

# Innledning

Fenomener knyttet til svingninger og bølger omfatter noe av det vakreste vi kan oppleve innen fysikk. Tenk deg en verden uten lys og lyd, så fornekter du kanskje hvor fundamentale svingninger og bølger er for vår tilværelse og for vår sivilisasjon! Svingninger og bølger har derfor vært en sentral del av enhver utdanning i fysikk, men det er ingen ensartet måte å presentere dette stoffet på.

“*Matematikk er fysikkens språk!*”, er det mange som hevder. Selv er jeg enig et stykke på vei. Fysiske lover blir formulert som matematiske ligninger, og vi bruker disse formlene når vi skal beregne forventet utfall av eksperimenter. Skal vi imidlertid kunne sammenligne tallene fra beregningene med faktiske observasjoner, må det mer til enn ren matematikk. Fysikk er like mye en rekke begreper, og begrepene er knyttet opp til vår erfaringsverden såvel som til matematikken. Fysikk uten kontakt med dagliglivets språk, begreper og erfaringer, ville slett ikke være fysikk. Da hadde vi bare ren matematikk! Det greske ordet  $\phi\upsilon\sigma\iota$  (“fysis”) betyr jo *naturen*, og fysikk hører med til *naturvitenskapene*.

Mennesker er forskjellige. Min erfaring er at noen først og fremst fascineres av matematikken og lovene i fysikken, mens andre begeistres av fenomenene i seg selv. Det er sjelden studenter har like stor interesse for begge disse sidene av fysikken. I denne boka vil jeg forsøke å presentere både formalisme og fenomener, for som nevnt er det først og fremst kombinasjonen som er fysikk! En god fysiker bør ha nær kontakt med både fenomenene og formalismen. Av praktiske og volummessige grunner har jeg valgt å legge mye vekt på matematikken for enkelte deler av fenomenene som presenteres, mens andre deler nesten er fri for matematikk.

Matematikken kommer inn på to forskjellige måter. Bevegelsen til f.eks. en gitarstreng kan beskrives matematisk som en funksjon av posisjon og tid. Funksjonen er en løsning av differensialligninger. En slik beskrivelse er grei nok, men har en ad hoc funksjon. Vet vi utslaget ved en viss tid, kan vi finne utslaget ved en senere tid. En slik beskrivelse er en nødvendighet for videre analyser, men har egentlig liten interesse ut over dette. I mekanikken kalles dette en *kinematisk* beskrivelse.

Det sies ofte at vi *i fysikken forsøker å forstå hvordan naturen fungerer*. Vi er altså ikke fornøyd med bare å kunne gi en matematisk beskrivelse av gitarstrengens bevegelse. Vi ønsker å gå et nivå bakenfor denne beskrivelsen. Hvordan kan vi “forklare” at en tynn stålstreng som strekkes så og så mye faktisk gir tonen C når vi klimprer på den? Det fascinerende er at vi ved hjelp av relativt få og enkle fysiske lover er i stand til å forklare mange og tilsynelatende helt forskjellige fenomener. Det gir en ekstra tilfredsstillende. Vi vil kalle dette en *mekanistisk* eller *dynamisk* beskrivelse.

Matematikken har tradisjonelt sett fått for stor plass i forhold til utfordringen med å forstå mekanismer synes jeg. Dette tror jeg til dels skyldes at vi hittil stort sett har anvendt analytiske matematiske metoder for å løse differensialligningene som fremkommer. Når vi bruker analytiske metoder må vi riktignok innom mekanismene for å sette opp ligningene som beskriver fenomenene. Fokus skyves imidlertid raskt over til utfordringene ved å løse differensialligningen og å drøfte den analytiske løsningen vi kommer fram til.

Denne fremgangsmåten har flere begrensninger. For det første forsvinner fokus fra de



Figur 1: *Svingninger og bølger inngår i et vell av fenomener vi opplever hver eneste dag, så som lyd og lys. Ut fra temmelig generelle prinsipper kan vi forklare hvorfor den vanligste regnbuen nettopp har en radius på 40-42 grader og er rød ytterst og at himmelen like utenfor regnbuen er noe mørkere enn himmelen like innenfor. De samme prinsippene gir oss også egenskaper til den ytre regnbuen når det er to av dem. Foto: Bjørn Lybekk.*

bakenforliggende ligningene som forteller om viktige mekanismer for at en bølge skal kunne oppstå. For det andre er det bare noen ganske få forenklede problemstillinger vi da er i stand til å takle, ellers blir ligningene for vanskelige å løse analytisk. Vi må da ofte nøye oss med å betrakte løsninger med forenklede randbetingelser og/eller løsninger som først gjelder etter at transiente forløp har dødd ut.

