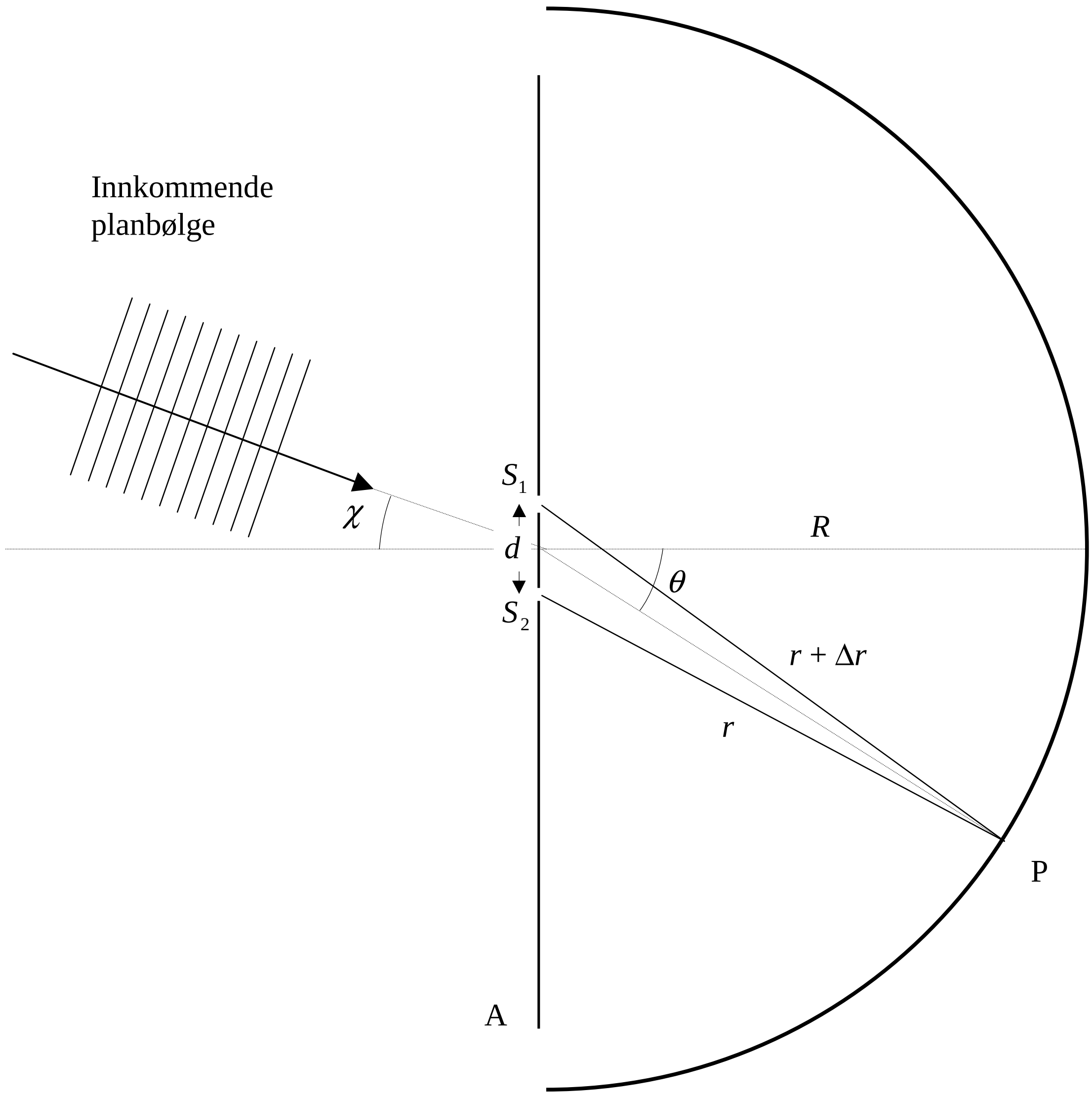
a) Vis at det totale feltet på observasjonsskjermen som funksjon av vinkelen θ er gitt ved:

$$E_\theta = 2E_0\cos\left(\frac{kd\sin\theta}{2}\right)\cos[k(r + \tfrac{1}{2}d\sin\theta) - \omega t - \varphi]$$

b) Finn ut fra E_θ gitt i pkt a, lysets intensitetsfordeling på observasjonsskjermen som funksjon av vinkelen θ!
Finn også de vinkler θ som gir maksimum lysintensitet (uttrykt ved d og λ)!

