

# Fra Fysikkens Verden

NR. 3 – 2024  
86. ÅRGANG

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP



Hvorfor fikk ikke  
Lise Meitner  
**Nobelprisen**  
**i fysikk?**

## Les også om:

- Rutherford's atommodell
- Kroppens rolle i forståelse av naturen
- Forsøk for klasserommet
- Bokomtale

**NR. 3 – 2024**

**86. ÅRGANG**

**Utgiver:**

Norsk Fysisk Selskap  
[www.norskfysisk.no](http://www.norskfysisk.no)

**Redaktør:**

Professor emeritus Øyvind Grøn  
OsloMet – Storbyuniversitetet og UiO  
[oyvind.gron.no@gmail.com](mailto:oyvind.gron.no@gmail.com)

Professor emeritus Carl Angell  
UiO  
[carl.angell@fys.uio.no](mailto:carl.angell@fys.uio.no)

**Redaksjonssekretær:**

Maria Hammerstrøm  
[maria.hammerstrom@astro.uio.no](mailto:maria.hammerstrom@astro.uio.no)

**Redaksjonskomité:**

Professor Odd-Erik Garcia, Institutt for fysikk, UiT  
Professor Ellen K. Henriksen, Fysisk institutt, UiO  
Førsteamanuensis Trygve Buanes, Institutt for datateknologi,  
elektroteknologi og realfag, HVL

**Layout og sats:**

Maria Hammerstrøm

**Forsidebilde:**

Dean Calma/IAEA

**Trykkeri:**

Oslo Sats, repro og montasje A/S

**Abonnere:**

*Fra Fysikkens Verden* kommer ut fire ganger årlig.  
Abonnement tegnes på følgende postadresse  
eller e-post:

*Fra Fysikkens Verden*  
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo  
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo

E-post: [nfs.styret@gmail.com](mailto:nfs.styret@gmail.com)

Årsabonnement: 200 kr. (studenter 100 kr.)  
Bankgiro: 7878.06.03258

**Retningslinjer for bidragsytere**

*Fra Fysikkens Verden (FFV)* utgis av Norsk Fysisk Selskap og sendes til alle medlemmer. Disse er vanligvis utdannet fra universiteter og høyskoler med fysikk i sine fagkretser. Andre kan også abonnere på bladet. Blant disse er elever og biblioteker ved videregående skoler.

**Frist:** Bladet gis ut fire ganger i året: mars, juni, oktober og desember. Tidsfristene for stoff er: 1. februar, 1. mai, 1. september og 1. november. Opplaget er for tiden 1200.

**Formål:** Formålet med *FFV* er å gi informasjon om aktuelle tema og hendiger innen fysikk, og å bygge bro mellom forskere, fysikklærere, studenter og andre interesserte. Ikke minst ønsker *FFV* å være til hjelp for elever og lærere i videregående skole og andre undervisningsinstitusjoner. Dette krever at artikler og annet stoff er skrevet på norsk og på en lett forståelig måte. Faguttrykk må defineres. En verbal form er oftest å foretrekke fremfor matematikk. Men det må brukes standard begreper og enheter. Matematikken må være forståelig for fysikkstudenter. Artiklene i *FFV* skal primært gi informasjon til dem som er utenfor det aktuelle fagfeltet. Artikler som bare forstås av en liten faggruppe har ingen plass i bladet. Alt stoff blir vurdert redaksjonelt, og redaksjonen forbeholder seg rett til å foreta mindre endringer.

**Filformat:** Manuskripter leveres i en form som forfatteren mener er direkte publiserbar. De skal levers elektronisk som e-post, og i et rent tekstformat (for eksempel Word), slik at redaksjonen kan redigere teksten direkte. Dersom manuskriptet inneholder matematiske ligninger, skal manuskriptet også leveres som PDF.

**Lengde:** Artikler bør ikke være lengre enn seks sider med trykt tekst og figurer. Større avsnitt i teksten bør markeres med undertitler. Unngå fotnoter. Referanser kreves ikke, men det er ønskelig med en liste over lett tilgjengelig tilleggsstoff.

**Småstykker:** Gratulasjoner, nekrologer, bokomtaler, skolestoff, møtetreferater og lignenede mottas gjerne, men de må ikke være lengre enn 1–2 sider. Doktoromtaler begrenses til en halv side inkludert bilde.

**Illustrasjoner:** Legg mye omtanke i figurer, ettersom de er en viktig del av en artikkel. All figurtekst skal være på norsk. Figurene bør være av god oppløsning. Figurer og tabeller skal være referert i den løpende teksten. Hvis forfatterne selv ikke har laget figurene, skal opprinnelsen oppgis. Forfatterne må selv innhente tillatelse til bruk av slike illustrasjoner.

**Korrektur:** Forfatterne får tilsendt korrektur når layout er satt opp som må returneres snarest. Det må ikke gjøres unødige endringer i korrekturane.

# Innhold

Fra redaktørene <i>Carl Angell</i>	51
Rik på opplevelser under Den europeiske fysikkolympiaden 2024 <i>Thomas Frågåt</i>	53
Rapport fra Landskonferansen om fysikkundervisning <i>Line Klavenes Berg</i>	54

## Fysikknytt

Kavliprisen i astrofysikk 2024 <i>Øyvind G. Grøn</i>	56
--	----

## Artikler

Hvorfor fikk ikke Lise Meitner Nobelprisen i fysikk? <i>Øyvind G. Grøn</i>	58
Instabiliteten av Rutherfords atommodell <i>Øyvind G. Grøn</i>	64

## Skolefysikk

Kognisjon i bevegelse: Kroppens rolle i forståelsen av naturen <i>Magdalena Kersting</i>	70
Forsøk: Solnedgang i fysikklaboratoriet <i>Tor Hjalmar Johannessen</i>	76
Forsøk: Verdensrommets ekspansjon <i>Tore Hovland</i>	80
SPISS – Et tidsskrift for publisering av elevers forskningsartikler <i>Anders Isnes</i>	82

## Personomtaler

Ny doktor: Kim Robert Tekseth	85
-------------------------------	----

## Småstoff

Bokomtale: Bjarne Stugu – <i>Moderne fysikk for bachelorstudenter</i> <i>Øyvind G. Grøn</i>	86
---	----

## FRA REDAKTØRENE

I august avholdt Fysikklærerforeningen Landskonferansen om fysikkundervisning. Det er en viktig konferanse som først og fremst samler fysikklærere fra videregående skole, men også deltakere fra universiteter og høyskoler. Line Klavenes Berg har skrevet en rapport fra konferansen. Blant alle de meget gode og interessante bidragene på konferansen, var det flere bidrag som belyste spørsmål omkring kvantefysikk, fra begrepet kvanteobjekt til elevers forståelse av måling og superposisjon. Vi har hatt flere artikler i FFV i det siste som har diskutert kvantefysikk, nærmere bestemt lystes natur. Om introduksjonen av begrepet kvanteobjekt i læreplanen i fysikk 2, løser de grunnleggende problemene knyttet til tolkning av kvantefysikk, gjenstår å se. I tråd med tolkningsspørsmål i kvantefysikk ble følgende spørsmål tatt opp: Må vi gi opp antakelsen om «realisme» i kvantefysikken? Og hva betyr i tilfelle det?

