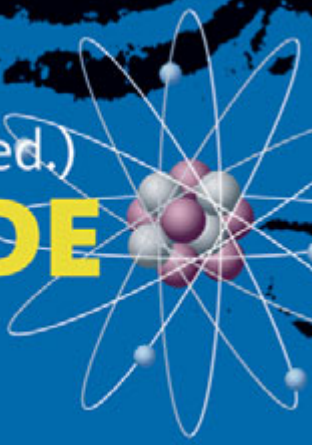
Gaute T. Einevoll og Eirik Newth (red.)

NATURENS KODE

Har fysikken avslørt naturens hemmeligheter?



GAUTE T. EINEVOLL OG EIRIK NEWTH (RED.)

NATURENS KODE

GYLDENDAL
AKADEMISK

© Gyldendal Norsk Forlag AS 2005
1. utgave, 3. opplag 2006

ISBN: 978-82-05-47954-8

Omslagsdesign: Designlaboratoriet

Sats: Designlaboratoriet
Brødtekst: Minion 10,5/14,5 pkt

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

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

Utgivelsen har fått støtte fra Den norske UNESCO-kommisjonen.

Det må ikke kopieres fra denne boken i strid med åndsverkloven eller avtaler om kopiering inngått med KOPINOR, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk. Kopiering i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

FORORD

Det finnes vel ikke noe dårlig tidspunkt for å gi ut en populærvitenskapelig fysikkbok på norsk, men i år passer det ekstra godt. UNESCO og International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP) vedtok for noen år siden at 2005 skulle være *Verdens fysikkår*, og FN's hovedforsamling fulgte i juni 2004 opp med å erklære året som *International Year of Physics*. Norsk fysisk selskap har ansvaret for markeringen av året i Norge, og har tatt initiativ til en rekke tiltak og arrangementer. Ett av tiltakene holder du i hånden nå.

Det gis ikke ut mye populærvitenskapelig litteratur for voksne i Norge, ei heller innen fagfeltet fysikk. Derfor er denne boka, som er skrevet av 24 fremstående norske fysikere, ganske enestående.

Naturens kode forsøker å gi et overblikk over en vitenskap som i våre dager er svært vidtfavnende. Men selv om fenomenene som skildres i det følgende kan virke ulike, har de fascinerende nok opphav i noen ganske få matematiske regler – det vi har valgt å kalle naturens kode. Avsløringen av denne koden, som i stor grad fant sted i forrige århundre, er uten tvil et av de største erkjennelsesmessige gjennombrudd i menneskehetens historie.

Kapitlene i denne boka spenner over naturens minste byggeklosser og dens største strukturer, og drøfter fysikkens betydning for erkjennelse og samfunn i fortid, nåtid og fremtid. Her skildres også flere norske nobelprisvinnere og andre fysikere av internasjonal betydning.

Boka er et dugnadsprosjekt, og alle inntekter vil tilfalle Norsk fysisk selskap. Forfatterne har stilt velvillig opp, og har dertil bidratt med egne illustrasjoner. Videre har Den norske UNESCO-kommisjonen bidratt med økonomisk støtte. Vi vil med dette takke alle for innsats og støtte – ingen nevnt, ingen glemt.

I enkelte kapitler finnes noen oversatte sitater. Dersom ikke annet er nevnt, er disse oversatt av de respektive kapittelforfatterne.

Oslo, mai 2005
Gaute T. Einevoll og Eirik Newth

INNHOLD

FORORD 5

KAP. 1 NATURENS KODE – INTRODUKSJON TIL BOKA 9
Gaute T. Einevoll

KAP. 2 EINSTEIN OG RELATIVITETSTEORIEN 23
Øyvind Grøn

KAP. 3 STREBEN ETTER SANNHET 43
Arnt Inge Vistnes

KAP. 4 TALLENES TALE 61
Henning Knutsen

KAP. 5 UNIVERSETS OPPRINNELSE 77
Øystein Elgarøy

KAP. 6 NATURENS MINSTE BYGGESTENER 91
Egil Lillestøl

KAP. 7 KVANTEFYSIKK 109
Jon Magne Leinaas

KAP. 8 FYSIKKEN TIL FASTE STOFF 123
Kristian Fossheim, Emil J. Samuelsen og Asle Sudbø

KAP. 9 KOMPLEKSITET – SYSTEM OG SAMSPILL I NATURENS MANGFOLD 137
Eirik Grude Flekkøy og Jon Otto Fossum

KAP. 10 LIV OG BEVISSTHET 151
Gaute T. Einevoll

KAP. 11 NORDLYSET OG ARVEN ETTER BIRKELAND 163
Asgeir Brekke

KAP. 12 DEN EVIGVARENDE ENERGISTRØMMEN 177
Geir Helgesen, Kenneth D. Knudsen og Arne T. Skjeltorp

KAP. 13 FYSIKK FOR VÆR OG KLIMA 195
Thor Erik Nordeng

KAP. 14 HVORDAN FINNER MAN OLJE LANGT UNDER HAVBUNNEN? 209
Roger Sollie

KAP. 15 FYSIKK I LETTE METALLER OG TUNG INDUSTRI 219
Randi Holmestad og Sigmund J. Andersen

