

Forelesning - 13.01.22

FYS009-G 21H - Fysikk realfagskurs

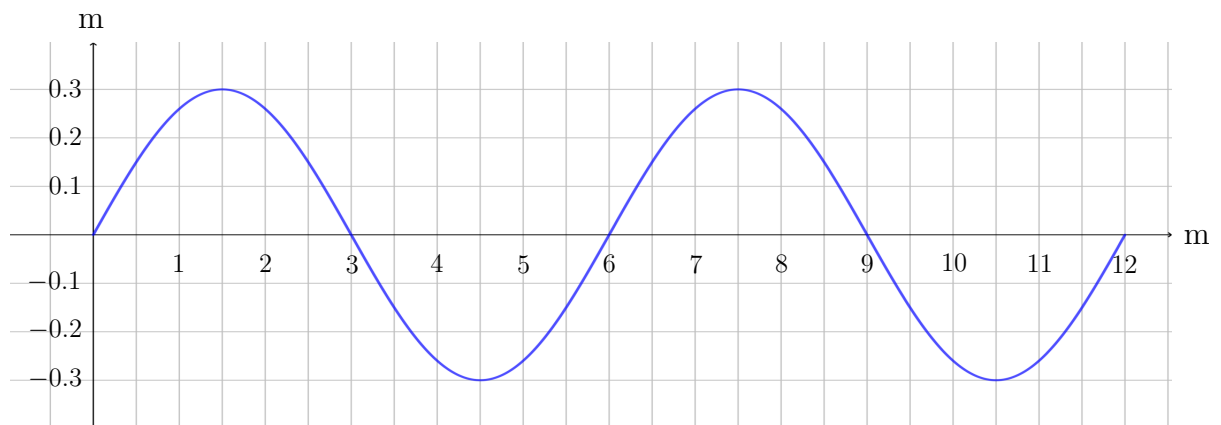
Kapittel 9 - Bølger

Forelesningene dekker i hovedsak boken *Rom-Stoff-Tid - Fysikk forkurs* fra Cappelen Damm. I tillegg til teorien gjennomgås det endel simuleringer og regnede eksempler. De fleste eksemplene er orientert etter oppgaver fra boka, men også andre oppgaver og problemstillinger kan taes opp.

Oscillasjoner, svingninger og størrelser

Definisjon av amplitude, periode T og frekvens f for en bølge med enheter henholdvis meter (m), sekund (s) og Hz (s^{-1}). Også, definisjon av bølgelengde λ .

Havbølge oppfattet som en tversbølge:



Link: [Simulering - Svingende lodd](#)

Regnet: Oppgave 9.05

Bølger som brer seg

Eksempler: Lys, lyd og vannbølger.

Lys (elektromagnetiske bølger) er tversbølger, lyd er langs bølger. Vannbølger er ofte begge deler, men det avhenger av en rekke parametre, f.eks vanndybden.

Link: [Simulering - Tversbølge](#)

Link: [Simulering - Langsbølge](#)

Link: [Simulering - Diverse bølgetyper](#)

Definisjon av *bølgefart* v , som hastigheten til bølgetopper. Bruk av $s = vt$ gir da *bølgeformelen*:

$$v = f\lambda$$

Regnet: Oppgave 9.09

Regnet i plenum: Oppgave 9.308

Mekaniske bølger og ikke-mekaniske bølger. Lyd er et eksempel på en mekanisk bølge, mens lys er ikke-mekaniske bølger.

Regnet: Oppgave 9.305

Diverse bølgefenomener

Bøyning av bølger rundt åpninger (hindringer), kalles ofte diffraksjon. Se [Boka: øverst side 236](#). Desto større åpningen er i forhold til bølgelengden, desto mindre blir avbøyningen. Små åpninger gir større bøyning.

Resonans er også et viktig bølgefenomen. Her har vi et ytre periodisk fenomen (kraft) med frekvens f , som vekselvirker med et system med egenfrekvens $\sim f$, og forårsaker dermed en systematisk økning i amplituden.

Overlagring av bølger.

Link: [Simulering - Overlagring](#)

Interferens

Interferens med to bølgekilder. Boka: øverst side 238.