Øyvind Grøn har «som vanlig» bidratt med flere artikler I dette nummeret. For

alle som er interessert i fysikkhistorie, er artikkelen om hvorfor Lise Meitner ikke fikk Nobelprisen meget interessant. At Otto Hahn i stedet fikk den alene, er kanskje den mest alvorlige forbigåelsen i Nobelprisens historie.

«Kognisjon i bevegelse: Kroppens rolle i forståelsen av naturen» er tittelen på artikkelen til Magdalena Kersting. Hun tar utgangspunkt i de to fysikerne, Feynman og Einstein, og belyser hvordan kroppslige strategier ble brukt av begge i deres utvikling av kvantefeltteori og relativitetsteorien. Undervisning i fysikk, hevder Kersting, kan berikes gjennom kroppslige strategier for å gjøre abstrakte begreper mer håndgripelige. Kersting belyser viktige problemstillinger som alle som underviser i fysikk kan ha nytte av.

I dette nummeret har vi beskrivelser av to forsøk som kan gjøres i fysikkundervisningen: Demonstrasjon av lysbrytning i et medium med brytningsgradient og en enkel, men effektfull måte å vise universets ekspansjon på.



Øyvind G. Grøn



Carl Angell

# Bidragstyperne til denne utgaven

## **Line Klavenes Berg**

Lektor i fysikk ved Horten vgs. og styremedlem i Norsk Fysikklærerforening

Opptatt av å gjøre fysikkundervisningen levende og relevant, men samtidig med plass for undring.

## **Thomas Frågåt**

Høgskolelektor, Høgskolen i Innlandet og i styret i Norsk fysikklærerforening

Har tidligere jobbet som fysikklærer i videregående skole før flere år som lærerutdanner i fysikkdidaktikk ved OsloMet og Høgskolen i Innlandet. Har nå deltidsstilling ved Høgskolen i Innlandet med fokus på forskning på algoritmisk tenkning og programmering i realfag. Har vært med i fysikkolympiadekomitéen siden 2013 og deltatt som lagleder i de fleste internasjonale finalene siden 2014.

## **Øyvind G. Grøn**

Professor emeritus i fysikk ved Oslo Met og Universitetet i Oslo

Hans forskningsområder er relativitetsteori, universet og elektromagnetisme. Grøn skriver lærebøker i relativitetsteori, halvpopulære artikler om fysikk i FFV og populærartikler om astronomiske temaer i *Astronomi*.

## **Tore Hovland**

Lærer, Askøy vgs.

Underviser i fysikk og naturfag. Tre fysikk-klasser i år, naturfag i en påbygg-klasse og en byggfag-klasse.

## **Anders Isnes**

Dosent emeritus ved Naturfagsenteret, Universitetet i Oslo og tidligere leder av Naturfagsenteret

Fagområdet har vært fysikk og naturfag fagdidaktikk. Har arbeidet ved Skolelaboratoriet i fysikk, Fysisk institutt og vært leder av lærerutdanningen ved UiO. Har deltatt i arbeidet med å utvikle læreplaner i realfagene de siste 20 årene. Har skrevet en rekke lærebøker i fysikk og naturfag for ulike nivåer i skolesystemet og mottatt priser for arbeidet med naturfagene i skolen.

## **Tor Hjalmar Johannessen**

Pensjonist. Cand. Real. i biofysikk/spektroskopi (elektronspinnresonans-ESR)

Lektor med Ped.Sem. og undervisningskompetanse i fysikk, matematikk, kjemi, naturfag og IT. Skoleerfaring: VGS (10 år), U-skolen, voksenundervisning samt diverse kurs for lærere. Flerårig samlingsstyrer, samt representant for Norsk Lektorlags Fysikk/Kjemi seksjon i Oslo og Akershus. Senere: ND (Kursavdelingen og Tech Support). Alcatel/Thales: Kryptologi og kryptoutstyr. Telenor Forskning: Elektronisk ID, samt sikkerhet innen mobile nett, samt internasjonal standardisering (ETSI / GSMA) Har skrevet diverse artikler i nordiske tidsskrifter innen fysikk, matematikk, telematikk og soppfag (!).

## **Magdalena Kersting**

Førsteamanuensis i naturfagsdidaktikk ved Københavns Universitet

Med bakgrunn i teoretisk fysikk og matematikk fra Universitetet i Göttingen, Tyskland, og en doktorgrad i fysikkdidaktikk fra Universitetet i Oslo, forsker hun på undervisning i fysikk og naturfag. Hun har også utdanning fra journalistikkskolen i Berlin og er aktiv innen vitenskapsformidling. Hennes forskning omfatter kroppslig kognisjon og teknologiperspektiver, med særlig fokus på hvordan kroppslige opplevelser påvirker vitenskapelig forståelse.

# Rik på opplevelser under Den europeiske fysikkolympiaden 2024



**Deltakerne.** På bildet er fra venstre Mathias Gustafson, Øystein Berntzen, Håkon Støren, Ricardo Guiraudeli, Elly Kjelstrup.

Norge stilte i år med fem deltakere og to lagledere under Den europeiske fysikkolympiaden (EuPhO) som i år ble arrangert i Kutaisi i Georgia, 15.–19. juli. Til tross for god innsats blant de norske deltakerne, ble det i år ingen priser. Likevel ble det en minneverdig tur hvor det norske laget fikk mange minnerike opplevelser.

Norge har en lang historikk med deltakelse i Den internasjonale fysikkolympiaden (IPhO), men ble i år forhindret fra å delta siden finalen ble holdt i Iran. I likhet med flere andre land, frarådet Utenriksdepartementet innreise til Iran. I år var det bare 46 deltakende nasjoner under IPhO mot normalt rundt 85. Det gjorde at det i år var rekorddeltakelse under EuPhO med 256 fysikkelever fra 55 deltakende land. Det norske laget bestod av: Mathias Gustafson, Håkon Støren, Ricardo Guiraudeli, Elly Kjelstrup og Øystein Berntzen og laglederne Thomas Frågåt og Torbjørn Mehl.

I likhet med IPhO er det også under EuPhO to eksamensdager, én for eksperiment og én for teori. Årets eksperimentelle oppgaver handlet om piezoelektriske effekt hvor deltakerne måtte gjennom flere målinger for å studere piezoelektriske egenskaper før de til slutt skulle bestemme interaksjonstiden mellom en ball som treffer en treplate ved hjelp av en piezokrystall.

I de teoretiske oppgavene skulle deltakerne gjennom tre forskjellige temaer: Farten til en puck som treffer en kurvet vegg med friksjon, beregninger som innebar bruk av spesiell relativitet når Alice

og Bob sender signaler til hverandre fra hvert sitt romskip og den siste oppgaven handlet om Fabry-Pérot interferometer.

Selv om det ikke ble noen priser under selve EuPhO, kom vi ikke hjem tomhendte. Opplevelsene stod i kø i dette spennende og gjestfrie landet som ligger helt i yttergrensen av Europa. Georgia er berømt for sitt kjøkken, og det sviktet heller ikke oss med alle sine spennende smaker. De norske deltakerne fikk også møte deltakere fra andre land og nye vennskapsbånd ble knyttet. Turen tilbake til Norge ble heller ikke helt uten opplevelser da vi ble rammet av datakaoset som rammet verden i juli. Flyet vårt videre fra München ble kansellert og vi endte til slutt opp med å komme hjem til forskjellige tidspunkt over de neste dagene etter noen ekstra netter i München.