KAP. 16 FYSIKK OG MEDISIN 225
Johan Moan og Dag Rune Olsen

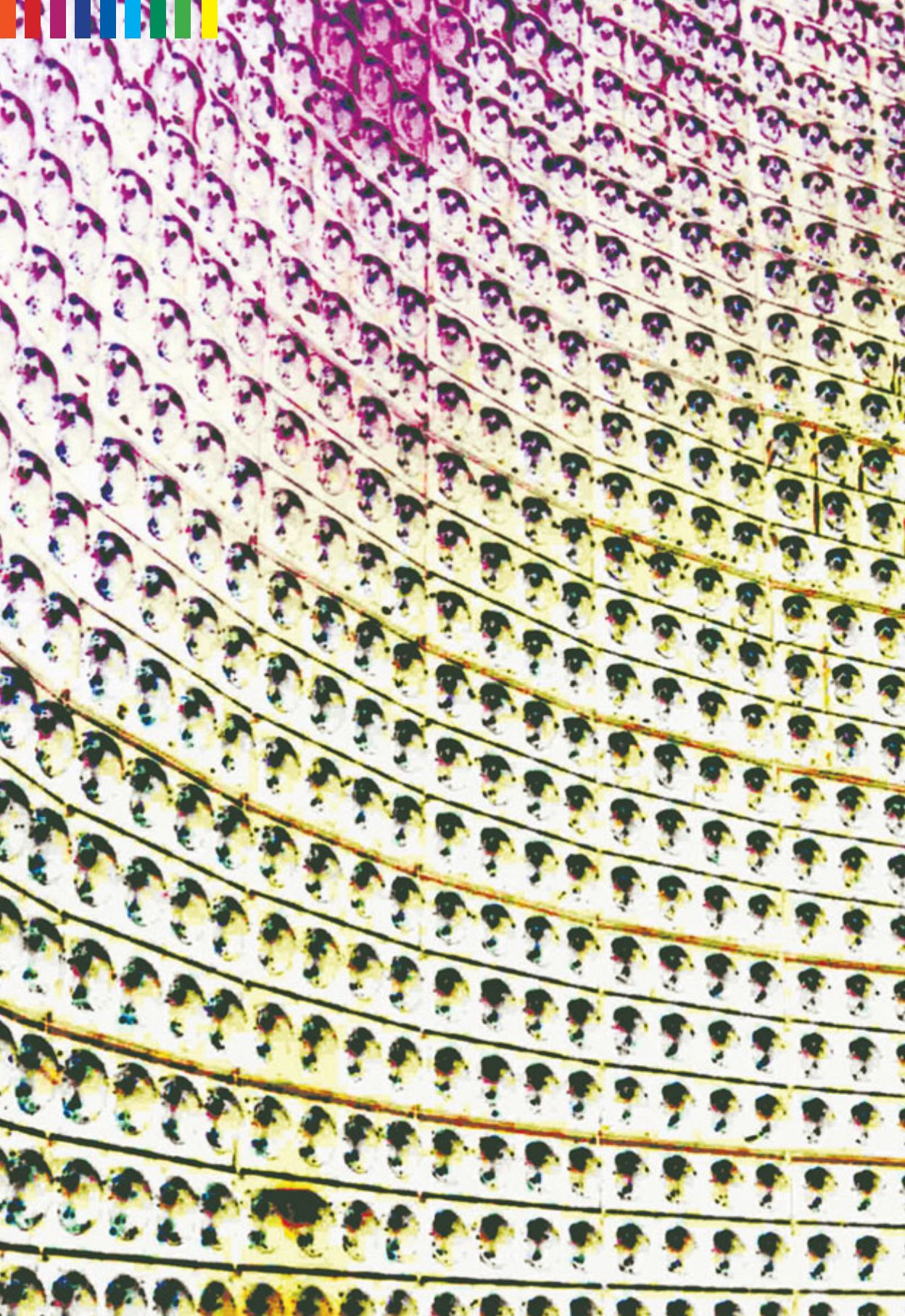
KAP. 17 FRA FASTSTOFF-FYSIKK TIL IT-REVOLUSJONEN 239
Ralph Bernstein

KAP. 18 IVAR GIAEVER 247
Kristian Fossheim

KAP. 19 LARS ONSAGER 253
Per Christian Hemmer

ORDLISTE 261

OM FORFATTERNE 263



1 NATURENS KODE – INTRODUKSJON TIL BOKA

Gaute T. Einevoll

Matematiske naturlover

Det 20. århundret har vært et fantastisk århundre for fysikken. Når fremtidens historikere ser tilbake, vil trolig 1900-tallets avdekking av de grunnleggende naturlovene fremstå blant de fremste kulturelle hendelser i vår tid. Hvis vi skal være litt høytidelige, kan vi si at vi nå kjenner *naturens kode*, dvs. de basale prinsippene som naturen følger. Naturlovene er skrevet i matematikk. Ikke fordi fysikere har valgt det, men fordi vi har observert at naturen følger slike regler. Naturens språk er matematikk, og fysikkens hovedprosjekt har vært å finne de matematiske reglene som naturen følger.

Den viktigste oppdagelsen i naturvitenskapen må være at verden består av et sett av minste byggesteiner, atomer. Atomhypotesen er gammel, men for hundre år siden hadde ingen sett et atom. Langt mindre hadde man da noen fysisk teori som kunne beskrive de ulike atomers egenskaper. I dag vet vi at vi selv og naturen rundt oss er bygd opp av omtrent hundre forskjellige atomtyper. Disse atomene er mindre enn en milliondels millimeter store. Vi har også matematiske ligninger, hovedsakelig Schrödinger-ligningen, som i prinsipp beskriver alt vi er interessert i å vite om disse atomene.

Schrödinger-ligningen er en av flere matematiske ligninger som inngår i et sammenflettet nettverk av matematiske ligninger som til sammen utgjør naturens kode. Dessverre er ikke matematikk det som faller lettest for oss mennesker. Også fysikere flest må streve i årevis for å kunne forstå og bruke disse ligningene. Men strukturen i denne veven av ligninger kan man få et innblikk i uten altfor mye forkunnskaper: En ligning i veven er den rimelig kjente Newtons 2. lov, $F = ma$. Den sier at et legemes masse (symbolisert med m i ligningen) multiplisert med dets akselerasjon eller

fartsendring (symbolisert med a i ligningen) er presis lik kraften (F) som virker på legemet.

