2. utgave

Carl Angell
Eirik Grude Flekkøy
Jostein Riiser Kristiansen

FYSIKK FOR LÆRERE

Naturfag i grunnskolelærerutdanningen 5.–10. trinn

GYLDENDAL

CARL ANGELL, EIRIK GRUDE FLEKKØY
JOSTEIN RIISER KRISTIANSEN

FYSIKK FOR LÆRERE

NATURFAG
I GRUNNSKOLELÆRERUTDANNINGEN
5–10. TRINN

2. utgave

GYLDENDAL

© Gyldendal Norsk Forlag AS 2021
1. utgave 2011
2. utgave, 1. opplag 2021

ISBN 978-82-05-55444-3

Bilderedaktør: Linda Aarø
Omslagsdesign: HAVE A BOOK
Illustratør: Bjørn Norheim
Layout: HAVE A BOOK
Sats: HAVE A BOOK
Brødtekst: Minion 10,5/15 pkt

Alle henvendelser om boka kan rettes til
Gyldendal Akademisk
Postboks 6730 St. Olavs plass
0130 Oslo

www.gyldendal.no/akademisk
akademisk@gyldendal.no

Materialet er vernet etter åndsverkloven. Uten uttrykkelig samtykke er eksemplarfremstilling, som utskrift og annen kopiering, bare tillatt når det er hjemlet i lov (kopiering til privat bruk, sitat o.l.) eller avtale med Kopinor (www.kopinor.no).

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatnings- og straffeansvar.

Alle Gyldendals bøker er produsert i miljøsertifiserte trykkerier.
Se www.gyldendal.no/miljo

Innhold

Forord 7

Kapittel 1 En oversikt over fysikken 9
Relativitetsteorien 12
Mekanikken 12
Feltteori og partikkelfysikk 13
Statistisk fysikk og termodynamikk 14
Kosmologi 15
Fysikkdidaktikk 15

Kapittel 2 Krefter og bevegelse 23
Hva mener vi med begrepet *kraft* i fysikken? 24
Newtons lover 25
Forskjellige krefter 34
Krefter i aksjon 49
Fantasiteknologi 53
Hvordan krefter avhenger av størrelse 55
Elevers forståelse av kraft og bevegelse 61
Programmering i Scratch: konstant fart og konstant akselerasjon 70
Forsøk 73
Oppgaver 80

Kapittel 3 Bølger – bevegelse på vandring 85
Bølger på vann, og hva som skaper dem 86
Dopplereffekt 95
Elektromagnetiske bølger 97
Totalrefleksjon og optiske fibre 100
Stående bølger 101
Lys og farger og vår opplevelse av dem 104
Hva er lys, bølger eller partikler? 112
Undervisning om bølger og lyd 114
Forsøk 117
Undervisning om lys 122
Forsøk 124
Oppgaver 130

Kapittel 4 Energi og varme 131
Energi 132
Elektrisk energi 146
Kjerneenergi 151
Hva er varme, og hva skjer når noe smelter? 152
Undervisning om varme og energi 168
Forsøk 175
Oppgaver 178
Undervisning om elektromagnetisme 180
Oppgaver 193

Kapittel 5 Astrofysikk 195
Hvordan kan vi vite så mye om noe som er så langt borte? 197
Solsystemet 202
En himmel full av stjerner 216
Galakser 223
Er det noen der ute? 226
Kosmologi 231
Undervisning om astrofysikk 244
Oppgaver 256

Kapittel 6 Hva er vitenskap? 259
Fysikkfagets teoretiske og eksperimentelle karakter 263
Innsiktens grenseland og forskningens nytteverdi 269
Ideer om det fundamentale 270
Determinisme i fysikken? 272
Kaotisk vær 274

Litteratur 276
Fasit til utvalgte oppgaver 277
Forslag til mer lesing 278
Stikkord 279

Forord

Historiefortelling om naturen rundt oss passer godt for alle som spør om sine omgivelser med et åpent sinn og undrer seg om alt mellom himmel og jord, og det som ligger utenfor, også. Denne undringen er en mektig motivasjon for å forstå mer, og fysikkundervisningen bør derfor forsøke å få best mulig kontakt med de spørsmålene som mange naturlig har i sitt møte med naturens mange ubegripeligheter.

Den første retningslinjen som vi har fulgt, er derfor å bygge på de nære ting, som det vil være naturlig å stille spørsmål ved. Denne boka er skrevet med det for øye å nå raskest mulig til interessant innsikt, og den har blitt til ut fra det grunnsynet at de mest subtile og fascinerende innsikter kan komme nettopp av å forstå det tilsynelatende trivielle. Når fluer, men ikke hunder, kan gå i taket, eller når spissmusa kan overleve vinterens sprengkulde, kommer det av skaleringslover som er grunnleggende for hvordan naturen rundt oss ser ut. Toneskiftet i sirenen fra en passerende sykebil skyldes den såkalte dopplereffekten, som også kan brukes til å avgjøre hvor langt det er til stjernene som vi ser på himmelen.