Så et lite hjertesukk fra oss lagledere: Dessverre har vi over flere år merket oss en trend hvor de norske deltakerne har mindre og mindre erfaring med å gjennomføre eksperimenter. For oss blir det utfordrende at norske elever ikke vet hva et multi-meter er og det påvirker selvsagt resultatene til de norske deltakerne. Vi har en oppfordring og det er at fysikkeksperimentet igjen får en større plass i den norske skolen!

Neste års Europeiske fysikkolympiade er i Sofia i Bulgaria, og Den internasjonale er i Paris i Frankrike.

*Thomas Frågåt*

# Rapport fra **Landskonferansen om fysikkundervisning**



**Blide.** Bare blide deltakere, her representert ved en del av dem, men ikke fulltallig.

Foto: Vegard Sjøvik

Landskonferansen om fysikkundervisning 2024 er historie, og det ble en meget god historie for de som deltok! Landskonferansen arrangeres annet hvert år av Norsk Fysikklærerforening, med det formål å etterutdanne og inspirere lærere som underviser fysikk i videregående skole. Årets konferanse ble avholdt på Sundvolden Hotel 9.–12. august og samlet drøyt 50 deltakere.

«Fysikk 16 timer i døgnet uten dårlig samvittighet» har i en årrekke vært et motto for konferansen. Takket være velvillige bidragsytere fra inn- og utland, kunne programkomiteen servere et variert program med høy faglig kvalitet, slik at mottoet ble oppfylt også denne gangen. Det ble en god blanding av fysikkfaglige og didaktiske tema.

I løpet av de fire dagene vi var sammen, hadde vi 20 ulike foredragsholdere på podiet! Vi fikk ny

innsikt og nye perspektiver på kjernefysikk og status for utviklingen innen fusjonsenergi, høyaktuelle temaer både i undervisningssammenheng og i samfunnsdebatten. Aktuelt og tankevekkende var også innlegget om energi og energisikkerhet. Kvanteteknologi og kvantefysikk fikk oppmerksomhet i flere sesjoner med ulike vinklinger, og vi fikk gode råd om hvordan dette kan/bør formidles i klasserommet.

Kunstig intelligens i læringssammenheng fikk oppmerksomhet i flere foredrag og en panelsamtale, og vi ble kanskje litt klokere på hvordan vi kan bruke dette nye hjelpemiddelet? (Dette kan man også lese om i FFV nr 2, 2024).

Det var spennende å lære om gravitasjonsbølger og måling direkte fra en som jobber i fagfeltet, dr. Martin Hendry fra University of Glasgow, som for øvrig hadde flere bidrag med seg til konferansen.



**Gravitasjonsbølger.** Dr. Martin Hendry, professor ved University of Glasgow hadde flere bidrag under konferansen, bl.a. klargjorde han om prinsipper for måling av gravitasjonsbølger, inkludert en praktisk øvelse for bruk i klasserommet

Foto: Ellen K. Henriksen



**Fysikdidaktikk.** Nicoline Birkeland med en meget interessant redegjørelse av sitt masterarbeid i fysikdidaktikk ved Skolelaboratoriet ved Fysisk institutt om hvordan elever opplever møte med kvantefysikk. Her fikk vi lærere litt å tenke på!

Foto: Ellen K. Henriksen

Videre fikk vi servert nye ideer til småforsøk og gjøringer, og «Fermi-problemer» som metode. Dette er gull å ha med seg til hjemlige klasserom, – likeså tips om ulike vinklinger på faget som i «superhelt-fysikk» og «kjøkkenbenkfysikk» og selvfølgelig siste nytt fra didaktisk forskning som besvarer «hva er god fysikkundervisning». Ble du nysgjerrig på detaljer i programmet, kan du finne det her: <http://fysikklarerer.blogspot.com>.

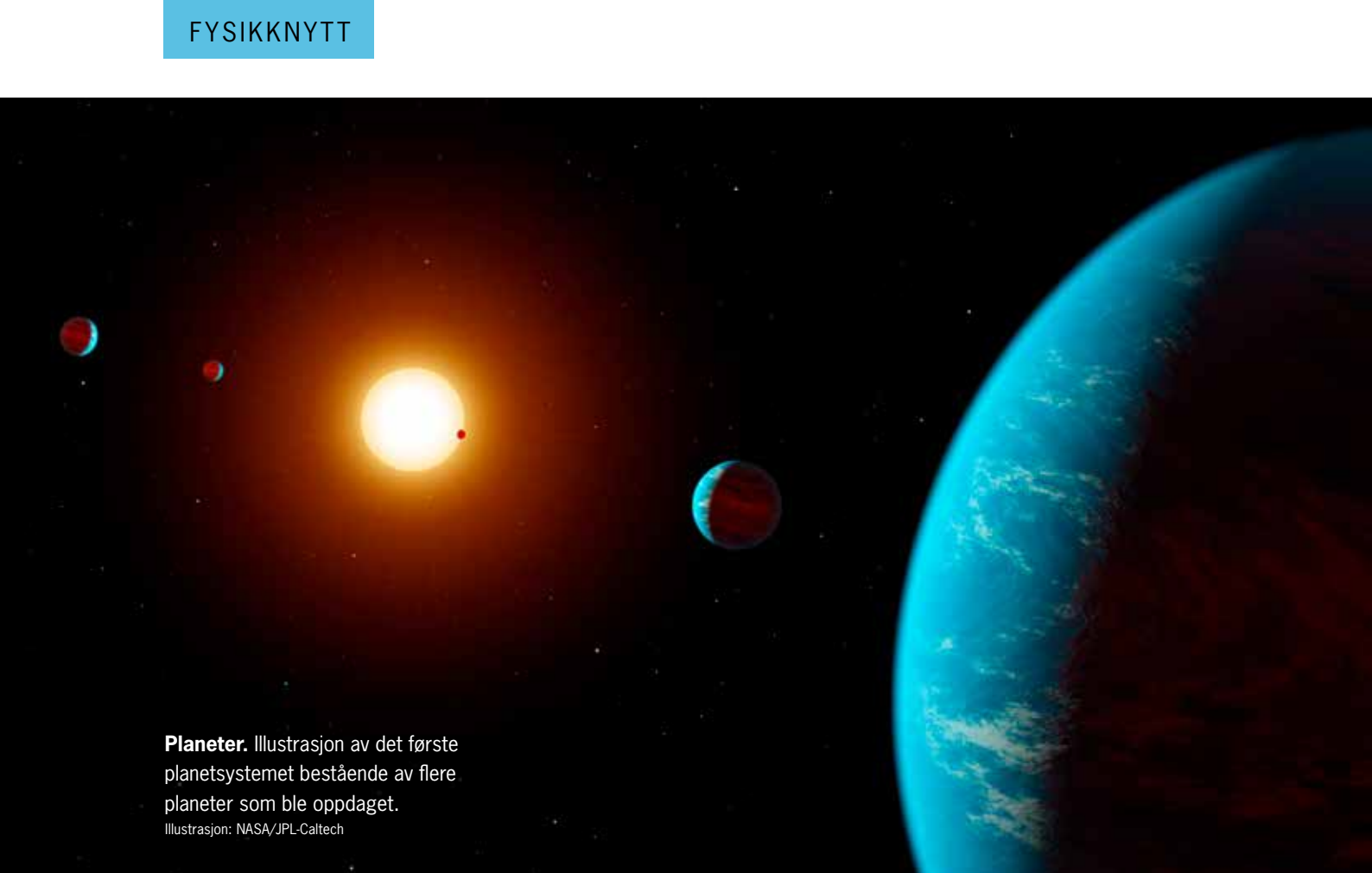
At tilfredsheten blant deltakerne var stor, fikk vi bekreftet underveis og gjennom evalueringsskjemaet etter konferansens slutt. Der vi finner utsagn som «Valg av gode formidlere som kjenner de sentrale fagfeltene 'til bunns' og gir oss verdifull input». «Det er også veldig nyttig å få nye ideer til 'gjøringer' og forsøk/demonstrasjoner». «Det var veldig god stemning, blanding av stoff, gode folk både på scena

og i salen, gode diskusjoner om både fag, undervisning og løst og fast.»