Når vi i fysikken bruker ordet kraft, snakker vi om noe annet enn når vi i dagligtalen, for eksempel, refererer til gode eller dårlige krefter i samfunnet. I fysikken mener vi et helt spesifikt sett av fysiske krefter. Faktisk er det ikke flere enn fire av dem: Tyngdekraften eller gravitasjonskraften sørger for at stein vi kaster i lufta, kommer ned igjen. Den elektromagnetiske kraften brukes for eksempel til å presse elektrisk strøm gjennom lyspærene våre, slik at de lyser. De to andre kreftene er såkalte kjernekrefter og virker bare inne i atomets kjerne. Så dem merker vi mindre til.

Newtons 2. lov, som inngår i det som kalles Newtons mekanikk, gir naturens oppskrift på hvordan et legemes fart endres når det virker en kraft på det, dvs. hvordan et legeme responderer på kraften. Newtons mekanikk virker utmerket når legemene ikke er for små eller beveger seg veldig fort. For ørsmå partikler som atomer må en imidlertid bruke en helt annen mekanikk, kvantemekanikken, hvor Schrödingerligningen erstatter Newtons 2. lov. For partikler som beveger seg med hastigheter opp mot lysets, må en bruke Einsteins relativistiske mekanikk.

Mer komplisert er i grunnen ikke strukturen i naturens kode. Vi har et lite knippe av fire krefter og et sett av ulike «mekanikker» som må brukes, avhengig av størrelsen og hastigheten på legemet vi er interessert i. Derfor er ofte fysikkbøker ikke så tykke, i hvert fall ikke sammenlignet med bøker i medisin eller biologi, hvor en tilsvarende klar og samlende forståelse ennå ikke er funnet.

Er fysikken ferdig?

Slik det ser ut i dag, vil veven av naturlover vi har funnet frem til, bli stående til evig tid. Når studenter om hundre år skal lære seg fysikk, vil de lære om de samme lovene som dagens studenter. Likeledes vil fremtidens forskere trolig bruke dagens fysikklover når de i fremtiden studerer alle slags prosesser på jorden.

Imidlertid vet vi at dagens forståelse er ufullstendig når det gjelder fysikklovene som beskriver naturens aller, aller minste byggesteiner eller hva som skjedde ved universets oppstart for 14 milliarder år siden. På disse jomfruelige feltene foregår det intens forskning, og om noen tiår har vi kanskje nye og mer generelle naturlover som også dekker disse mer ekstreme situasjonene. Uansett hva en kommer frem til her, vil likevel etter alt å dømme dagens sett av naturlover, som beskriver atomer, molekyler, gasser, væsker, faste stoffer, planter, dyr, mennesker og alt som ellers omgir oss på jorden, bli stående uforandret.

Dette kan høres arrogant og kanskje historieløst ut. Sa man ikke dette for hundre år siden også? Og hvordan kan man vise at det ikke finnes flere uoppdagede lover? Grunnen til at fysikere tror at alle naturlover som beskriver typisk jordiske fenomener, kan være avdekket, er at det per i dag ikke finnes målinger eller observasjoner som står i motstrid med de naturlovene vi allerede har. Dette er ikke fordi en ikke har prøvd. En fysiker som fant et avvik fra disse naturlovene, vil umiddelbart få ære og berømmelse og etter hvert en nobelpris (som alle vi forfengelige forskere drømmer om). Uavhengig forskningsarbeid av tusener av fysikere verden over har derfor til sammen ledet til at det mest sannsynlig ikke er flere jordiske naturlover å finne. Dette er jo ikke et bevis, men i naturvitenskapen opererer en ikke med bevis som i matematikkfaget. En kan, for eksempel, ikke bevise at sola «står opp» i morgen, selv om de fleste synes det høres sannsynlig ut.

Men hvis alle fysiske naturlover er avdekket, da er vel fysikken ferdig? Nå som vi har funnet den matematiske oppskriften på hvordan naturen på jorden oppfører seg, kan vi vel bare greit regne ut det vi ønsker å vite om naturen? Så enkelt er det dessverre (eller heldigvis, sett med forskerøyne) ikke. Selv om vi kjenner de grunnleggende matematiske lovene, er det i praksis ofte veldig vanskelig å regne ut hvilke konsekvenser disse lovene har for de naturfenomene vi er interessert i. Den matematiske løsningen av Schrödinger-ligningen er rimelig grei for det enkleste atomet, hydrogen, som består av ett elektron svirrende rundt sin atomkjerne. Schrödinger-ligningen, som beskriver det kjempestore uran-atomet med 92 elektroner svirrende rundt atomkjernen, ser omtrent likedan ut som for hydrogenatomet, men er veldig vanskelig å løse matematisk. Selv i dag, 80 år etter ligningens fødsel, arbeider fysikere med å finne ut effektive og nøyaktige måter å finne slike løsninger på.

Situasjonen kan sammenlignes med sjakk. De som kjenner spillet, vet at det ikke er spesielt vanskelig å lære seg reglene for hvordan sjakkbrikkene flytter seg. Men derfra til å bli stormester i sjakk er det langt. Tilsvarende kan en si at vi i dag kjenner naturens sjakkregler, men at det er langt igjen til vi kan kalle oss «stormestre» i å bruke dem.