Forståelse er en følelsessak, og derfor vil den variere fra person til person. Noen trenger svært grundige forklaringer, andre ikke. Men felles for de fleste er at det oppleves positivt å forstå noe nytt, og da særlig hvis man på egen hånd har lurt på det man så forstår.

Det er en hovedhensikt med denne boka å bidra til å formidle flest mulig slike opplevelser, og at møtet med fysikken skal være stimulerende og undringsfremmende. Derfor er en rekke fysiske fenomener beskrevet rent kvalitativt, altså uten bruk av matematikk. Det kan være med å utvikle forståelse og ikke minst undring over den fysiske verden omkring oss – fra det aller minste i mikrokosmos til det aller største innenfor kosmologien.

2. utgave er betydelig utvidet, først og fremst ved egne mer formelle og matematiske seksjoner som introduserer en rekke av de mest grunnleggende begrepene i fysikken. Matematikk er et viktig verktøy i fysikken, og mange grunnleggende lover blir i disse seksjonene presentert i matematisk form, sammen med matematiske uttrykk som viser relasjoner mellom fysiske størrelser. Her er det også inkludert flere enkle regneoppgaver. Det er imidlertid et viktig poeng at disse nye delene av boka er skilt ut slik at den kvalitative beskrivelsen av fysiske fenomener skal kunne leses sammenhengende fri for kompliserte matematiske formuleringer.

Nytt i 2. utgave er også at de didaktiske delene av boka er mer omfattende. Det er mer didaktisk teori, det er langt flere forslag til forsøk og aktiviteter i klasserommet, og det er mange nye oppgaver.

Tematisk spenner boka over alle fysikkens emner, fra det aller minste til det aller største. Men søkelyset er i stor grad rettet mot den fysikken som utspiller seg på vår lengdeskala, og mot stjernehimmelen, for det er den delen av fysikken vi har førstehånds erfaring med.

Oslo, oktober 2020

Carl Angell, Eirik Grude Flekkøy og Jostein Riiser Kristiansen

1

En oversikt over fysikken

Fysikken handler om naturen rundt oss, og den er mangfoldig. I prinsippet er alt i den døde og levende verden et emne for fysikken. Det dreier seg her om den materielle verden, og den inkluderer selvfølgelig teknologien, som er den menneskeskapte delen av den. Når et barn begynner å spørre «Hvorfor er det sånn?», og får et svar, er ofte neste spørsmål like rundt hjørnet. Noen spørsmål, som «Hvorfor kan fuglene fly?» eller «Hvorfor flyter en båt på havet?», er uten videre fysikkspørsmål. Andre spørsmål leder fort til fysikkspørsmål, og grunnen er at når man fortsetter å spørre hvorfor hver gang man får et svar, ender man gjerne med stadig mer grunnleggende problemstillinger. Dersom noen for eksempel spør hvorfor bladene faller av trærne om vinteren, kan man svare at det er fordi det er så kaldt om vinteren. Men hvorfor kan ikke bladene være der når det er kaldt? Nei, for da fryser sevjen inni dem, og de slutter å virke. Ja, men hvorfor fryser sevjen? Jo, fordi sevje er mest vann, og vann fryser ved 0 grader. Og så videre til neste spørsmål: Hvorfor fryser vannet ved 0 grader? Da beveger vannets molekyler seg såpass langsomt i forhold til hverandre at de kan danne et fast stoff. Men hvordan kan molekyler plutselig gå fra å danne en væske til et fast stoff som is? Osv., osv. …

Spørsmålskjeder om naturen rundt oss vil alltid ende ved fysikken, og dette er et grunnleggende kjennetegn ved fysikken. Den søker å begynne der slike spørsmålskjeder slutter, og hver gang fysikken lykkes i å gi en forklaring, dukker det typisk nok opp nye spørsmål. Det er slik fysikkens forskning blir til og fysikken vokser som fag.

Kanskje skulle man da tro at fysikken er like mangfoldig, kaotisk og uoversiktlig som naturen rundt oss. For burde det ikke da bli like forskjellige svar som det er spørsmål? Det vidunderlige er at det ikke er slik. Om man for eksempel finner forklaringen på det siste spørsmålet ovenfor – hvordan vannmolekyler danner is – har man også funnet forklaringen på hvorfor is er lettere enn vann. Og dette forklarer i sin tur hvorfor isfjell kan flyte rundt på verdenshavene, og hvorfor man kan gå på skøyter på vann om vinteren. Den mangfoldige naturen blir med andre ord langt mindre mangfoldig når den fanges inn av fysikkens beskrivelser. For den samme naturloven gir seg mangfoldige utslag, og fysikken blir et kart over naturens virkemåte som gjør det mulig å forklare det sammensatte med det enkle. Fysikken bringer orden i kaoset.