Det betyr at fysikere gjennom mange generasjoner sitter igjen med forenklede bilder av svingninger og bølger og tror at disse gjelder generelt. For eksempel er min erfaring at det er urovekkende mange fysikere som tror at elektromagnetiske bølger generelt er synonymt med plane elektromagnetiske bølger. De antar at denne forenklede løsningen er en generell løsning som kan anvendes overalt. Ved å fokusere på numeriske løsningsmetoder er det lettere å forstå hvorfor dette er feil.

## Numeriske metoder

Det skjer for tiden en dramatisk omlegging av fysikkundervisning i verden. Studenter er nå vant til å bruke datamaskiner og omtrent alle har sin egen, eller har lett adgang til en datamaskin. Dataprogrammer og programmeringsverktøy er blitt mye bedre enn de var for få tiår siden, og det er utviklet og systematisert numeriske metoder vi kan benytte oss av. Det betyr at bachelorstudenter tidlig i studiet kan ta i bruk like avanserte metoder som tidligere bare ble brukt innen snevre forskningsområder på master- og PhD-nivå. Det betyr at de kan arbeide med fysikken på en annen og mer spennende måte enn tidligere.

Riktignok må vi også nå sette opp differensialligninger og løse dem, men numeriske løs-

ningsmetoder forenkler arbeidet betydelig. Følgen er at vi kan leke oss med å beskrive ulike mekanismer på forskjellig vis og studere hvordan løsningene avhenger av modelleringen vi starter ut med. Videre åpner numeriske løsningsmetoder opp for mye mer virkelighetsnære problemstillinger enn tidligere, fordi en “stygg” differensialligning ikke er særlig vanskeligere å løse numerisk enn en enkel. Vi kan for eksempel legge inn en ikke-lineær beskrivelse av friksjon og få ut resultatene omtrent like enkelt som uten friksjon, mens vi ellers ikke kunne løst problemet rent analytisk.

Det betyr at vi nå kan legge mindre vekt på ulike løsningsstrategier for differensialligninger, og heller bruke tiden vi sparer på dette til mer virkelighetsnære problemstillinger. Jeg selv tilhører en generasjon som lærte å finne kvadratroten av et tall ved direkte utregning. Etter at kalkulatoren kom på markedet, har jeg ikke hatt behov for denne kunnskapen. Vi er nå i en lignende fase innen fysikk og matematikk. Bruker vi f.eks. dataprogrammene Maple eller Mathematica, får vi ut analytiske uttrykk for et vell av differensialligninger, og dersom en differensialligning ikke har en grei analytisk løsning, kan problemet løses numerisk. Noen ferdigheter fra tidligere år har derfor mindre verdi i dag, mens andre ferdigheter har fått større verdi.

Denne boka er skrevet i omveltningstiden hvor vi skifter fra å bruke bare analytiske metoder i bachelorkurs, til en situasjon der datamaskiner inngår som et naturlig hjelpemiddel både pedagogisk og faglig. Vi kommer til å dra direkte nytte av dette, ikke bare for å bygge opp en kompetanse som hver enkelt vil ha glede av i senere yrker, men også som et pedagogisk hjelpemiddel for å forstå stoffet bedre. Ved numeriske beregninger kan vi lettere fokusere på selve algoritmene, basisligningene, enn ved analytiske metoder. Dessuten kan vi ta fatt i et vell av interessante problemstillinger vi ikke kunne studere bare ved analytiske metoder, noe som bidrar til økt forståelse. Numeriske metoder gir oss dessuten verktøy til å analysere funksjoner/signaler på en elegant måte, slik at vi nå kan få ut mye mer relevant informasjon enn vi kunne med de metodene som var tilgjengelig tidligere.

Bruk av numeriske metoder er interessant også fordi vi lettere kan gi “forskningsbasert undervisning”. Studentene vil være i stand til å gjøre beregninger tett opp til det som faktisk gjøres i forskning i dag. Det er nok av temaer å ta tak i, for det skjer en enorm utvikling innen ulike bølgebaserte fenomener for tiden. Eksempelvis kan det nevnes at vi bruker mange transdusere som ligger i en rekke (“array”) i ultralyddiagnostikk, oljeleting, ekkolodd og radarteknologi. I alle disse eksemplene brukes det veldefinerte faseforskjeller for å få fram romlige variasjoner på elegante måter. Videre kan vi ved såkalte fotoniske krystaller og andre hi-tech strukturer på nanonivå oppnå bedre oppløsning i målinger enn tidligere, til og med bedre enn teoretiske grenseverdier vi trodde på for få år siden. Videre utnytter vi i dag ikke-lineære prosesser som ikke var kjent for få tiår siden. Det er utrolig mye spennende som skjer i fysikken nå, og mange vil møte problemstillinger og metoder som tas opp i denne boka også etter endt studium.