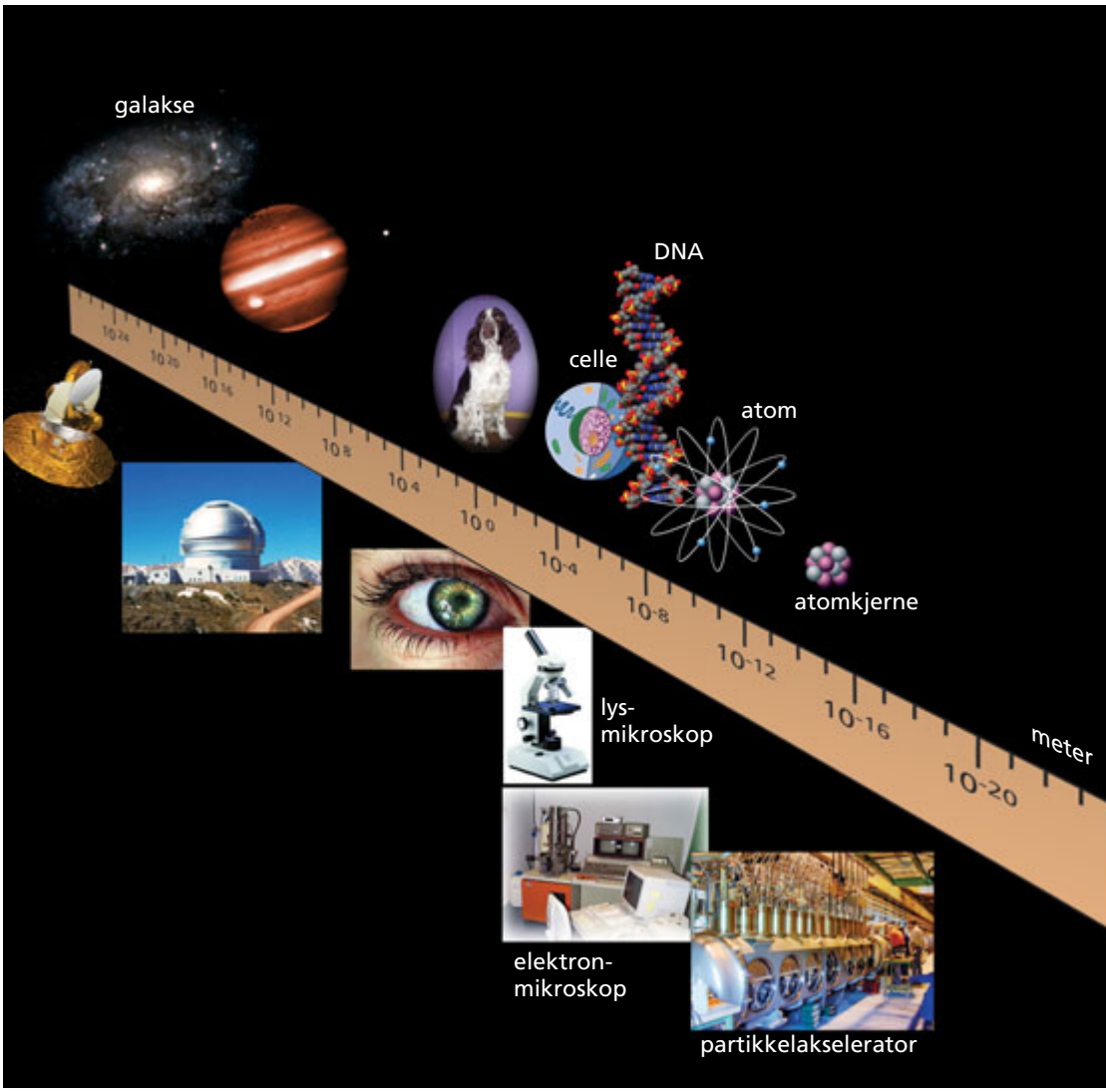
Et annet problem med bruken av de avdekkede naturlovene er at en for kompliserte og sammensatte systemer, for eksempel celler som dyr og planter er bygd opp av, ikke vet nok om bestanddelene til systemet. Selv om vi er rimelig sikre på at vi kjenner fysikklovene som styrer livet i cella, kan vi ikke lage en god matematisk modell uten detaljert kunnskap om cellas byggesteiner. Et tilleggsproblem er at selv om vi hadde denne kunnskapen, ville den matematiske modellen bli så omfattende at en selv ikke med dagens raskeste datamaskiner ville komme særlig langt med å regne ut forutsigelser for cellas oppførsel.

Som om ikke det var nok, finnes det også systemer i naturen som er beskrevet av såkalte kaotiske matematiske ligninger. Været er et godt eksempel på det. Der kjenner vi de matematiske ligningene rimelig godt, men ligningene er av en sånn karakter at en vet at det i praksis aldri vil være mulig å forutsi, for eksempel, været i Tromsø på 17. mai ti år frem i tid. Ligningene som beskriver planeters og måners bane i vårt solsystem, er mye greiere sånn sett. Her kan vi ved matematiske beregninger basert på våre naturlover varsle solformørkelser og Venus-passasjer mange år før de skjer.

Fysikken og de andre naturvitenskapene

Fysikken som fag strekker seg fra det aller minste til det aller største. Et hydrogenatom er omtrent 0,0000000001 meter stort, så lite at det er vanskelig å forestille seg. For å slippe å skrive ned så mange nuller er det vanlig å skrive denne størrelsen som 10^{-10} meter, dvs. ni nuller bak kommaet etterfulgt av et ettall. Selv om atomer er små, er de gigantiske i forhold til størrelsen på atomkjernene som typisk er 10^{-15} meter store. I dag har vi studert naturen helt ned på lengdeskalaer så små som 10^{-18} meter, og når den neste partikkelakseleratoren ved det europeiske forskningssenteret CERN utenfor Genève blir klar om noen år, vil vi kunne studere naturen på enda litt mindre skala.