Konstruktiv interferens oppstår når to bølgetopper eller bølgebunner møtes. Dette skjer i punkter P hvor avstandene fra de to bølgekildene S_1 og S_2 , til punktet P adskiller seg med et helt antall bølgelengder.

$$S_1P - S_2P = n\lambda \quad n \in \mathbb{N}$$

Destruktiv interferens oppstår når en bølgetopper og en bølgebunn møtes. Dette skjer i punkter P hvor avstandene fra de to bølgekildene S_1 og S_2 , til punktet P adskiller seg med et halvt antall bølgelengder.

$$S_1P - S_2P = (n + \frac{1}{2})\lambda \quad n \in \mathbb{N}$$

Regnet: Interferens fra to kilder

Regnet i plenum: Oppgave 9.336

Link: *Simulering - Interferens*

Oppgave 9.05

Bestem frekvensen til disse periodiske fenomenene:

- (a) At jorda roterer rundt seg selv.
- (b) Storviseren på klokka.
- (c) Sentrifugen i i vaskemaskinen når den gjør 1200 omdreininger per minutt.
- (d) Normal hjerterytme.

Løsninger:

- (a) Vi vet at jorda roterer rundt seg selv i løpet av $T = 24 \cdot 3600$ s. Dette gir perioden $T = 86400$ s, som gir

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{86400 \text{ s}} \simeq 1.16 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1} = \underline{11.6 \mu\text{Hz}}$$

- (b) Her er $T = 3600$ s. Som gir

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{3600 \text{ s}} \simeq 2.78 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1} = \underline{0.28 \text{ mHz}}$$

- (c) Her er det 1200 omdreininger per minutt. Dette gir $1200/60 = 20$ omdreininger per sekund. Da er frekvensen gitt ved $\underline{f = 20 \text{ Hz}}$.

- (d) «Normal» hjerterytme er omlag 60 slag i minuttet, som gir $\underline{f = 1 \text{ Hz}}$

Oppgave 9.09

Du står og observerer en fiskedobbe som dupper opp og ned mens bølger på vannet passerer. Du finner ut at dobben er på toppen i bevegelsen 2 ganger per sekund, og at avstanden mellom bølgetoppene er 1.5 m.

Med hvor stor fart brer bølgene seg forbi dobben?

Løsning:

Her er frekvensen $f = 2 \text{ Hz}$, og bølgelengden er $\lambda = 1.5 \text{ m}$. Da finner vi at

$$v = f\lambda = (2 \text{ s}^{-1})(1.5 \text{ m}) = \underline{3 \text{ m/s}}$$

Oppgave 9.305

Her bruker vi at alle elektromagnetiske bølger beveger seg med lysfarten c .

Vi setter $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

- (a) En radiostasjon på FM-båndet sender med frekvens 102.4 MHz. Finn bølgelengden.
- (b) En mikrobølgeovn opererer med bølger som har frekvensen 2.45 GHz. Hvor stor bølgelengde har disse bølgene?
- (c) En mobiltelefon opererer i 1800 MHz-båndet. Bestem bølgelengden til bølgene som overfører kommunikasjonen.

Løsninger:

Her bruker vi i alle punktene at

$$v = f\lambda \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{v}{f} = \frac{c}{f}$$

- (a) Vi får for FM-radioen at

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{102.4 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = \underline{2.93 \text{ m}}$$

- (b) Vi får for mikrobølgeovnen at

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2.45 \cdot 10^9 \text{ Hz}} = \underline{0.122 \text{ m}} = 12.2 \text{ cm}$$

- (c) Vi får for mobiltelefonsignalet at

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1.8 \cdot 10^9 \text{ Hz}} = \underline{0.167 \text{ m}} = 16.7 \text{ cm}$$

Andre eksempler:

- (1) Grønt lys:

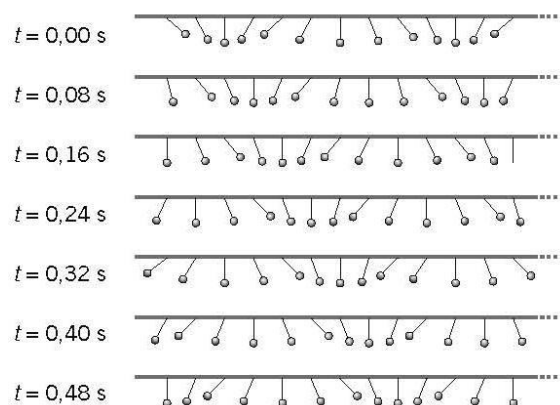
$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{5.45 \cdot 10^{14} \text{ Hz}} = \underline{550 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 550 \text{ nm}$$

- (2) Röntgen stråling:

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{10^{18} \text{ Hz}} = \underline{3 \cdot 10^{-10} \text{ m}} = 3 \text{ Å}$$

LØST OPPGAVE 9.308+**9.308+**

En lang rad pendelkuler er koplet til hverandre. Vi setter den ytterste kula i svingninger, og det oppstår en langsølge som brer seg mot høyre i kulerekken. Figuren viser stillingen til noen av kulene i rekken ved sju tidspunkter i en og samme svingeperiode.



Bestem bølgelengden og frekvensen for bølgen. Figuren er i målestokken 1:20.

Løsning:

På den øverste figurraden (for $t = 0$) ser vi at kula henger rett ned tre steder. Den første og den tredje av disse kulene er i samme svingetilstand (de er begge på vei mot høyre, se figuren under). Mellom den første og den tredje av disse kulene er avstanden altså én bølgelengde. Vi måler på figuren og finner at avstanden er 2,9 cm. Bølgelengden er da

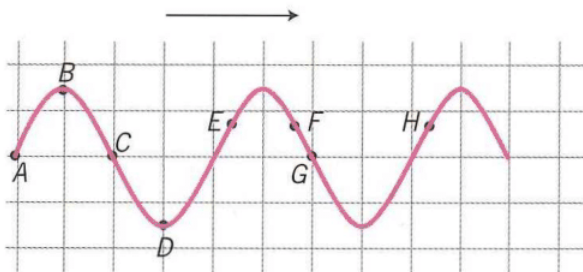
$$\lambda = 20 \cdot 2,9 \text{ cm} = \underline{58 \text{ cm}}$$

Vi ser at bølgemønsteret har beveget seg en halv bølgelengde på 0,32 s. Perioden er altså lik 0,64 s, og dermed blir frekvensen:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,64 \text{ s}} = \underline{1,56 \text{ Hz}}$$

9.336

Figuren viser et øyeblikksbilde av en bølge som beveger seg mot høyre på en streng. Noen punkter på strengen er merket med bokstaver.



- Er bølgen på figuren en tversbølge eller en langs-bølge? Grunngi svaret.
- Hvilke av de avmerkede punktene svinger i samme fase?
- Tegn inn bevegelsesretningen til punkt F .
- Hvilke av de avmerkede punktene har størst fart?