## Bakgrunn for boka

Denne boka ble skrevet for bruk i kurset “FYS2130 Svingninger og bølger” ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo. Kurset tas av fjerde semester bachelor-studenter som har vært gjennom klassisk mekanikk og elektromagnetisme på forhånd. Disse kursene har dog vært strippet for mange svinge- og bølgefenomener.

Det finnes mange bøker innen svingninger og bølger på markedet, men ingen passet godt for de læringsmål som var satt opp for kurset. Siden Universitetet i Oslo er blant de første som innførte bruk av numeriske metoder som en integrert del i nesten alle kurs i matematikktunge realfag, var det svært få egnede lærebøker. Når vi som en del av samme strategi valgte å gi grundigere og mer praktisk innføring i noen numeriske metoder enn det som har vært vanlig tidligere, fant vi ingen lærebøker på markedet som kunne dekke hele stoffet som skulle undervises.

Vi levde noen år med en situasjon der vi brukte et standardverk i fysikk som basis, og lagde ekstra kompendier for de delene av pensum som læreboka ikke dekket. Det ble en uheldig blanding, og jeg valgte derfor å lage en mer helhetlig løsning for kurset vårt. Etter hvert har jeg blitt mer og mer overbevist om at kombinasjonen med å bruke både analytisk matematikk, numeriske metoder, fokus på hverdagsfenomener, og noen state of the art eksempler, kan være av interesse godt ut over et enkelt kurs ved Universitetet i Oslo. Jeg håper derfor at denne boka kan være interessant for langt flere enn våre egne studenter.

Jeg vil benytte anledningen til å takke alle som har bidratt til denne boka. Jeg vil spesielt nevne Borys Jagielski, Knut Kvaal, Jan Henrik Wold, Karl A. Maaseide og kolleger ved Fysisk institutt, og i særdeleshet Anders Johnsson for svært nyttige tips og kommentarer. Morten Hjorth-Jensen takkes for generell støtte og interesse for undervisningsspørsmål over mange år. Jeg vil også takke tidligere lærere så som Svern Lilledal Andersen og Kristoffer Gjøtterud for å skape et miljø hvor min fysikkforståelse fikk vokse og utvikle seg, og til Gunnar Handal som utfordret meg på en fin måte innen universitetspedagogikk. Støtte fra Faglitterære Forfatter og Oversetterforening gjorde det mulig å kjøpe meg fri fra undervisning to høstsemestre for å frigi tid til å skrive boka og lage de fleste illustrasjonene. Aller mest takker jeg for stor forståelse og tålmodighet fra min kjære Kirsten og barna våre i perioder da jeg bidro lite til familielivet.

## Organisering av stoffet

I boka har jeg forsøkt å gi standard beskrivelser for en god del av stoffet, men har forsøkt å legge mer vekt enn vanlig på å vise begrensinger i de beskrivelsene vi da kommer fram til. Jeg trekker analogier på tvers av flere ulike fenomener der jeg synes det er interessant. Jeg bruker erfaringer fra bruk av numeriske metoder for å få en noe dypere forståelse av enkelte fenomener enn det som er vanlig på dette nivået. Jeg innser at vi ennå ikke klarer å utnytte bruk av numeriske metoder og algoritmisk tenkning i så stor grad som vi burde. Dette er en modningsprosess som tar lang tid. Etter som vi som fysikklærere prøver å la studentene utnytte dagens teknologi, vil læringsmiljø og -metoder endre seg til dels betydelig de neste

10-20 årene. Det viktigste er at vi åpner opp for studentenes kreativitet, så vil utviklingen tvinge seg fram av seg selv.

Boka er skrevet i LaTeX for å forenkle skriving av matematiske uttrykk. Dessverre medfører det svært begrensede layoutmuligheter. Viktige deler av kjernestoffet er markert med fargede felt. Eksempelstoffet er ofte skrevet med noe mindre skrift og viser hvordan kjernestoffet kan anvendes i ulike sammenhenger. Læringsmål peker på de viktigste deler av hvert kapittel, og oppgaver gis slik at hver enkelt kan teste sin forståelse av stoffet som er presentert.