I motsatt ende av skalaen studerer vi kjempestore ting som solsystem, galakser og galaksehoper. De fjerneste galaksene vi kan se, er 10^{26} (et ettall etterfulgt av 26 nuller) meter fra oss. Så fra det minste vi studerer, til det største er det en faktor 10^{44} i størrelsesforskjell. I dette enorme spennet er det dagens fysikkforskning foregår, og et vidt spekter av måleapparatur og metoder benyttes for å studere fenomener på de ulike lengdeskalaene, se figur 1.1. For å studere planeter, stjerner og galakser er man avhengig av store observatorier som måler lys og annen elektromagnetisk stråling fra verdensrommet. For systemer som er noen centimeter eller meter store, kan vi greie oss med vanlige kameraer eller våre egne øyne. Når ting blir mindre enn en millimeter, må vi ha hjelp av mikroskoper. Vanlige lysmikroskoper kan bare forstørre systemer som er typisk en tusendels millimeter eller større, så for enda mindre ting må vi bruke, for eksempel, elektronmikroskoper. Når vi skal studere atomkjerner og deres byggesteiner, må vi benytte store partikkelakseleratorer hvor partikler tvinges til å kollidere ved enorme hastigheter og slutninger om naturens lover trekkes ut fra hvor energien i kollisjonene blir av.



Figur 1.1 Illustrasjon av fysikkens lengdeskalaer og apparatur som benyttes for å studere naturen på ulike lengdeskalaer.

Ett av de viktigste utviklingstrekk i dagens naturvitenskap er at fysikere også jobber med spørsmål som en skulle tro var forbeholdt kjemikere og biologer. Ett eksempel er spørsmålet hvordan DNA-molekylet, bæreren av arvestoff i alle dyr og planter, koder for hvordan dyr og planter blir seende ut. Hvorfor har ikke skomakeren blitt ved sin lest?

Hovedgrunnen ligger i resultatene fra det 20. århundrets vitenskap. For hundre år siden var fysikk, kjemi og biologi i stor grad atskilte fagfelt. Kjemi omhandlet hvordan atomer binder seg sammen for å danne molekyler, og hvordan molekyler virket sammen med andre molekyler. Siden forståelsen av atomer (som kom til å tilhøre fysikernes domene) var så begrenset, var koblingen mellom fysikk og kjemi svak. Forståelsen av de grunnleggende kjemiske og fysiske prosessene i levende systemer var enda dårligere, så biologien levde også mye sitt eget liv. Men dette har endret seg.

I 1925 kom kvantemekanikken og Schrödinger-ligningen som beskriver hvordan atomer oppfører seg. Som en tilleggsgevinst fant en at samme ligning også beskriver molekyler, og med ett var kjemien rotfestet i fysikken. Tilsvarende ble biologien og kjemien endelig sammenkoblet i 1953 ved oppdagelsen av DNA-molekylet og dets rolle som bærer av arvestoffet. Så i dag er vi på mange måter tilbake til utgangsposisjonen fra noen århundrer tilbake med en felles naturvitenskap.

Mens fysikere er alene om å studere det aller minste og det aller største, har vi altså gitt våre venner kjemikerne og biologene selskap i studier av komplekse systemer som, for eksempel, levende organismer. Hva skiller oss fra hverandre? Fysikk og fysikeres trening karakteriseres ved matematisk modellbygging av natur. Fysikk har alltid vært en naturvitenskap hvor eksperimenter og målinger på naturen har vært den avgjørende faktor, men målet for denne forskningen har likevel alltid vært å komme frem til matematiske modeller for naturen. Matematiske modeller gir en mye større presisjon enn modeller formulert i ord, og er dermed også et mye mer kraftfullt redskap når en skal lage nye oppfinnelser. For eksempel er den pågående IKT-revolusjonen med mobiltelefoner og datamaskiner i allemannseie basert på en halvlederteknologi som ikke hadde vært mulig å utvikle uten den forståelsen og modellpresisjonen kvantemekanikken og Schrödinger-ligningen ga oss.

I dagens biologi arbeider mange fysikere for å se om denne generelle matematiske fysikkverktøykassa også kan bidra til økt forståelse av levende systemer. Dette arbeidet forutsetter et nært samarbeid med kjemikere og biologer med andre metodiske verktøykasser i bagasjen.

Fysikk og samfunn

Et barn som fødes i Norge i dag, kan forvente å leve omtrent 20 år lenger enn de som ble født for hundre år siden. Mange gode krefter har bidratt til denne fantastiske utviklingen, men den viktigste enkeltfaktoren er nok utvikling og bruk av ny tek-

nologi basert på naturvitenskap. I Norge tar vi det i dag for gitt at vi alle skal kunne bo i godt isolerte hus med innlagt strøm, rent vann og kloakkanlegg. Dessuten tas det som en selvfølge at vi skal kunne kjøpe god og trygg mat for en billig penge i butikken og ha tilgang på gode helsetjenester og de beste medisinske behandlingsmetodene når det trengs. Ved hjelp av effektive produksjonsmetoder har vi sørget for at det ikke bare er en liten privilegert gruppe som får nyte godt av slike goder. Vi greier å produsere så mye at det er nok til alle. En gammel Arbeiderparti-kjempe sa en gang at det er ingeniørene og arbeiderbevegelsen som har bygd Norge. Selv om Kåre Willoch nok ville formulert seg noe annerledes, tror jeg også han ville trukket fram ingeniørenes og teknologiens avgjørende betydning for at de fleste av oss i dag kan leve rimelig gode liv.