Dette betyr ikke at det finnes et enkelt ursvar som forklarer alt. Men fysikken er likevel ganske enkelt ordnet, og den hviler på noen grunnprinsipper som gjelder overalt. Blant disse grunnprinsippene er kanskje loven om at energien er bevart, den mest framtredende. Energi kan verken skapes eller bli borte, den kan bare skifte form. Som vi skal se, representerer energi en mulighet til å gjøre arbeid, og når dette arbeidet utføres, skifter energien form. For eksempel øker energien i en gjenstand når vi varmer den opp. Energien som kommer fra vannkraftverket og varmer opp en stekepanne på komfyren din, omformer altså den energien som en gang fantes i vannet, til økt indre energi i stekepannen. En annen bevaringslov, som

viser seg å være nær knyttet til energibevaring, er bevaring av masse. Om du koker et kilogram vann til det er helt fordampet, vil du for eksempel få et kilogram damp.

Andre grunnprinsipper har å gjøre med måten fysikkens lover skrives på. Man kan for eksempel ikke ha en lov som bare gjelder i ett referansesystem. Et referansesystem er det systemet man måler i forhold til. For eksempel kan en togperrong brukes som referansesystem når man måler farten til et forbipasserende tog. En lov kan ikke gjelde på togstasjonen, men ikke inni et forbipasserende tog. Dette kalles relativitetsprinsippet og sier at alle naturlover skal kunne skrives på samme form i alle referansesystemer. Det betyr at naturlovene er universelle, og at alle referansesystemer er like gode utgangspunkt for å formulere naturlovene. Siden verdien på lysets hastighet faktisk er en slik naturlov, medfører dette prinsippet at lyshastigheten må være den samme for alle observatører. Om du reiser mot eller bort fra en stjerne, vil du altså måle samme hastigheten til lyset fra den.

Fysikken handler om alt fra det aller minste, som elementærpartiklene, til det aller største, nemlig universet selv. Elementærpartiklene er fysikkens minste byggesteiner, og all materie er bygget opp av disse. En gang trodde man at atomene var elementærpartikler, men nå vet vi at atomene selv er bygget opp av partiklene elektroner, protoner og nøytroner. Det er nærliggende å tenke at man i en forstand forstår alt bare man forstår hvordan disse elementærpartiklene oppfører seg. I prinsippet skulle det jo være mulig å beregne all materies framtidige utvikling om man vet hvordan hver enkelt bestanddel i denne materien utvikler seg. Men vi kan ikke beskrive en snøballs flukt gjennom luften ved å skrive ned bevegelseslikningene til alle vannmolekylene i den, simpelthen fordi det er for mange molekyler, omtrent 10^{23} (10^{23} er det samme som 100 000 000 000 000 000 000 000, og det er et meget stort tall). Et slikt regnestykke kunne vi ikke engang skrevet ned om vi hadde brukt hele livet på det. Det holder egentlig å beskrive snøballen med noen ganske få tall, for eksempel snøballens posisjon, hastighet og rotasjon.

I fysikken er det mange andre eksempler på at helheten er mer enn summen av delene. En snøkrystall, for eksempel, består også av vannmolekyler, og disse molekylenes oppførsel og egenskaper er godt forstått. Men det er ikke lett å gjette seg fram til snøkrystallenes mangeartede og fantastiske form ved å studere et enkelt vannmolekyl. Tvert imot trer ofte nye lovmessigheter inn i bildet når mange enkle komponenter samhandler på en måte som gjentar seg mange ganger. Slik er det også utenfor fysikken. Man kan ikke forstå en finanskrise ved å stirre på en pengeseddel, og man begriper ikke noe mer av stor arkitektur ved å studere en murstein. I fysikken beveger man seg altså ikke bare fra det lille til det store, men også fra det enkle til det komplekse.

Fysikken kan deles i ulike områder, og nå skal vi kort introdusere relativitetsteorien, mekanikken, feltteori og partikkelfysikk, statistisk fysikk og termodynamikk samt kosmologi.

Relativitetsteorien

Relativitetsteorien handler om tid og rom, selve mediet som alt annet skjer i, så den har en sentral plass. Alle andre områder i fysikken må stemme overens med relativitetsteorien. Som vi nevnte ovenfor, må alle fysikkens lover ha samme form i alle referansesystemer. Det er relativitetsteoriens krav, for den slår fast at det finnes ikke noe referansesystem som skiller seg ut fra alle andre.

I gamle dager trodde man at det fantes et absolutt referansesystem, definert av den såkalte eteren, og at lyset alltid forplantet seg med samme hastighet i forhold til dette. Nå vet vi at det er feil, og at alle referansesystemer er like gode. Det betyr at alle naturlovene må kunne skrives på én måte, som gjør at de har samme form uansett hvilket referansesystem de kommer til uttrykk i. Du kan lese litt mer om relativitetsteorien i kapittel 5.