Det finnes tre typer oppgaver i boka. De fleste er forståelses-/diskusjonsspørsmål og regneoppgaver. Det er viktig å prøve seg på begge disse typer oppgaver. Vi ønsker å stimulere hver enkelt til å lære seg å *argumentere* for hvordan en oppgave kan analyseres og hvilke lovmessigheter som ønskes anvendt. Et "riktig svar" uten tilstrekkelige begrunnelser, er egentlig lite verdt. Det kan legges til at mange oppgaver gis uten at alle størrelser som inngår er gitt. Meningen er at vi da må søke f.eks. på internett for å finne de størrelsene vi trenger. Dette er en naturlig del av det å arbeide med fysikk i dag.

En tredje type oppgave kalles AKBD-oppgaver. Disse er karakterisert ved at de er meget upresise, men peker på en problemstilling der det ligger gjemt et problem som kan løses. Oppgaven blir da å analysere (A) den ulne problemstillingen, konkretisere (K) hva man faktisk ønsker å ta tak i, og så foreta beregningene (B) og diskutere resultatene (D). Hensikten med disse oppgavene er å trene studentene i å ta tak i problemstillinger på egen hånd, uten at noen har definert og konkretisert hvilke konkrete ting som må gjøres.

Noen få oppgaver er store, sammensatte og gjerne litt "åpne" oppgaver som egner seg som prosjektoppgaver. De er viktige for at studenter skal lære seg å arbeide med problemer på en måte som kreves etter endt utdanning.

## Format - rettigheter

I 2011 kom denne boka ut på Tapir forlag, men prisen ble høy siden opplaget var lite og vi ønsket fargetrykk. Nå tilbys boka gratis til alle, både innenfor og utenfor Universitetet i Oslo, i form av pdf-filer. Brukes tekst og figurer fra boka i andre sammenhenger, må kilden til stoffet/figurene oppgis. Videre er jeg frimodig nok til å be om et lite økonomisk bidrag dersom du finner deler av boka nyttig. Bokprosjektet har hittil ført til endel personlige utgifter. Jeg avsto fra royalties da boka kom på Tapir forlag for å få boka så billig som mulig, og støtten fra Faglitterære Forfatter og Oversetterforening gikk til Fysisk institutt for å dekke vikar. Jeg setter pris på om du setter inn 50 - 100 kroner til på min bankkonto 0532 923 0491 dersom du har glede av boka. Føler du ikke for å betale, er det helt greit det også.

## Støttelitteratur

Det er skrevet mange bøker om svingninger og bølger, men ingen tidligere med samme kombinasjonen av emner som denne. Det er ofte nyttig å lese hvordan andre har beskrevet

et emne, og av den grunn anbefaler vi at du samtidig som du leser denne boka leser i andre bøker og sjekker f.eks. Wikipedia og andre seriøse beskrivelser på web. Her er noen bøker som kan være av interesse:

- Jonas Persson: “Vågrörelseslära, akustik och optik”. Studentlitteratur, 2007.
- Richard Fitzpatrick: “Oscillations and waves: An introduction”. CRC Press, 2013.
- H.J.Pain: “The Physics of Vibrations and Waves”. 6th Ed. Wiley, 2005.
- A.P.French: “Vibrations and Waves”. W.W.Norton & Company, 1971.
- Daniel Fleisch: “A Student’s Guide to Maxwell’s Equations”. Cambridge University Press, 2008.
- Tor Halmrast: “Klangen, En huskeliste om lyd, akustikk og musikk”. <http://tor.halmrast.no/klangen-20130817.pdf>, august 2013.
- Jens Jørgen Dammerud: “Elektroakustikk, romakustikk, design og evaluering av lydsystemer”. <http://ac4music.wordpress.com>, 2014
- Sir James Jeans: “Science & Music”. Dover, 1968 (opprinnelig fra 1937!).
- Eugene Hecht: “Optics”, 4th Ed. Addison Wesley, 2002.
- Geoffrey Brooker: “Modern Classical Optics”. Oxford University Press, 2003.
- Grant R. Fowles: “Introduction to Modern Optics”. 2nd Ed. Dover Publications, 1975.
- Ian Kenyon: “The Light Fantastic”. 2nd Ed. Oxford University Press, 2010.
- Karl Dieter Möller: “Optics. Learning by Computing, with Model Examples Using MathCad, Matlab, Mathematica, and Maple”. 2nd Ed. Springer 2007.
- Peter Coles: “From Cosmos to Chaos”. Oxford University Press, 2010.
- Helmut Ormestad: “Svingninger og bølger”. Universitetsforlaget 1964 (også interessant fra en historisk synsvinkel.)

## Lykke til!

Jeg håper at når dere jobber med denne boka, vil dere oppleve at svingninger og bølger er en morsom del av fysikken, og at dere får en dypere forståelse enn dere hadde før dere startet.

Blindern, januar 2014  
Arnt Inge Vistnes