Gode tips og innspill for neste konferanse noterer vi oss, for vi tar sikte på å tilby fysikklærere, både i videregående skole og på ingeniør- og lærerutdanningen en ny konferanse i 2026 og da håper vi enda flere melder seg på! I mellomtiden oppfordres fysikklærere til å formidle og dele erfaringer i FFV!

*Line Klavenes Berg*

Husk å melde adresseendring til  
[nfs.styret@gmail.com](mailto:nfs.styret@gmail.com)



**Planeter.** Illustrasjon av det første planetsystemet bestående av flere planeter som ble oppdaget.

Illustrasjon: NASA/JPL-Caltech

# Kavliprisen i astrofysikk 2024

**Davis Charbonneau og Sara Seager har fått Kavliprisen i astrofysikk i 2024 for oppdagelsen av planeter utenfor solsystemet og utvikling av nye metoder for å studere deres atmosfærer.**

**Øyvind G. Grøn** OsloMet – Storbyuniversitetet

I 1995 ble oppdagelsen av de første objektene som uten tvil var planeter i bane rundt en sol-lignende stjerne, annonsert av Michel Mayor og Didier Queloz. Slike planeter kalles eksoplaneter. Frem til 24. juli 2024 er det 5756 eksoplaneter på listen i NASA sitt eksoplanetarkiv, de fleste funnet ved hjelp av romteleskopet Kepler. Dette åpnet et nytt forskningsfelt: Vitenskapen om eksoplaneter. David Charbonneau og Sara Seager har begge vært viktige drivkrefter i utviklingen av dette forskningsfeltet.

## Prisvinnerne

David Charbonneau er Fred Kavli-professor i astronomi ved Harvard University i USA. Han er forfatter og medforfatter av ca. 320 vitenskape-

lige artikler. Fra omkring år 2000 har han vært en ledende forsker av eksoplaneter. Han skriver på sin hjemmeside: «Målet med min forskning har vært å registrere og karakterisere eksoplaneter. Jeg er spesielt fascinert av planeter der jorda ligger i planetens baneplan, slik at planeten passerer foran moderstjernen en gang per omløp sett fra jorda. Slike planeter tilbyr unike muligheter til å studere egenskapene til planeter og deres atmosfærer. Jeg fokuserer særlig på jordlignende eksoplaneter – planeter som består av fjell og jern, og som har tynne atmosfærer slik som jorda.»

Sara Seager er professor ved Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.) sitt Kavli-institutt i USA. I sitt doktorarbeid fra 1999 utviklet hun





**Prisutdeling.** David Charbonneau og Sara Seager da de mottok Kavliprisen i astrofysikk for 2024. Prisen ble delt ut av H.M. Kongen i Oslo konserthus.

Foto: Thomas B. Eckhoff / The Kavli Prize

modeller for atmosfærene til ekstrasolare planeter. Hennes forskningsarbeid har over en periode på over 25 år, vært rettet mot oppdagelse og analyser av eksoplaneter. Hun har vært forfatter og medforfatter av over 300 vitenskapelige artikler om dette temaet. Blant annet har hun forutsagt eksistensen av karbonstjerner. Hennes forskning ledet til den første oppdagelsen av atmosfæren til en eksoplanet.

I et foredrag i 2015 sa Seager: «Er vi alene? Er det liv der ute? Slike spørsmål ble formulert for tusener av år siden i de greske filosofenes dager. Jeg er her for å fortelle dere hvor nær vi er kommet et svar på slike spørsmål.»

### Forskningen på eksoplaneter

Komiteén for Kavliprisen i astrofysikk 2024 skriver blant annet: «Vitenskapen om eksoplaneter har beveget seg fra de første registreringer av kjempeplaneter i bane rundt sol-liknende stjerner, til å vise oss et mangfold av eksoplaneter og deres egenskaper, og hvordan vi kan karakterisere deres atmosfærer fysisk.»

Det siste tiåret har vist oss en forbløffende utvikling av dette forskningsfeltet. En ny type planeter – super-jordkloder – er blitt oppdaget, og det ble innsett at planeter med mindre masser enn kjempeplanetene er vanlige. Melkeveien inneholder faktisk over hundre milliarder planeter, der de som

bare har masser opp til litt større enn jordas masse er de mest vanlige.

Bestemmelser av planetenes masse og radius har gjort det mulig å beregne den gjennomsnittlige tettheten av planetene, og dermed skjelne mellom gasskjemper og steinplaneter. I tillegg har astronomene nå greid å lokalisere steinplaneter i den beboelige sonen til deres moderstjerner, der det kan eksistere vann på planetenes overflater.

I vår tid er spektroskopiske analyser av stråling fra moderstjernen som har passert gjennom atmosfæren til en planet når den passerer foran stjernen, et forskningsfelt i hurtig utvikling. Seager og Charbonneau har vært pionerer i å utvikle metoder for å undersøke hva slike atmosfærer består av, samt å registrere infrarød stråling fra planetene. Dette har gjort det mulig å oppnå informasjon om hva slags stoffer atmosfærene består av. De molekylære fingeravtrykkene fra atmosfærene til gasskjemper og steinplaneter er i ferd med å bli synlige for oss, slik at man kan lese den informasjonen de inneholder.

Det neste store skrittet består i å registrere molekylære tegn til liv – en oppgave som innebærer store tekniske utfordringer. Seager og Charbonneau har ledet an også i denne sammenhengen og kommet med forslag til ny instrumentering. Dette vil danne grunnlag for både nåværende og fremtidig utforskning av eksoplaneter og deres atmosfærer. ■

# Hvorfor fikk ikke Lise Meitner Nobelprisen i fysikk?

**Her gis en kort oversikt over hvordan fisjon av atomkjerner ble oppdaget, og et svar på spørsmålet: Hvorfor fikk ikke Lise Meitner Nobelprisen i fysikk?**

Øyvind G. Grøn OsloMet – Storbyuniversitetet



**Lise Meitner.** (7. november 1878 – 27. oktober 1968).

Lise Meitner ble født i en jødisk familie i Wien i Østerrike i 1878.

I 1897 endret Universitetet i Wien sin politikk og åpnet for kvinnelige studenter. Lise Meitner ble fysikkstudent her i 1901 da hun var 23 år. Allerede i februar 1906 fullførte hun sitt studium og ble den andre kvinnen i Wien med doktorgrad i fysikk.