Mekanikken

Mekanikken handler om krefter og den bevegelsen de skaper. Den er kanskje den eldste av fysikkens disipliner fordi den handler om ting i vår umiddelbare sansbare verden.

For 2500 år siden hevdet Aristoteles at en gjenstand må påvirkes av en kontinuerlig kraft for å opprettholde sin bevegelse. Det er riktignok feil, men det viser at mekanikken har inspirert til undring lenge. På 1600-tallet ble mekanikkens grunnsetninger formulert i form av Newtons tre lover. Disse forklarer solas, jordas og månens bevegelser og dermed årstidene våre. De forklarer hvordan tyngdekreftene fra månen og sola påvirker verdenshavene og dermed tidevannet. De forklarer hvordan kreftene i atmosfæren skaper bevegelser i luften og dermed værets utvikling. Og når kreftene i et brospenn eller i en oljerigg skal beregnes, er det mekanikken som danner grunnlaget. Mekanikken er læren om krefter og bevegelse og danner grunnlaget for hydrodynamikk (læren om væskers bevegelse), store deler av ingeniørkunsten og mye av astronomien. Men mekanikken forklarer ikke hvordan kreftene oppstår. For å forstå mer om kreftenes opphav må man til elektromagnetismen og kvantefysikken.

Du kan lese mer om mekanikk i kapittel 2.

Feltteori og partikkelfysikk

Elementærpartiklene (slike som elektroner, nøytroner og protoner) og kreftene mellom dem er beskrevet av feltteori, eller partikkelfysikk, som er en del av kvantefysikken. I denne delen av fysikken er alt beskrevet av felter. Lys, for eksempel, er svingninger av elektriske og magnetiske felter. Felter kan måles ved å måle krefter. For eksempel kan et elektrisk felt måles ved å måle kreftene på en ladd gjenstand. Når du trekker en genser over hodet, kan hårstråene bli slike ladde gjenstander som stritter fra hverandre fordi de påvirkes av hverandres elektriske krefter. Magnetiske felter henger nøye sammen med elektriske felter og skyldes elektriske strømmer, altså ladninger i bevegelse.

Felter varierer kontinuerlig i rommet, og vi må tenke oss at de eksisterer også der vi ikke måler dem. Hva har så slike kontinuerlige felter med partikler å gjøre?

Felter og partikler henger nøye sammen. Det er lett å tenke seg partikler som små pene korn eller kuler, for eksempel som små biljardkuler med hver sine numre på. Men slik er det ikke i elementærpartiklenes verden. Vi kan ikke gi partiklene noen individuell identitet, og når vi observerer dem, skjer det alltid bare indirekte ved å observere deres virkning, for eksempel en viss masseoverføring. Det er her sammenhengen med felter kommer inn i bildet, for felter kan ha akkurat samme virkning. Og ikke bare har de samme virkning. Faktisk er partikler i denne delen av fysikken intet annet enn feltenes virkning, og da skjønner vi hvor nær sammenhengen mellom felter og partikler er. Partiklene er bare feltenes uttrykksform. Dette er det vanskelig å forestille seg, for mens et felt er utstrakt og kontinuerlig, vil det likevel bare utveksle noe med omgivelsene gjennom partikler uten utstrekning, såkalte kvanter.

Men slik er det. Når man ser på et felt på liten nok lengdeskala, virker det på omgivelsene nettopp gjennom kvanter uten utstrekning. Koblingen mellom partikler og felt forklarer dermed ikke bare elementærpartiklene, men samtidig kreftene som virker på dem. Når vi ser bort fra tyngdekraften, som faller i en klasse for seg selv, forklarer feltteorien alle krefter vi kjenner, som uttrykk for en og samme type grunnleggende vekselvirkning. Alle kreftene vi kjenner i hverdagslivet, er enten tyngdekraften eller et uttrykk for den elektromagnetiske kraften. Det er i grunnen ganske oppsiktsvekkende: Berøringskraften som hindrer kaffekoppen i å falle gjennom bordet, er den samme kraften som binder atomene sammen til molekyler, og som holder fuglene i luften.

I tillegg til den elektromagnetiske kraften kommer de sterke og de svake kjernekreftene, som har så kort rekkevidde at de aldri kommer til uttrykk på større lengder enn det som kjennetegner atomkjernen – og det er en lengde som allerede er mye mindre enn størrelsen på atomene selv. Også disse kreftene forenes med den elektromagnetiske i en felles beskrivelse i feltteorien.

Feltteorien beskriver ikke bare hvordan felter materialiserer seg i partikler, men også hvordan feltene i seg selv oppfører seg. Særlig elektriske og magnetiske felter har mange uttrykksformer som vi kjenner. Lys er bølger som består av svingende elektriske og magnetiske felter; det samme gjelder radar, eller strålingen fra en radiosender. Når du grer håret på en kald vinterdag og håret og luften er tørre, er det et elektrisk felt som får håret til å stå rett opp på hodet. Og det er elektriske felter som driver strømmen i et batteri eller fra en kontakt.