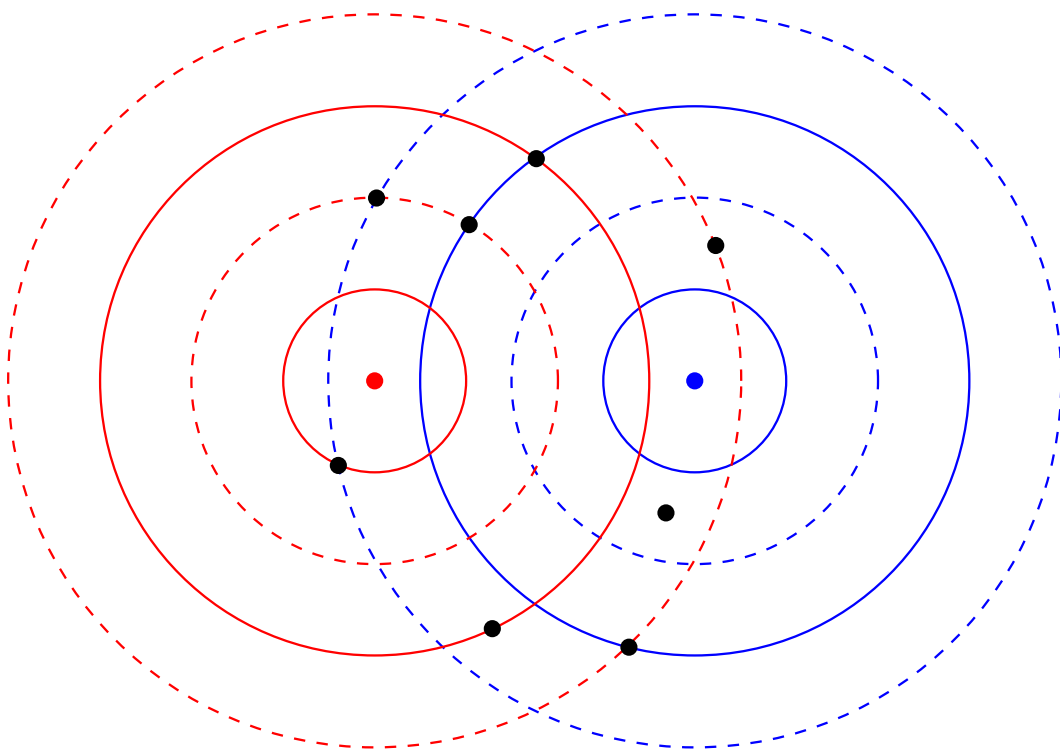
Løsninger:

- (a) Siden dette er en streng som svinger opp og ned vil det være *tversbølger*.
- (b) Punktene E og H vil svinge i fase.
- (c) Bevegelsesretningen til F er *oppover*. Dette skyldes at bølgetoppen til venstre for F beveger seg mot høyre, og punktet F vil ligge på denne bølgetoppen når den passerer.
- (d) Punktene A , C og G vil ha størst fart. Dette skyldes at de ligger i likevektspunktet for pendelbevegelsen.

Interferens mellom to bølgekilder

- (a) Hva vil det si at en lyskilde sender ut *monokromatisk lys*?
- (b) Hva innebærer det at to bølgekilder sender ut *koherente* bølger?

Under ser vi et bilde av to bølgekilder. Sirklene representerer områder hvor de respektive bølgene har enten maksima (heltrukket) eller minima (striplet). Bølgelengden til begge bølgekildene er $\lambda = 1$ m.



- (c) For de svarte punktene skal man bestemme om det oppstår destruktiv interferens, konstruktiv interferens eller ingen av delene.
- (d) Finn avstandene fra hver av bølgekildene til de forskjellige svarte punktene. Hva er forskjellene i avstand?

Løsninger:

- (a) At en lyskilde sender ut *monokromatisk* lys betyr at lyset har en skarpt definert bølgelengde λ .
- (b) At de to kildene sender ut koherente bølger betyr at svingningene foregår med samme frekvens, og slik at faseforholdet mellom dem alltid er det samme.
- (c) I alle punkter hvor to heltrukne linjer fra begge kildene (røde/blå) møtes (to bølgetopper), oppstår det konstruktiv interferens. Det samme gjelder alle punkter hvor to striplede linjer møtes (to bølgebunner).

I punkter hvor en striplet og en heltrukket linje møtes (bølgetopp og bølgebunn), oppstår det destruktiv interferens.

I alle andre punkter blir det hverken destruktiv eller konstruktiv interferens.

- (d) Felles for alle punkt P hvor det oppstår *konstruktiv* interferens er at veiforskjellen (forskjellen i avstand) mellom P og de respektive kildene S_1 og S_2 er et helt antall bølgelengder. Altså at $S_1P - S_2P = n\lambda$.

Felles for alle punkt Q hvor det oppstår *destruktiv* interferens er at veiforskjellen (forskjellen i avstand) mellom P og de respektive kildene S_1 og S_2 er et helt halvt antall bølgelengder. Altså at $S_1Q - S_2Q = (n + \frac{1}{2})\lambda$.

I alle andre punkter er veiforskjellen mellom punktet og de respektive kildene forskjellig fra $n\lambda$ og $(n + \frac{1}{2})\lambda$.