Men det var ingen forskerstilling å få for henne i Wien, og hun ble rådet til å reise til Berlin. Hun var i utgangspunktet en eksperimentalfysiker, og hennes postdoktorarbeid dreide seg om å studere radioaktivitet ved hjelp av spredningsforsøk.

## Fysiker i Berlin

Meitner reiste til Berlin i 1907. Der startet hun å samarbeide med den jevnaldrende Otto Hahn ved Universitetet i Berlins kjemiske institutt – et samarbeid som kom til å vare i 30 år.

Det var ikke enkelt å være kvinnelig forsker i Berlin på den tiden. Meitner hadde egentlig ikke adgang til instituttet. Derfor ble det ordnet med et rom i kjelleren med egen inngang der hun kunne bygge opp et lite laboratorium.

Noen år senere fikk Hahn stilling som vitenskapelig assistent og Meitner ble «ubetalt gjest» i det nyopprettede Keiser Wilhelm-instituttet for kjemi. Lise Meitner levde av penger hun mottok fra sine

foreldre og litt som hun tjente på å oversette vitenskapelige artikler fra engelsk til tysk. I 1912 – 34 år gammel – fikk hun sin første betalte stilling da Max Planck ansatte henne som vitenskapelig assistent ved instituttet. Hun fikk imidlertid adskillig lavere lønn enn sine mannlige kolleger.

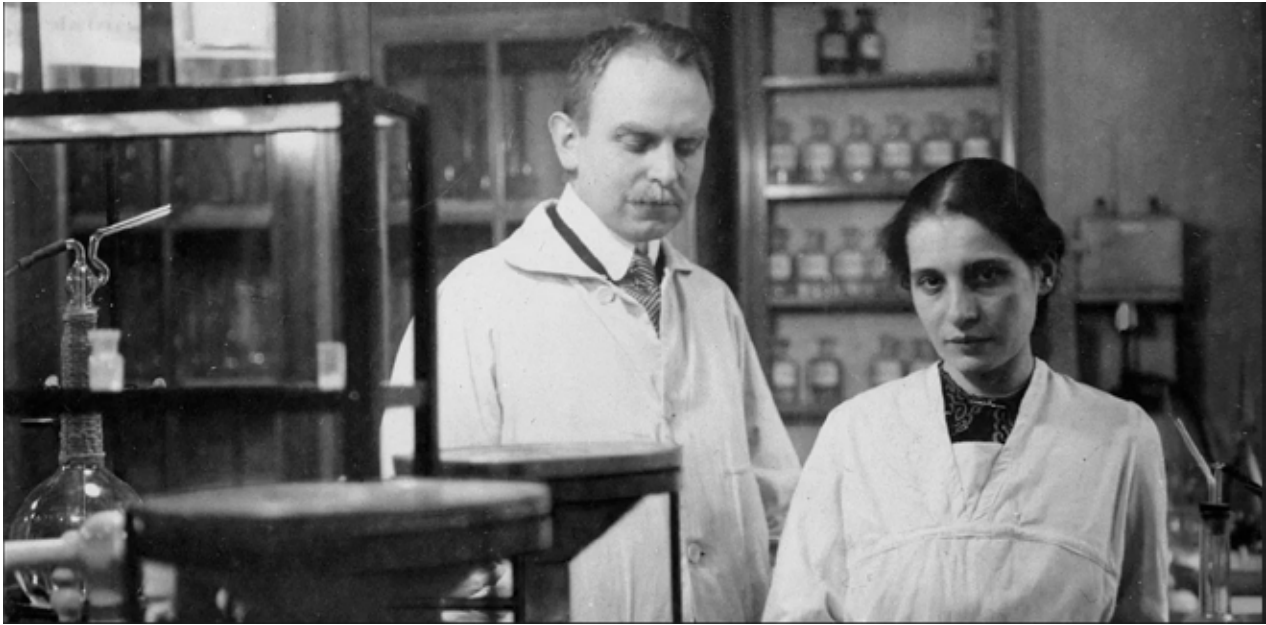
I 1912 begynte arbeidet med å sette opp et offisielt Hahn-Meitner-laboratorium (Figur 1) der de studerte radioaktive fenomener. Her ble Meitner Preussens første kvinnelige veileder for masterstudenter i fysikk.

I 1917 ble Lise Meitner leder av fysikkseksjonen ved instituttet. Først i 1922 ble hun foreleser i fysikk, og i 1926 ble hun den første kvinnelige universitetsprofessoren i Tyskland.

## Samarbeid med Otto Hahn

Før 1920 visste fysikerne lite om atomkjernenes natur. Men radioaktive fenomener ble studert flere steder. Lise Meitner var dyktig til å videreutvikle og ta i bruk nytt eksperimentelt utstyr. Allerede før 1920 hadde hun bygget et spektrometer for å studere radioaktiv betastråling, og et tåkekammer for å studere banene til de elektrisk ladde alfa- og beta-partiklene når de beveget seg i elektriske og magnetiske felter. Fra slike studier kunne hun blant annet bestemme partiklenes ladning og masse.

I 1918 oppdaget Meitner og Hahn den mest



**Figur 1.** Otto Hahn og Lise Meitner i deres fysikklaboratorium i Berlin fotografert i 1912.

Foto: Wikipedia

stabile isotopen av det radioaktive grunnstoffet protaktinium med atomnummer 91.

I 1924 ble Hahn og Meitner for første gang nominert til Nobelprisen for denne oppdagelsen. De neste ti årene ble de nominert seks ganger.

### Studier av atomkjernen

Nøytronet ble oppdaget i 1932. Omsider visste man hva atomkjernene består av: protoner og nøytroner.

I tillegg kunne man nå bruke de elektriske nøytrale nøytronene til å undersøke forskjellige stoffer ved å skyte nøytroner mot dem og se hva som skjedde. Det ble utviklet nytt detektorutstyr for slike studier.

I andre halvdel av 1930-årene begynte Lise Meitner og Otto Hahn å studere hva som skjedde når de sendte nøytroner mot uran. Omkring 1938 begynte det å bli synlig at noe overraskende skjedde ved slike kollisjoner.

### Meitner forlater Berlin

Nazistenes terror mot jødene gjorde det stadig vanskeligere å være jøde i Berlin. I 1933, året da Hitler fikk makten i Tyskland, ble Lise Meitner fratatt sin stilling ved universitetet. Meitner nølte imidlertid med å emigrere, for laboratoriet i Berlin var hennes livsverk. I motsetning til de mannlige jødiske fysikere, hadde hun ingen invitasjoner til å forske andre steder, og hun følte på denne tiden at det ville være verre å leve uten å kunne forske, enn å være død. Så hun ble i Berlin.

I 1938 invaderte Tyskland Østerrike. Dermed mistet Meitner sitt pass og ble statsløs. Hennes situasjon i Berlin ble nå så problematisk at det ikke var noen vei utenom: Hun måtte forlate sitt livsverk.

Men uten pass var det vanskelig. Niels Bohr hjalp til å organisere en flukt ut av Tyskland. Hun var en kort tid ved Niels Bohr-instituttet i København før hun reiste videre til Stockholm.