Du kan lese mer om felter og partikler i kapittel 2 og 3.

Statistisk fysikk og termodynamikk

I en liter vann finnes det 10 000 000 000 000 000 000 000 000 vannmolekyler. Som nevnt kan vi ikke beskrive alle vannmolekylene for seg. Statistisk fysikk bygger bro mellom det vi vet om materiens byggesteiner, og materiens oppførsel på den skalaen vi kjenner den, og termodynamikken er de konsekvensene av statistisk fysikk som har med trykk, temperatur og varme å gjøre. Termodynamikken startet med forsøkene på å forstå dampmaskiner på 1800-tallet og fikk utover 1900-tallet et grunnlag og en forklaring gjennom statistisk fysikk. For eksempel kan varme og temperaturøkning i et stoff rett og slett forstås som økt bevegelse av de molekylene som stoffet er bygget opp av. Statistisk fysikk kan for eksempel brukes til å forutsi hvor mye varme som skal til for å oppnå en viss temperaturøkning.

I moderne statistisk fysikk dukker også spørsmålet om kompleksitet opp. Hvordan har det seg at de grunnleggende naturlovene, som i grunn er ganske enkle, kan gi opphav til kompliserte uttrykk i naturen rundt oss? Vi har allerede nevnt hvordan de enkle vannmolekylene kan sette seg sammen til snøkrystallenes utrolige mangfold av former. Man trenger bare å ta en titt ut av vinduet for å se mange flere eksempler: Kumulusskyenes haugformasjoner, virvlene i et fossestryk og eiketreets snirklete formasjon av grener og blader er alle eksempler på naturlige uttrykk for kompleksitet som er vokst fram av temmelig enkle molekylære spilleregler.

Statistisk fysikk er ikke et sentralt tema i denne boka, men du kan lese mer om termodynamikk, det vil si energi og varme, i kapittel 4.

Kosmologi

Kosmologien er læren om det aller største vi kjenner til, nemlig universet selv – hvordan det vokste fra sin brutale begynnelse (Big Bang), og hvordan selve rommet er karakterisert. Mens astronomien ellers er basert på fysiske lover som også kommer til anvendelse i jordisk målestokk, er kosmologien basert på lover som bare kommer til uttrykk på de enorme lengdeskalaene som man finner mellom galaksene. Man kan sammenlikne situasjonen med den som råder i partikkelfysikken på den aller minste skalaen. Også i partikkelfysikken er det lover, den såkalte kvantemekanikken, som stort sett bare viser sine særegenheter på en skala som ligger utenfor vår erfaringsverden, nemlig den aller minste skalaen.

Det er et merkelig faktum at fysikken for det aller minste griper inn i fysikken for det aller største. Ved universets fødsel fikk materien sitt opphav i form av elementærpartikler. På den andre siden er universets utvikling avhengig av massen til våre aller minste og letteste partikler.

Du kan lese mer om kosmologi og astrofysikk i kapittel 5.

Fysikkdidaktikk

Fysikkdidaktikk handler om undervisning og formidling av fysikk. Det handler om *hvorfor* elevene skal lære fysikk, *hva* faget skal inneholde, *hvordan* vi skal undervise faget, og *hvem* undervisningen i fysikk retter seg mot. En omfattende presentasjon av fagfeltet fysikkdidaktikk finnes i boka *Fysikkdidaktikk* (Angell mfl., 2019), og dette delkapittelet er basert på tekster i boka.

Hvorfor er det viktig å lære fysikk, og hva handler fysikk om?

Noen vil si at det er viktig å lære fysikk fordi faget representerer den mest fundamentale av alle naturvitenskapene og har lagt grunnlag for moderne teknologi. Fysikkfaget i skolen bør derfor gi elevene kunnskap om naturvitenskap som grunnlag for å forstå den verden vi lever i, og fysikkfaget bør inneholde fysikkens betydning for vår kultur og historie, og for samfunnsaktuelle spørsmål. Videre skal fysikkfaget gi forståelse av grunnleggende begreper og lovmessigheter i naturen, gi innsikt i hvordan fysikken kan forklare hverdagsfenomener, og stimulere til undring over de store filosofiske aspektene av fysikken. Vi må også huske at skolefaget fysikk, som er en del av et felles naturfag i grunnskolen, ikke er en ren avspeiling av et vitenskapsfag, og læreren må gjøre en rekke didaktiske valg når det gjelder undervisningen og hva slags kompetanse elevene skal tilegne seg.