Fysikkfaget utgjør ryggmargen i den teknologien vårt moderne samfunn er basert på. Ingeniører er nødt til å spille på lag med de avdekkede naturlovene for at teknologien de utvikler, skal virke. De som for eksempel utviklet radio og TV for mange tiår siden, baserte seg på de matematiske ligningene som beskriver alle elektromagnetiske fenomener. Disse ble endelig formulert av James Clerk Maxwell for mer enn hundre år siden. Hver gang du ringer i mobiltelefonen, gjør du faktisk et lite fysikkeksperiment som bekrefter at Maxwells ligninger fortsatt gjelder.

Men hva er fysikkens rolle i samfunnsbyggingen fremover? Globalt sett kan kanskje dette århundrets store utfordring beskrives som følger: *Å gi 10 milliarder mennesker nok mat og gode livsbetingelser uten å ødelegge miljøet*. I dag er det for det første bare en del av verdens befolkning som har det like bra som oss. Dessuten skaffer den rike delen av verden sin velstand på en måte som miljøet ikke kan tåle på lengre sikt. For å møte denne store utfordringen må mange bidra, blant annet må verdens nasjoner bli flinkere til å samarbeide og ta felles ansvar. Men utvikling og bruk av ny teknologi for, for eksempel, å nyttiggjøre seg flere energikilder, bruke energien bedre, redusere utslipp av karbondioksid for å bremse drivhuseffekten eller produsere bedre mat effektivt uten å sette naturmiljøet rundt i fare, vil kunne bli avgjørende. Og dette forutsetter nye generasjoner fysikere, naturvitere og teknologer for både å kunne utvikle og å ta i bruk denne nye teknologien.

Fra et snevrere nasjonalt perspektiv er mange i dag bekymret for hvordan velferdsstaten i Norge skal finansieres når olje- og gassinntektene etter hvert reduseres. Siden vi alle ønsker at vi fortsatt skal kunne bevilge oss rimelig høye lønninger, er vi nødt til å skape eksportinntekter og arbeidsplasser innenfor bransjer hvor høye lønninger er mulig. Og med stadig hardere konkurranse på standard vareproduksjon fra lavkostland som Kina vil et næringsliv basert på høye kunnskaper innenfor

naturvitenskap og teknologi måtte bli et viktig element for å få til dette. Kan vi som nasjon tegne en bedre forsikring for fremtiden enn å bruke vår nåværende rikdom til en massiv satsing på naturvitenskap og teknologi i skole, forskning og næringsutvikling?

Vi lever i dag i et samfunn gjennomsyret av teknologi og fysikk. Nordmenn er blant dem som er ivrigst på (og har råd til) å ta i bruk ny teknologi, for eksempel mobiltelefontjenester og internett. Men til tross for vår interesse for å bruke teknologi synes kunnskapen om hvor denne teknologien kommer fra, å være begrenset. Faktisk har vi de siste tiårene sett en fremvekst av diverse alternative bevegelser som i praksis hevder ting som står i klar motstrid til sikker kunnskap avdekket av naturvitenskapen. I den naturvitenskapelige metode gjøres eksperimenter og teorier allment tilgjengelige for etterprøving av andre i forskersamfunnet (og alle andre som er interessert) for å hindre svindel eller selvbedrag. Læren i alternative bevegelser er ofte kun påstander fremsatt av gurulignende ledere, og det er sjelden kultur for å stille kritiske spørsmål.

Fra Jens Bjørneboes skuespill kjenner vi historien om den østerrikske legen Semmelweis som hevdet (med rette) at antallet fødende kvinner som døde, drastisk kunne reduseres ved at leger vasket hendene på fødestuene. Han møtte imidlertid motstand fra tvilende kolleger. Enkle vitenskapelige studier kunne ha bekreftet for alle at Semmelweis hadde rett: Naturens lover tar ikke hensyn til menneskeskapte hierarkier. Til tross for at den vitenskapelige metoden derfor kan sies å være på vanlige folks side, er det likevel mange som velger bort denne metoden og ofte i stedet ukritisk aksepterer påstander fra karismatiske ledere. Spørsmålet om hvorfor rasjonaliteten og troen på vitenskapens metode ser ut til å være fallende i Norge i dag, har nok et sammensatt svar. Men det lar vi ligge.

Kort guide til boka

Verdens mest kjente fysiker og forsker Albert Einstein er en hovedperson under markeringen av Verdens fysikkår 2005. For hundre år siden publiserte han flere grensesprengende arbeider som til sammen på mange måter definerte pensum for det 20. århundrets fysikk. Det er derfor naturlig å fortsette boka med et kapittel om Einstein og hans mest kjente teori, relativitetsteorien.

De påfølgende to kapitlene omhandler fysikkens og naturvitenskapens metode. I kapittel 3 diskuteres hva som skiller denne metoden fra andre metoder for å oppnå menneskelig erkjennelse. Fysikkens store prosjekt har vært å finne frem til mate-

matiske modeller som beskriver naturens oppførsel. Forholdet til matematikkfaget har derfor vært intimt i mange århundrer, og denne nære koblingen er tema for kapittel 4.

I forskningsdebatter skilles det ofte mellom grunnforskning og anvendt forskning. I grunnforskning er man ute etter kunnskap for kunnskapens egen del, mens i anvendt forskning er målet ofte et konkret, ferdig produkt som man ønsker å bruke selv eller selge. I praksis glir ofte grunnforskning og anvendt forskning i hverandre. Ren nysgjerrighetsdrevet grunnforskning kan gi overraskende nye anvendelser, og anvendt forskning gir ofte helt ny innsikt i naturens irrganger. I boka har vi likevel organisert kapitlene ut fra om hovedfokuset er på grunnforskning eller anvendt forskning. I kapitlene 5 til 11 beskrives noen sentrale grunnforskningsområder hvor fysikere i dag er aktive, mens kapitlene 12 til 17 viser noen eksempler på viktige anvendelser av fysikk i samfunnet.