Lise Meitner var dypt ulykkelig over forholdene hun kom til: Et miljø uten noen mulighet til at hun kunne videreføre sitt forskningsarbeid med spredningsforsøk og uten personer som hun kunne samarbeide med. Hun følte at hele hennes fortid som fysiker var blitt borte – at den ikke lengre betydde noe. Det var en deprimerende tid. Hun skrev til venner: «Her er det som om mitt tidligere liv som fysiker ikke betyr noe».

### Oppdagelsen av fisjon

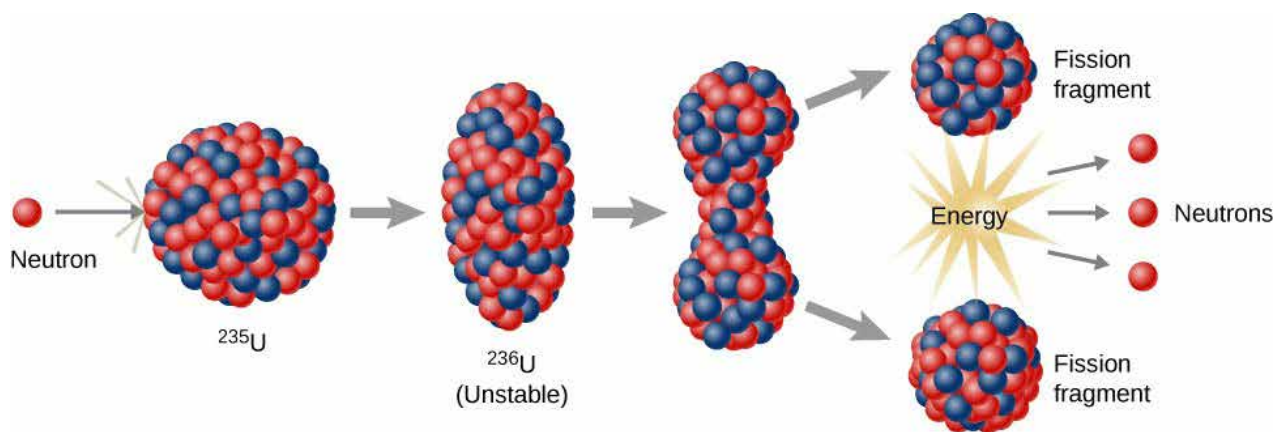
Meitner og Hahn opprettholdt imidlertid kontakten med ukentlig korrespondanse. I november 1938 møttes de i København for å diskutere måleresultater som var oppnådd og planlegge nye eksperimenter. Hahns samarbeid med en jøde var ikke akseptert i nazi-Tyskland, så dette måtte holdes hemmelig.

Rett før jul sendte Hahn et brev til Meitner der han fortalte om nye resultater av de siste spredningseksperimentene. Disse eksperimentene bekreftet at det ble produsert barium – et metall mye lettere enn uran – når uran ble bombardert med nøytroner. Helt uforståelig. Hahn skrev til Meitner: «Kanskje du kan foreslå en fantastisk forklaring?»

Og det var nettopp det som skjedde!

Men før de mottok svar fra Lise Meitner, sendte Otto Hahn og hans medarbeider Fritz Strassmann den 22. desember inn et manuskript, uten noe forsøk på å forklare resultatet av disse eksperimenter.

## ► Hvorfor fikk ikke Lise Meitner Nobelprisen i fysikk?



**Figur 2.** Et uranatom, <sup>235</sup>U, blir truffet av et nøytron. Det dannes en ustabil <sup>236</sup>U isotop av uran. Etter kort tid spaltes den i to fisjonsfragmenter. Det ene er barium.

mentene, til et ledende tysk tidsskrift der det ble publisert allerede 6. januar 1939 [1].

Meitner var ikke i tvil om at eksperimentet var korrekt utført, og satte seg som mål å forklare de uventede forsøksresultatene.

Otto Frisch var fysiker og nevø av Lise Meitner. Han arbeidet ved Niels Bohr instituttet i København. Hans far var fengslet i Dachau, og hans mor befant seg i Wien. Så han besluttet å tilbringe julen 1938 sammen med sin tante Lise Meitner i Sverige. De besøkte en venn av Meitner i Kungälv, nær Gøteborg.

Det er lille julaften og nysnø. Frisch får låne et par ski og nevø og tante tar seg en tur i snøen, Frisch på ski og Meitner til fots.

De snakker om resultatene til Hahn og Strassmann som hadde ventet å observere grunnstoffer tyngre enn uran når de beskjøt uran med nøytroner, men observerte barium i stedet. I lys av Bohrs dråpemodel for atomkjernen som han hadde presentert tre år tidligere, innså Meitner og Frisch etter hvert hva som hadde skjedd. Det var noe som ble oppfattet som utenkelig: Atomkjernen hadde delt seg i to (Figur 2). Dette var den «fantastiske» forklaringen på eksperimentene i Berlin.

Meitner forsto med en gang at en slik prosess ville frigjøre energi. Hun hadde godt kjennskap til Einsteins formel:  $E = mc^2$ , som sier at energi er lik masse ganger kvadratet av lyshastigheten. Og hun hadde papir og blyant i lommen. De satte seg på en benk, og Meitner regnet raskt ut at de to kjernene som urankjernen delte seg i, hadde mindre samlet masse enn urankjernen. Massetapet innebar frigjørelse av atomenergi.

Basert på denne forståelsen av hva som hadde skjedd, skrev Meitner og Frisch en to-siders viten-

skapelig artikkel om dette som de 16. januar 1939 sendte til *Nature*. Den ble publisert 11. februar 1939 [2]. Her foreslo de betegnelsen «fisjon» på prosessen at en atomkjerne ble spaltet i to.

Da Otto Frisch kom tilbake til København kontaktet han Niels Bohr umiddelbart og informerte ham om oppdagelsen av fisjon. Bohr sto på farten til Amerika der han skulle delta på den femte Washingtonkonferansen i teoretisk fysikk. Han fikk en kopi av Meitner og Frisch sitt manuskript, og 26. januar 1939 informerte han deltagerne på konferansen om eksperimentene til Hahn og Strassmann og hvordan Meitner og Frisch forklarte dem: Eksperimentene viste at uranatomer hadde delt seg – de hadde fisjonert.

Bohr var klar over faren for at noen ville vri det til at nyheten ble stjålet fra Meitner, så han gjorde det krystallklart i sin presentasjon at forklaringen på Hahn og Strassmanns eksperimentelle resultater kom fra en vitenskapelig artikkel skrevet av Lise Meitner og Otto Frisch som var sendt til publikasjon i *Nature*. Han presiserte at Lise Meitner sammen med Otto Frisch hadde oppdaget fenomenet kjernefisjon basert på kjemiske studier utført av Otto Hahn og Fritz Strassmann i Berlin. Allerede 20. januar sendte Niels Bohr en artikkel til *Nature* som ble publisert 25. februar [3], der han kommenterte og understreket den store betydningen både av Hahn og Strassmanns eksperimentelle resultater og forklaringen av dem presentert av Meitner og Frisch.

### Meitners bidrag til fisjonsforskningen skjules

I Berlin var forholdene vanskelige. Kolleger av Hahn presset på med antydninger om at Meitner prøvde å ta æren for arbeidet han hadde utført sammen med



**Figur 3.** Utstyret som ble brukt ved oppdagelsen av fisjon presentert ved en utstilling i Wien i 2013 til minne om oppdagelsen i 1938.

henne. Hahn ble også utsatt for kritikk av at han hadde hatt en jødisk samarbeidspartner.