Hva svarer vi når elever spør om hva fysikk er, og hva fysikk handler om? Få elever i grunnskolen vil være fornøyd hvis vi svarer at «Fysikk er vitenskapen om universets og alle stoffers fundamentale bestanddeler og om kreftene som virker mellom dem», noe som i og for seg kunne være en god definisjon. Denne definisjonen legger imidlertid mest vekt på fysikkens produkter, som begreper, lover og teorier. Men fysikk er også kjennetegnet ved *metodene* som brukes, f.eks. fysikkfagets eksperimentelle karakter. Elevene skal få kjennskap til og forståelse for fysikkens metoder og praksiser og den systematiske oppbyggingen av modeller av fenomener og prosesser i naturen. Ikke minst må elevene få rikelig anledning til å undre seg over fysiske fenomener gjennom observasjoner og forsøk og i samtaler med hverandre og med læreren. Dette er også framhevet i et av naturfagets kjerneelementer[1] (naturvitenskapelige praksiser og tenkemåter), som blant annet sier at «elevene skal gjennom opplevelse, undring, utforskning og erfaring forstå verden omkring seg i et naturvitenskapelig perspektiv. Ved å arbeide praktisk og ved å lage egne modeller for å løse faglige utfordringer, kan elevene utvikle skaperglede, evne til nytenking og forståelse av naturfaglig teori» (Utdanningsdirektoratet, 2020).

Forklaring eller beskrivelse

I boka *Fysikkdidaktikk* skriver forfatterne om forskjellen på å beskrive og forklare noe (Angell mfl., 2019, s. 29):

> Et interessant spørsmål er om fysikkens teorier *forklarer hvorfor* naturen oppfører seg som den gjør, eller om de *beskriver* hvordan naturfenomener foregår. Et mål i den aristoteliske fysikken var for eksempel å finne svar på *hvorfor* ting faller mot bakken. Svaret Aristoteles kom med, var at ting faller «fordi de søker sin naturlige plass». Galileo, derimot, spurte *hvordan* ting faller, og valgte å beskrive fallet ved begrepet akselerasjon. Når vi sier at en stein faller mot bakken «fordi tyngdekraften virker mellom jorda og steinen» – har vi da egentlig forklart *hvorfor* steinen faller, eller ledes vi bare videre til spørsmålet om hvorfor det virker tyngdekrefter? Kanskje burde vi i skolefysikken snakke mer om at fysikken *beskriver hvordan* fenomener foregår, og mindre om at den *forklarer hvorfor* ting skjer?

Dette bringer oss til spørsmål som *hva kunnskap er*, og *hvordan vi skaffer oss kunnskap,* såkalt erkjennelsesteori eller epistemologi.[2] Og videre, kan vi være sikre på at noe er sant? Kan vi finne fram til sikker kunnskap? I moderne fysikk beskriver vi for eksempel gjerne lys som både bølge og partikkel. Noen fenomener lar seg lettest forklare med en bølgemodell, mens andre best forklares med en partikkelmodell.

---

1 Kjerneelementene er det viktigste og mest sentrale elevene skal lære i hvert fag, og gir retning og prioriteringer for de nye læreplanene. I tillegg til *naturvitenskapelige praksiser og tenkemåter* er *teknologi, energi og materie*, *jorda og livet på jorda* samt *kropp og helse* kjerneelementer i naturfag.

2 Erkjennelsesteori eller epistemologi handler om hva kunnskap er, og hvordan vi skaffer oss kunnskap. Ontologi handler om hva som grunnleggende sett finnes.
«Hva er elektroner?» kan vi si er et ontologisk spørsmål, mens «Hvordan kan vi vite at elektroner finnes?» er et epistemologisk spørsmål.

Men hva *er* da lys? De fleste fysikere i dag vil si seg fornøyd med to modeller for lys, men det er også fysikere som mener det er problematisk at vi ikke har et entydig svar på hva lys *er*, altså hva lysets natur innerst inne er. Uansett, sentralt i fysikk er det å lage modeller som best mulig beskriver de fenomenene vi observerer.

Vitenskapelige og pedagogiske modeller

Mye av fysikkfaget handler om å lage modeller av virkeligheten, og dagens forskning i fysikk handler i stor grad om å utvikle *vitenskapelige modeller* som beskriver fysiske fenomener. Modellene er som oftest skrevet i et matematisk språk der matematiske likninger uttrykker sammenhenger mellom fysiske størrelser. Klimamodeller og standardmodellen for partikkelfysikk kan være gode eksempler. Et problem for mange elever er imidlertid at de ikke ser forskjellen på en modell og det virkelige fenomenet modellen skal representere. Vitenskapelige modeller har alltid begrensninger og kan være mer eller mindre egnet til å belyse fysiske fenomener. Selv om dagens klimamodeller i stor grad kan beskrive klima og forutsi klimautviklingen, er selvsagt enhver forutsigelse av framtiden befengt med en viss usikkerhet.