Vi antar nå for pkt c at lyset kommer inn mot spalteskjermen A under en innfallsvinkel χ som vist på figuren på neste side. For at ikke regningen skal bli for arbeidskrevende, begrenser vi oss til å se på innfallsvinkler χ og observasjonsvinkler θ med verdier mellom 0° og 90° (dvs at både χ og θ skal variere kun i den kvadrant de er tegnet i figuren på neste side). Det kan også her antas at de to feltamplitudene (fra de to spaltene) er like.

c) Finn i dette tilfellet lysets intensitetsfordeling på observasjonsskjermen som funksjon av χ og θ!



Vi antar nå for pkt d fortsatt at den innkommende lysstrålen er fullstendig koherent over hele stråletverrsnittet, men at koherenslengden er ukjent (koherenslengden er den lengden langs strålen hvor fasen kan predikeres med noenlunde sikkerhet dersom fasen er kjent i det punkt på strålen der det måles ut fra). Vi antar igjen (som i pkt a og b) at innkommende lysstråle er normal til spalteskjermen A.

Vi antar nå videre at spalteavstanden *d* er 50 μm og at midlere bølgelengde til det innkommende lyset er 500 nm og at vi gjør to eksperiment med forskjellige lyskilder.

d) I I det første eksperiment finner vi helt klare interferensmaksima på hele observasjonsskjermen. Hva kan en da slutte om koherenslengden til lyset som kommer inn mot spalteskjermen ? Begrunn svaret !

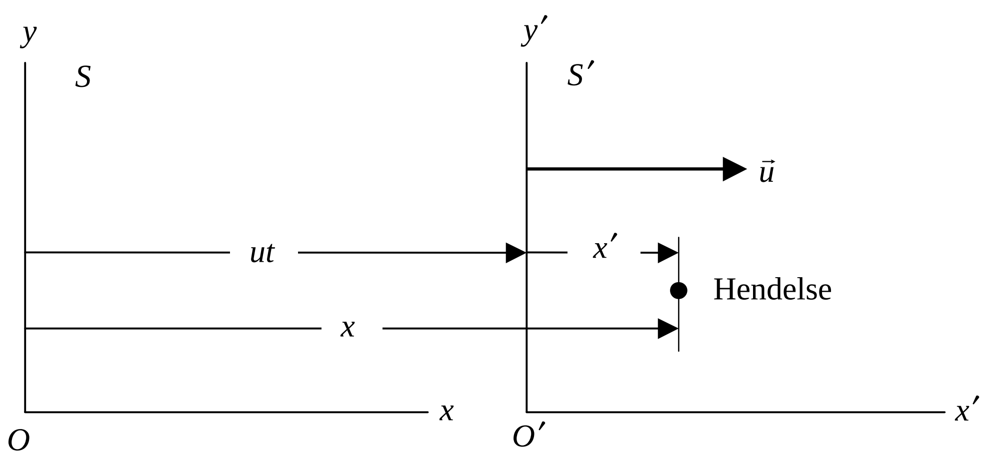
II I det andre eksperimentet finner vi at vi har 5 noenlunde klare interferensmaksima på hver side av det 0'te ordens maksimum (dét rett bak midtstopperen) og at høyere ordens maksima etter hvert blir mer og mer uklare for så å viskes helt ut. Hva kan i dette tilfellet sluttes om koherenslengden til lyset som kommer inn mot spalteskjermen ? Begrunn svaret !

Oppgitt

- $$\cos a + \cos b = 2\cos\frac{a+b}{2}\cos\frac{a-b}{2}$$

Oppgave 3

Vi skal i denne oppgaven betrakte to referansesystemer som begge er inertialsystemer. Det ene kaller vi S og det andre S'. En hendelse kan refereres til koordinatene x, y, z og tiden t i S og til koordinatene x', y', z' og tiden t' i S'. S' beveger seg relativt til S som vist på figuren nedenfor, i positiv retning langs den felles x- x'-aksen med hastighet u der u er gitt ved at $\beta = u/c = 0.855$ (og c er lyshastigheten). Det forutsettes at $y = y'$ og at $z = z'$. Videre forutsettes at de to origo O og O' sammenfaller ved tiden $t = 0 = t'$.



a) På samme sted i S (f.eks. i origo) glimter to lys, først et blått og så et rødt 5,35 μs senere.
Finn tidsdifferansen mellom de to lysglimtene målt i S' !

b) Vi lar det blå lyset fortsatt være plassert i origo i S og lar det glimte ved tidspunktet $t_1 = 0$, men det røde lyset er nå plassert i $x = 2{,}45$ km, $y = 0$, $z = 0$. Det glimter ved tidspunktet $t_2 = 5{,}35$ μs.
Finn $\Delta t' \equiv t_2' - t_1'$ målt i S' ! Kommentér svaret kortfattet !

Oppgitt

- Lyshastigheten c kan i denne oppgaven regnes lik $3{,}00 \cdot 10^8$ m/s.