Alt dette gjorde at han ble bekymret for sin posisjon i Keiser Wilhelm-instituttet. Hahn begynte i økende grad å gjøre grep for å ta vare på sin posisjon som ledende kjemiker i Tyskland, blant annet ved å la være å referere til Meitners bidrag i deres langvarige samarbeide.

Nazi-regimet sørget nå for å slette Meitners navn i publikasjoner som Meitner og Hahn hadde publisert sammen, slik at det skulle se ut som om han hadde utført denne forskningen alene.

### **Nobelprisen for oppdagelsen av fisjon**

Det ble aldri gitt noen nobelpris i fysikk for oppdagelsen av fisjon. Meitners og Frisch sin oppdagelse av fisjon førte til at Otto Hahn fikk Nobelprisen i kjemi i 1944 – og han fikk den alene. Prisen ble annonsert 15. november 1945 – etter Tysklands kapitulasjon.

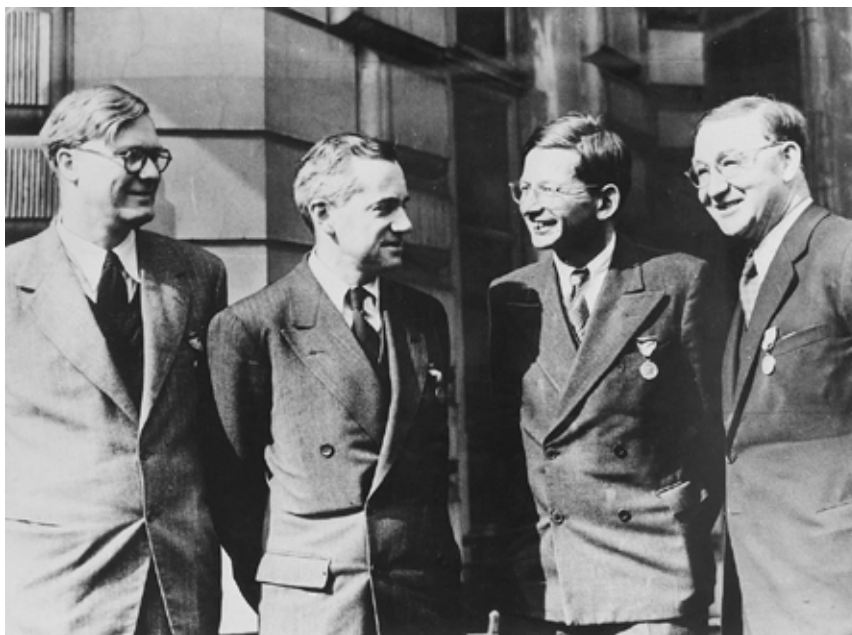
I *Nature* ble det 1. desember 1945 publisert en artikkel med overskriften: «Nobelprisen for kjemi for 1944: Prof. Otto Hahn». Her skrives: «Hans 30 år lange forening med Lise Meitner representerer et klassisk eksempel på et vellykket samarbeid mellom en kjemiker og en fysiker til gjensidig fordel for begge forskningsområdene.»

I sin presentasjonstale 10. desember 1945 [4] sa professor A. Westgren, lederen av nobelkomiteén

for kjemi, blant annet:

«Mot slutten av 1938 utførte Hahn, sammen med en av sine unge kolleger, F. Strassmann, en undersøkelse der de fant at et av produktene dannet i reaksjoner av uran med nøytroner, som var blitt antatt å være en type radium, oppførte seg kjemisk som barium. I januar 1939 annonserte Hahn denne oppdagelsen og uttrykte på en svært diskret måte den dristige formodningen at ved å kombineres med nøytroner kunne atomene til de tyngste grunnstoffene deles i to og produsere grunnstoffer som befinner seg på midten av grunnstoffenes periodiske tabell. Etter en måned var han i stand til å bevise denne teorien, som nesten samtidig ble bekreftet i forskning utført i ulike deler av verden av forskere som brukte forskjellige metoder [5].

Hahns oppdagelse var svært overraskende og fikk stor oppmerksomhet blant forskere over hele verden. Den ble umiddelbart gjort til objekt for viktige teoretiske undersøkelser av Lise Meitner og Frisch som baserte sitt studium på teorien for atomkjernens struktur utviklet av Niels Bohr. Disse forskerne påpekte at kjernefisjon ville opptre med en enorm frigivelse av energi, på grunn av omdanning av materie til energi. Beregningene viste at fragmenter produsert i en slik prosess ville spre seg i alle retninger med en voldsom kraft. Frisch demonstrerte dette eksperimentelt.»



**Figur 4.** William Penney, Otto Frisch, Rudolf Peierls og John Cockcroft fotografert i 1946 med den amerikanske frihetsmedaljen som de fikk for sin innsats i Manhattanprosjektet – det amerikanske atombombeprosjektet.

Virkeligheten var annerledes. Det var først etter at Hahn hadde mottatt brev fra Lise Meitner med forklaringen på sine eksperimenter – at de skyldtes at atomkjerner av uran hadde delt seg – at han skrev om dette. I artikkelen [1] av Hahn og Strassmann publisert 6. januar 1939 ble fisjon av atomkjerner ikke nevnt.

Otto Frisch skrev senere en artikkel om dette [6]. Der fortalte han at hans eksperiment som bekreftet eksistensen av fisjon, ble utført i København den 13. januar 1939. Mens han jobbet med å forberede eksperimentet fikk han et utkast fra Lise Meitner til deres fisjons-artikkel. Han la dette til side noen dager for å fullføre eksperimentet og skrive en rapport om det. Så finpusset han artikkelen med Meitner. Begge manuskriptene ble sendt til *Nature* 16. januar og raskt publisert, fellesartikkelen den 11. februar og den eksperimentelle artikkelen den 18. februar.

#### **Hvorfor fikk ikke Lise Meitner noen Nobelpris?**

Det ble spekulert på dette blant flere fysikere og skribenter. Noen mente antisemittisme lå bak, og andre spekulerte på om tyskerne hadde påvirket ledende svensker i Nobelinstituttet til å anbefale at prisen skulle gis til Otto Hahn alene.

Dokumentene til nobelkomitéen for utdelingen i 1944 ble frigitt i 1994 – 50 år etter utdelingen. De er blitt studert av flere personer, og særlig grundig av Ruth Levine Sime som har skrevet en biografi [7] om Lise Meitner. Basert på de frigitte nobelinstitutt-dokumentene er hendelsene omkring Nobelprisen i Kjemi for 1944 omtalt i en artikkel [8] publisert 1997 i *Physics Today*.

Her skriver forfatterne: «I november 1945, tre måneder etter avslutningen av andre verdenskrig, besluttet et knapt flertall av medlemmene i det Kongelige svenske vitenskapsakademi å gi Nobelprisen i kjemi for 1944 til Otto Hahn for oppdagelsen av kjernefisjon. Denne tildelingen var, og er fremdeles, kontroversiell fordi Hahns Berlin-kolleger Fritz Strassmann og Lise Meitner ikke var inkludert. Strassmann ble sannsynligvis ignorert fordi han ikke var en seniorforsker. Meitners eksklusjon peker imidlertid mot andre svakheter i beslutningsprosessen, og spesielt til fire faktorer:

- Vanskeligheten med å evaluere en tverrfaglig oppdagelse.
- Mangel på ekspertise i teoretisk fysikk.
- Sveriges vitenskapelige og politiske isolasjon under andre verdenskrig.
- At evalueringskomitéen ikke forsto i hvilken grad tyskernes behandling av jødene skapte et skjevt bilde av historikken når det gjaldt publiserte artikler.