Vi kan dele *pedagogiske modeller* i tre typer: *skalamodeller*, *analogimodeller* og *matematiske modeller*. En skalamodell er en forstørret eller forminsket gjengivelse av noe. En modell av solsystemet med sola på størrelse med en appelsin er et eksempel. En analogimodell er et system hentet fra et område vi er kjent med som har viktige likhetspunkter med det systemet vi ønsker å studere. Et eksempel kan være å sammenlikne en strømkrets med et vannrørsystem med pumpe. En matematisk modell er en symbolsk beskrivelse av et fenomen. Likningen $s = vt$ er en modell for bevegelse med konstant fart. Matematiske likninger kan som nevnt over også være grunnlaget for vitenskapelige modeller. Vi kommer tilbake til modellbegrepet i kapittel 4 og 5.

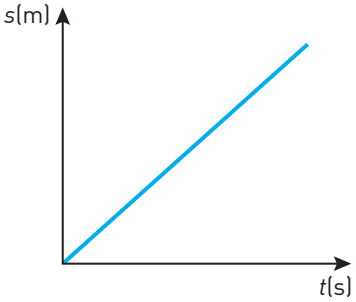
Når vi bruker pedagogiske modeller i undervisningen, er det viktig å være klar over at bruken av dem også kan føre til misforståelser. Det er derfor viktig at vi diskuterer med elevene at modeller kan være med på å tydeliggjøre enkelte sider ved et fenomen, men at modeller også kan gi opphav til feilaktige forestillinger. Du som lærer må altså diskutere modellenes gode og svake sider med elevene. *Ertemodellen* for elektrisk strøm som vi har beskrevet på side 188, er et godt eksempel. Modellen illustrerer godt at strømmen går fort i en ledning, men gir helt feilaktige forestillinger om hvordan elektronene i en ledning ser ut og beveger seg.

Elever møter fysikkfaget

Mange elever opplever naturfag, og spesielt fysikkdelen, som spennende, men også veldig krevende. Uten å gå for dypt inn i diskusjonen om hvorfor fysikk blir oppfattet som vanskelig, vil vi her bare peke på at fysikk ved sine beskrivelser og modeller av virkeligheten bruker mange abstrakte begreper. Det skal mye tenkning til for

å utvikle en forståelse av energibegrepet og energibevaringslovens konsekvenser for vår forståelse av verden (se kapittel 4). Eller når vi i fysikken forklarer opplagte hendelser, f.eks. at en stein faller når vi slipper den, med generelle lovmessigheter og abstrakte begreper. Språket vi bruker, gjør det heller ikke lettere for elevene. F.eks. har begrepet *kraft* en helt spesiell og presis betydning i fysikk, til forskjell fra det dagligdagse ordet kraft (se kapittel 2).

Et annet poeng som du som lærer bør være oppmerksom på, er at i fysikk representeres kunnskap på ulike måter. Litt forenklet kan vi si at vi kan representere et fenomen på følgende måter: Vi kan beskrive fenomenet med ord, undersøke det eksperimentelt, representere det med tabeller, grafer eller figurer og representere det med matematiske symboler og likninger. En ting er at elevene skal beherske hver enkelt av disse representasjonsformene, men de skal også kunne se sammenhengen mellom dem. Som eksempel kan vi studere en bil som beveger seg med konstant fart bortover en vei. Da har vi beskrevet fenomenet. I tillegg kan vi representere fenomenet med en likning som beskriver sammenhengen mellom fart, strekning og tid ($s = vt$), og vi kan tegne en graf som viser sammenhengen mellom strekning og tid (se figur 1.1). Vi tror det er lett for mange lærere å undervurdere vanskelighetene mange elever har med å se sammenhengen mellom disse representasjonsformene, at likningen og grafen begge representerer fenomenet vi har beskrevet. Å beherske sammenhengen mellom representasjonsformer betyr også at elevene må kunne forklare med ord fenomener som er beskrevet med grafer eller matematiske likninger og symboler.



FIGUR 1.1 *Strekning som funksjon av tiden.*

I figur 1.1 har vi framstilt strekningen som funksjon av tiden. Grafen er en rett, jevnt stigende linje, og det betyr at farten er konstant. Farten, som er $v = \frac{s}{t}$, er stigningstallet til den rette linjen.

I delkapittelet *Elevers forståelse av kraft og bevegelse* i kapittel 2 har vi beskrevet et eksempel i mer detalj som nettopp tar opp dette med representasjonsformer og sammenhengen mellom dem.

Perspektiver på læring

Det en lærer sier i et klasserom, kan sies å være et uttrykk for lærerens kunnskap, men det fører ikke nødvendigvis til læring for elevene. Ideen om at *kunnskap er noe vi kan få*, representerer et ganske banalt syn på læring. Moderne syn på læring tar derimot utgangspunkt i at læring er en aktiv prosess. Det er eleven selv som skal konstruere sin forståelse i møtet med undervisningen. *Konstruktivisme* som læringssyn innebærer at man ser på kunnskap som konstruert mening. Kunnskap mottas ikke passivt, men bygges opp aktivt av den lærende. Man skiller gjerne mellom individuell konstruktivisme og sosialkonstruktivisme. Individuell konstruktivisme legger vekt på individet, og er blitt kritisert fordi dette læringssynet i stor grad bare ser på enkeltindividet når man vil forstå hvordan læring foregår.