Som illustrert på figur 1.1 favner fysikken fra det aller største til det aller minste, og vi begynner vår tur i grunnforskningen i kapittel 5, som omhandler det aller største, nemlig universet og dets opprinnelse. I kapittel 6 slår vi kontra og ser på naturens aller minste byggesteiner. Et artig poeng er at fysikken på den minste og den største lengdeskalaen er nær koblet. I dag forstår vi ikke hva 96 % av energien (og massen) i universet er, og mysteriet kan delvis ha sin løsning i nye og uoppdagede ørsmå partikler.

I tillegg til relativitetsteorien bidro Einstein også til den andre store revolusjonen i fysikken på begynnelsen av 1900-tallet, kvantefysikken, som er tema for kapittel 7. Denne teorien ble i utgangspunktet utviklet for å forstå atomers egenskaper, men en fant fort ut at den også beskrev metaller, halvledere og andre faste stoffer. Faste stoffers fysikk, som er tema for kapittel 8, har vært og er et stort og suksessrikt delområde av fysikken. Her finner en fantastiske fenomener som superledning, fullstendig tapsfri ledning av elektrisk strøm, men fagområdet har også vært en avgjørende faktor for den rivende utviklingen innenfor data- og kommunikasjonsteknologi. På grunn av de mange bruksmulighetene satser mange land aktivt på dette fagområdet, ofte under betegnelsen nanoteknologi.

Kapitlene 9 og 10 omhandler det som ofte betegnes som komplekse systemer, alt fra ketchup til hjernen. Dette er et relativt nytt forskningsfelt for fysikere hvor vi arbeider tett sammen med kjemikere og biologer.

Forskningen beskrevet i kapitlene 5 til 10 dreier seg om temaer som engasjerer fysikere over hele verden. I kapittel 11 beskrives imidlertid et fagområde hvor Norge på grunn av sine tradisjoner og geografiske plassering langt mot nord har en særlig

sterk posisjon. Jordens magnetiske poler ligger ikke så langt unna de geografiske poler, og Nord-Norge og Svalbard er særs godt egnet for studier av nordlys og en rekke fenomener i atmosfæren over oss. Mens de enorme partikkelakseleratorene ved CERN i Sveits tiltrekker seg partikkelfysikere fra hele verden, reiser tilsvarende atmosfæreforskere til store internasjonale forskningsinstallasjoner på Andøya, utenfor Tromsø og på Svalbard for å studere atmosfæren.

Kapitlene 12 til 17 i boka er viet fysikkens rolle i samfunnet. I kapittel 12 får du en innføring i problemet med å forsyne verden med nok energi i tiden som kommer. I kapittel 13 får du vite hvordan værmeldingene på TV regnes ut, og du blir også introdusert til spørsmålet rundt drivhuseffekten og hvordan forskere studerer dette ved fysisk modellering. Videre får du i kapittel 14 vite hvordan en finner olje langt under havbunnen i Nordsjøen, og i kapittel 15 om fysikken som ligger bak produksjonen av en brusboks eller en lettmetallfelg til bilen. Sykehusene er i dag en storforbruker av høyteknologi både for diagnose av sykdommer og behandling av dem. Dette får du vite om i kapittel 16, hvor det også fortelles om hvordan lys påvirker helsa vår. I kapittel 17 får du en innføring i fysikken og teknologien som ligger bak dagens masseproduksjon av billige, men svært avanserte mikroprosessorer for bruk i datamaskiner og andre teknologiske nyvinninger.

I disse tider hvor mediene synes å fokusere mer og mer på person og i mindre grad på sak, kunne det være artig å spekulere på hvor fysikken og naturvitenskapen hadde vært i dag hvis, for eksempel, Einstein ikke hadde levd. Svaret er trolig akkurat like langt. Andre fysikere ville helt sikkert ha funnet frem til de samme teoriene, men teoriene hadde jo blitt noen år forsinket. I fysikken og naturvitenskapen er det den vitenskapelige metoden, mer enn enkeltpersoner, som er den store helten.

Hvis et påstått maleri av Rembrandt viser seg å være en forfalskning, faller plutselig verdien av maleriet dramatisk. Hvis vi hadde funnet ut at Einstein ikke hadde funnet sine teorier selv, men i stedet stjålet dem fra en nabo, ville det jo vært av historisk interesse. Men teoriene ville ikke blitt noe mindre viktige av den grunn. De er viktige fordi forutsigelsene fra teoriene hans stemmer med målinger på naturen, ikke fordi de er fremsatt av Einstein eller en annen anerkjent fysiker. Men uansett er det jo artig å få vite litt om menneskene som sto bak store gjennombrudd i fysikken. I denne boka beskrives i tillegg til Einstein en del av de fremste norske fysikerne. Kristian Birkeland, den store nordlysforskeren og industribyggeren, omtales i kapittel 11. Den matematiske værvarslingens far, Vilhelm Bjerknes, omtales i kapittel 13. Videre beskrives Ivar Giæver, vår eneste nobelprisvinner i fysikk, i kapittel 18, mens Lars Onsager, nobelprisvinner i kjemi, men også verdenskjent for sine fysikkteorier, beskrives i kapittel 19.

Noen viktige fysikkbegreper

I en bok om fysikk kommer en ikke unna bruk av en del spesialiserte begreper. Fordelen med fysikk sammenlignet med for eksempel biologi er at en egentlig ikke trenger så veldig mange begreper. Snarere er det snakk om noen få begreper som brukes i mange forskjellige sammenhenger.

