

# Prosjekt 1

## Oppgave 1: En introduksjon til bølger

For å få en følelse av hva en bølge er og hvordan de beveger seg, skal vi plote og animere en rekke bølger. Dette kan du gjøre med verktøy som Python eller Desmos (<http://www.desmos.com>).

**a** Lag en animasjon av bølgen

$$u_1(x, t) = \exp(-(x - t)^2), \quad (1)$$

hvor  $x$  er posisjonen i meter og  $t$  tiden i sekunder. La animasjonen gå fra  $t = 0$  til 10, og se hva som skjer.

*Du trenger ikke å levere inn animasjonen, men inkluder noen stillbilder av bølgen og beskriv hva som foregår.*

**b** Hva er hastigheten til bølgen  $u_1(x, t)$ ?

**c** Vis at  $u_1(x, t)$  er en løsning til bølgelikningen

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2}. \quad (2)$$

**d** I samme plott som  $u_1$ , legg til to bølger,  $u_2$  og  $u_3$ , med faseforskyvninger på henholdsvis  $\pi/2$  og  $\pi$  i forhold til  $u_1$ . Er det noen forskjell på om du legger til fasen i  $x$  eller  $t$ ?

**e** Legg sammen alle tre bølgene. Finn en måte å endre på *amplituden* og *hastigheten* på hver av de tre bølgene, og se hva som skjer.

## Oppgave 2: Gruppehastighet og fasehastighet

**a** Vi har to bølger som beveger seg i samme retning,  $u_1(x, t) = A \sin(k_1 x - \omega_1 t)$  og  $u_2(x, t) = A \sin(k_2 x - \omega_2 t)$ . Vis at summen til de to bølgene kan skrives som

$$u(x, t) = 2A \sin(\bar{k}x - \bar{\omega}t) \cos\left(\frac{\Delta k x - \Delta \omega t}{2}\right), \quad (3)$$

og finn uttrykk for  $\bar{k}$ ,  $\bar{\omega}$ ,  $\Delta k$  og  $\Delta \omega$ .

**b** Plott summen av de to bølgene,  $u_1(x, t) + u_2(x, t) = u(x, t)$ . Sett  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $\omega_1$  og  $\omega_2$  lik tilfelle II i tabell 1. Regn ut gruppehastigheten,  $v_g = \frac{\Delta \omega}{\Delta k}$ , og fasehastigheten,  $v_{ph} = \frac{\bar{\omega}}{\bar{k}}$ . Forklar hva de to ulike hastighetene er, og forskjellen på dem. Forklar også hvordan man kan tolke sinusen og cosinusen i likning 3.

**c** Gå gjennom de ulike tilfellene i tabell 1, og forklar hva du ser i plottet av  $u(x, t)$ . Hvilke deler av likning 3 endrer seg når du endrer bølgeparameterne?

Tabell 1: Bølgeparametere

	$k_1$	$k_2$	$\omega_1$	$\omega_2$
I	10	10	10	10
II	9	10	10	10
III	19	20	10	10
IV	9	10	10	20
V	9	10	120	150

### Oppgave 3: Stående bølger

- a Plott to bølger med lik  $A$  og  $k$  som beveger seg med lik  $\omega$  men i motsatt retning. Plott også summen av bølgene.
- b Finn et uttrykk for  $u(x, t) = u_1(x, t) + u_2(x, t)$ ? Diskuter uttrykket.
- c Hva kalles en slik bølge? Hva er noder og antinoder? Hvor (i  $x$ ) finner man disse for  $u(x, t)$ ?

### Oppgave 4: Forholdet mellom posisjon og frekvens

Mange ekte bølger har begrensninger, for eksempel en gitarstreng spent opp mellom to faste punkt. Endepunktene kan ikke bevege seg, og den propagerende bølgen blir tvunget til å reflektere tilbake. Bølgen ender da opp med å sprette frem og tilbake. Se videoen av TMP Chem (<https://www.youtube.com/watch?v=yNJ06JQDGEM>), og følg linken i videobeskrivelsen til Desmos-grafen, eller bruk den vedlagte python-koden.

- a Eksiter kun den 5. harmoniske bølgen. Hva kan du si om *posisjonen* og *frekvensen* til bølgen?
- b Eksiter mange moder (med lik vekt). Hvordan tror du bølgen vil oppføre seg når antall moder går mot uendelig? Hva kan du nå si om *posisjonen* og *frekvensen* til bølgen?

### Oppgave 5: Opptakten til kvantemekanikken

Frem til begynnelsen av 1900-tallet trodde man at all fysikk kunne forklares med et sett med deterministiske regler, den klassiske fysikken, som inkluderer blant annet Newtons lover og Maxwells likninger. Etterhvert dukket det likevel opp eksperimentelle resultater som ikke var forenelige med den klassiske fysikken. Dette skapte en krise i fysikken som etter hvert skulle lede til kvantemekanikken.

- a Forklar noen av de eksperimentelle resultatene som ikke kunne forklares av klassisk fysikk for resten av gruppen. Alle på gruppen velger et resultat hver. *I rapporten trenger dere kun å levere én setning om hvorfor hvert eksperimentelt resultat ikke var forenelig med klassisk fysikk.*

Noen eksempler på eksperimenter dere kan velge: Fotoelektrisk effekt, strålingsemitansen til et svart legeme, Davisson-Germer eksperimentet, Compton-effekten.