Sosialkonstruktivismen legger i større grad vekt på den sosiale konteksten læringen foregår i.

Det er særlig innenfor det vi kaller *sosiokulturelle læringssyn*, at den sosiale og kulturelle konteksten får en framtredende rolle. I dette perspektivet er språk et nøkkelbegrep fordi språket er et så viktig redskap for å kunne tilegne seg kunnskap i fellesskap. Sosiokulturelle læringssyn har et utgangspunkt i arbeider av Lev Vygotskij (1896–1934) i 1920- og 1930-årene i Sovjetunionen (se f.eks. Vygotskij, 2001). Sentralt her er ideen om at læring er noe som foregår fra en sosial kontekst til individuell forståelse. Vi møter nye ideer i sosiale sammenhenger (som kan være et klasserom), og der kommuniserer vi ved hjelp av språk. Et hovedpoeng hos Vygotskij er at enkeltindivider først er i stand til å bruke nye begreper og ideer alene etter å ha lært å bruke disse på et sosialt plan. Derfor er det så viktig at elevene i klasserommet blir stimulert til språklig deltakelse gjennom samtaler med medelever og lærer. Dessuten må det legges til rette for aktiviteter der elevene får anledning til å sette ord på sin forståelse av begreper og fenomener, og at de får hjelp til å videreutvikle språket og sin forståelse.

Et fint hjelpemiddel for å få i gang diskusjoner i klasserommet kan være å bruke «grubletegninger». Det er tegninger som tar opp synspunkter på naturfaglige problemstillinger – gjerne fra dagliglivet. Det finnes en rekke av dem på nettstedet naturfag.no[3]. Her er et eksempel:



FIGUR 1.2 *Grubletegning.*

3 Nettstedet drives av Naturfagsenteret, som er et nasjonalt senter for naturfag i opplæringa.

Grubletegningen kan brukes som utgangspunkt for flere diskusjoner og kan gi elevene mulighet til å uttrykke ulike synspunkt og forklaringer. Har tyngden noe å si? Hva med luftmotstanden? Er bakken bratt? Hvilken rolle spiller friksjonen – og skismøringen? Har lengden på skiene noe å si?[4]

Slike grubletegninger kan gjerne brukes sammen med *tenk-par-del*-aktiviteter. Ideen bak slike aktiviteter er at elevene først tenker gjennom et spørsmål fra læreren, eller som her, studerer en grubletegning. Deretter deler elevene tankene sine med en medelev. Til slutt ber læreren noen av parene dele det de har snakket om, i plenum. Det hele kan munne ut i en klasseromsdiskusjon. Vi tror slike tenk-par-del-aktiviteter kan bidra til å aktivisere elevene i klasserommet. Særlig vil vi peke på at denne typen aktiviteter fremmer språklig deltakelse og utvikling av språk. Som nevnt ovenfor er språket et viktig redskap for å kunne tilegne seg kunnskap i fellesskap.

Utforskende arbeidsmåter

Som nevnt ovenfor er *naturvitenskapelige praksiser og tenkemåter* et av kjerneelementene i naturfag. Det betyr blant annet at elevene må få anledning til å utvikle faglig forståelse gjennom det som ofte kalles *utforskende arbeidsmåter.* Med utforskende arbeidsmåter mener vi at elevene selv skal få søke informasjon, gjøre observasjoner, formulere og teste hypoteser og vurdere resultater. Gjennom diskusjoner med medelever og lærer kan elevene utvikle naturfaglig forståelse. For at elevene skal få erfare reell eller det vi ofte kaller *autentisk* utforskning, må de, i alle fall noen ganger, få eksperimentelle oppgaver der teorien ikke er kjent for elevene på forhånd. Nedenfor kan du se et eksempel på en oppgave der elevene må bruke utforskende arbeidsmåter for å komme fram til svaret.

Hva bestemmer svingetiden til en pendel?

Svingetiden er den tiden en pendel bruker på å svinge fra en ytterstilling og tilbake til samme ytterstilling. Vi kan måle den med en stoppeklokke. For å få gode målinger kan det være lurt å ta tiden for ti svingninger og så dele det på ti. Her er det flere mulige hypoteser. Har snorlengden noe å si? Hva med tyngden til gjenstanden vi har hengt i pendelsnora? Hva betyr ulike størrelser på pendelutslaget? Mange vil nok bli overrasket over at det bare er snorlengden som bestemmer svingetiden (se også forsøk om pendler på side 78 i kapittel 2).

4 Her er det tyngdekraften som får skiløperne til å få fart nedover bakken. Det er nok først og fremst luftmotstanden og dermed den som er tyngst, som bestemmer hvem som kjører fortest.