I de påfølgende kapitlene forklares mange av de viktige begrepene underveis. Vi har også hengt på en egen kort ordliste hvor du kan slå opp betydningen av noen viktige ord og begreper. For å hjelpe i den videre lesningen følger til slutt i dette introduksjonskapitlet en kort tur i fysikkens begrepsverden.

Atom er det viktigste begrepet i fysikken og naturvitenskapen. Det finnes omtrent 100 forskjellige atomtyper i naturen, og alt vi ser rundt oss, er bygd opp av dem. Et atom består av ett eller flere *elektroner* som svirrer rundt en ørliten *atomkjerne*. Elektroner har negativ *elektrisk ladning*, mens atomkjerner har positiv ladning. I utgangspunktet er den negative elektronladningen i atomet like stor som den positive kjerneladningen, og atomet som helhet har derfor ingen nettoladning. I noen situasjoner kan imidlertid et atom miste elektroner eller bli tilført noen ekstra, slik at atomet får en positiv eller negativ nettoladning. Slike atomer kaller *ioner*.

Mens elektronet etter det vi vet, ikke kan deles opp i noe mindre, vet vi at atomkjernene er bygd opp av to typer kjernepartikler, *protoner* og *nøytroner*. Videre vet vi at protoner og nøytroner igjen er bygd opp av ulike typer *kvarker*. Om dette er slutten, eller om det finnes en enda finere oppdeling av naturen, vet vi ikke per i dag. Men jakten fortsetter.

De fleste atomer slår seg gjerne sammen med andre atomer og danner det som kalles *molekyler*. Vannmolekylet, for eksempel, består av to hydrogenatomer og ett oksygenmolekyl. Men det finnes også veldig store og kompliserte molekyler, for eksempel *proteiner* eller *DNA* som består av tusener atomer, og som er avgjørende byggesteiner for liv.

Metallatomer som kobber eller jern danner lett ordnede strukturer hvor atomer er organisert i ordnede gitter, omtrent som epler stablet pent oppå hverandre i en fruktdisk. Slike ordnede gitterstrukturer av atomer kalles *faste stoffer*. Den store gruppen av faste stoffer deles ofte igjen opp etter hvor godt de leder elektrisk strøm. De som leder strøm veldig godt, kalles *metaller*, mens de som nesten ikke leder strøm i det hele tatt, kalles *isolatorer*. De som er midt imellom, kalles *halvledere*.

Hvis en varmer opp et fast stoff tilstrekkelig, for eksempel en jernbit, vil etter hvert atomene skrangle så kraftig at den ordnede gitterstrukturen vil gå i oppløsning. Dette tilsvarer smelting, og jernatomene vil bli en *væske*. I væskefasen vil fort-

satt jernatomene være i nærheten av hverandre, men de vil bevege seg fritt mellom hverandre omtrent som dansere på et diskotek. Hvis vi varmer opp væsken enda mer, vil jernatomene til slutt bli en *gass* hvor de svever fritt rundt omkring nesten uavhengig av andre atomer i gassen.

Fra dagliglivet er vi kjent med fysiske krefter, for eksempel tyngdekraften, som sørger for at epler faller til jorden når vi slipper dem. Tyngdekraften tilsvarer den tiltrekkende gravitasjonskraften som virker mellom massen til jorden og massen til eplet. Jorden tiltrekker seg ikke bare epler, alt med masse vil falle ned mot bakken. Ofte er det derfor mer hensiktsmessig å snakke om jordens tyngdefelt. Størrelsen på dette *feltet* avhenger bare av jordens masse. Feltet forteller ikke bare om hvilken kraft som vil virke på et spesielt eple, men hvilken kraft som vil virke på et hvilket som helst objekt.

Også når det gjelder andre krefter, for eksempel elektriske eller magnetisk krefter, er det oftest mer hensiktsmessig å snakke om felt. En av de store oppdagelser på 1800-tallet var for øvrig at elektriske og magnetiske fenomener er ulike manifestasjoner av en og samme kraft, den *elektromagnetiske.* Med en feltbeskrivelse av denne kraften snakker vi derfor om det *elektromagnetiske felt*.

I boka snakkes det mye om *stråling.* Ofte er det snakk om *elektromagnetisk stråling*, hvor synlig lys er det mest kjente eksemplet. Elektromagnetisk stråling er bølger av elektromagnetiske felt. Bølgelengden til denne strålingen, dvs. avstanden mellom to bølgetopper, kan variere fra mye mindre enn et atom til mange kilometer. Synlig lys tilsvarer elektromagnetiske bølger i et lite intervall av bølgelengder mellom 0,38 og 0,78 tusendels millimeter. Bølger med bølgelengde på 0,5 tusendels millimeter oppfatter vi som grønt lys, mens bølger med bølgelengde på 0,7 tusendels millimeter oppfatter vi som rødt. Ulike atomer og molekyler sender ut lys og annen elektromagnetisk stråling på et sett av helt bestemte bølgelengder, dvs. at strålingen de sender ut, sies å ha et helt bestemt *spektrum.*

Utenfor det smale intervallet av bølgelengder som tilsvarer synlig lys, ligger et hav av annen elektromagnetisk stråling som spiller en stor rolle i fysikken. Går vi nedover i bølgelengde, kommer vi først til det som kalles *ultrafiolett stråling* eller *UV-stråling*. Når bølgelengden blir mindre enn en milliondels millimeter, snakker vi om *røntgenstråling*, og når bølgelengden er mindre enn omtrent ti milliarddels millimeter, snakker vi om *gammastråling.*

Hvis vi ser på elektromagnetisk stråling med bølgelenger lengre enn for synlig lys, kommer vi først til *infrarød stråling*. Når bølgelengdene blir så store som en millimeter, snakker vi om *mikrobølger*, mens bølger med bølgelengder over en halvmeter