Det svenske vitenskapsakademiet hadde da en nobelkomite for kjemi med fem medlemmer og én for fysikk med fire. I årene 1940 – 43 mottok akademiet flere nominasjoner fra kjente fysikere som foreslo at Meitner og Frisch skulle få nobelprisen i fysikk for oppdagelsen av kjernefisjon. Men fysikk-komitéen mente at kjernefisjon dreide seg om kjemi og overlot til kjemikomiteen å vurdere nominasjonene. I disse årene mottok akademiet ingen nominasjoner av Nobelpris i kjemi for

kjernefisjon, men kjemikomiteéns sekretær, Arne Westgren holdt Hahns kandidatur i live ved hvert år å nominere Hahn for nobelprisen i kjemi.

I denne perioden ble det skrevet to spesialrapporter om kjernekjemi: Én i 1941 forfattet av lederen av kjemikomiteén, Theodor Svedberg, og én i 1942 av Westberg. Begge argumenterte på samme måte: Hahns arbeid var viktig mens Meitners og Frisch sitt eksperimentelle arbeid ikke var ekstraordinært, og hvis det var et avgjørende teoretisk bidrag, måtte Bohr gis kreditt for det. På denne måten minimaliserte de Meitner og Frisch sine bidrag til oppdagelsen av fisjon. Samtidig så de bort fra det faktum at det høsten 1938 ikke var tillatt for Hahn og Strassmann å inkludere jødiske Meitner som medforfatter i artikkelen som ble publisert 6. januar 1939.

I det internasjonale fysikkmiljøet ble forestillingen om at atomkjerne kunne dele seg – fisjonere – som ble formidlet i Meitner og Frisch sin *Nature*-artikkel, betraktet som helt avgjørende for en korrekt forståelse av de eksperimentelle arbeidene med nøytron-bombardering av uran. Denne forståelsen eksisterte ikke før den ble utarbeidet av Meitner og hennes nevø. Frisch fortalte senere at Bohr som var en ledende teoretisk fysiker i kjernefysikk, og svært godt orientert på dette fagområdet, tok hånden til pannen og utbrøt: «For noen idioter vi har vært som ikke har forstått dette før!» da han fortalte Bohr om hva Meitner og han hadde innsett da de gikk tur sammen i snøen i Kungälv.

I 1945 nominerte Oskar Klein Lise Meitner for Nobelprisen i fysikk. Men de fire faktorene nevnt ovenfor var fortsatt avgjørende da arbeidene til Meitner og Frisch ble vurdert for Nobelprisen i fysikk for 1945. I tillegg var tre av de fire medlemmene av fysikk-komiteén med i Manne Siegbahns toneangivende eksperimentelle gruppe, der eksperimentelle arbeider ble høyere verdsatt enn teoretiske. Dessverre oppsto også et anstrengt forhold mellom Siegbahn og Meitner, så Meitner vurderte allerede i 1946 å forlate gruppen.

Manne Siebbahns tidligere student Erik Hulthén ble valgt til å skrive en spesialrapport med en vurdering av Lise Meitners arbeider. Han konkluderte negativt.

I 1946 ble Lise Meitner og Otto Frisch nominert for Nobelprisen i fysikk av både Oskar Klein i Sverige, Niels Bohr i Danmark og Egil Hylleraas i Norge. Nok en gang ble Erik Hulthén valgt til å skrive en spesialrapport med en vurdering av Lise Meitners og Otto Frisch sine arbeider. Igjen konkluderte han negativt i en rapport som ble vurdert som meget mangelfull og villedende av Crawford, Sime

og Walker [8]. Dette bidro til at det i 1946 ikke ble gitt noen Nobelpris i fysikk verken til Meitner eller til Meitner og Frisch.

Otto Hahn selv hadde blandete følelser i denne saken. Han refererte ikke til Meitner-Frisch-artikkelen i sitt nobelprisforedrag. Men han ga en stor andel av prispengene til Lise Meitner. Da han hadde fått Nobelprisen kunne Otto Hahn nominere personer til Nobelprisen. Han unnlot å nominere Lise Meitner i 1945, 1946 og 1947. Men så skjedde det noe: Og i 1948 nominerte Otto Hahn Lise Meitner til Nobelprisen i fysikk for oppdagelsen av fisjon. Det ble dessverre ikke fulgt opp på en positiv måte av nobelkomiteén for fysikk.

Lise Meitner ble nominert for Nobelprisen i kjemi 19 ganger mellom 1924 og 1948 og i fysikk 30 ganger mellom 1937 og 1967 – 49 nomineringer i alt. Men hun fikk aldri Nobelprisen. Derimot mottok hun en rekke andre hedersbevisninger. At Lise Meitner ikke fikk Nobelprisen mens Otto Hahn fikk den alene, er nok den mest alvorlige forbigåelsen i Nobelprisens historie.

Men, som Crawford, Sime og Walker [8] skrev: «Ikke noe av dette gjorde Meitner bitter. Hun klaget svært lite og tilga en hel del.» .

## Referanser

- [1] O. Hahn og F. Strassman. «Concerning the Existence of Alkaline Earth Metals Resulting from Neutron Irradiation of Uranium». *Naturwissenschaften* vol. 27, s. 11 (januar 1939). Oppsummering, oversatt av H. Graetzer in *The Discovery of Nuclear Fission* (N.Y.: Van Nostrand Reinhold, 1971), s. 44–47. <https://history.aip.org/exhibits/mod/fission/fission2/09.html>
- [2] Lise Meitner og Otto Frisch. «Disintegration of Uranium by Neutrons: a New Type of Nuclear Reaction». *Nature*, februar 11 (1939), bind 143, s. 239.
- [3] Niels Bohr. «Disintegration of Heavy Nuclei». *Nature*, februar 25 (1939), bind 143, s. 330.
- [4] A. Westgren. Nobelpristale kjemi (1944), [www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1944/ceremony-speech/](http://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1944/ceremony-speech/)
- [5] Esther B. Sparberg. «A Study of the Discovery of Fission». *American Journal of Physics*, januar (1964), volume 32, s. 2.
- [6] Otto Frisch og James Wheeler. «The Discovery of Fission». *Physics Today*, november (1967), s. 43.
- [7] R. Sime. *Lise Meitner: A Life in Physics*. University of California Press, Berkely (1996).
- [8] Elisabeth Crawford, Ruth Lewine Sime og Mark Walker. «A Nobel tale of postwar injustice». *Physics Today*, september (1997), s.26–32.

# Instabiliteten av Rutherford's atommodell

**Utviklingen av atommodeller i en 20-års periode fra 1890-årene og frem til Rutherford's og Bohrs atommodeller presenteres. Mekanisk instabilitet og strålingsinstabilitet av Rutherford's modell omtales. Det vises at levetiden til Rutherford's modell på grunn av strålingsinstabilitet, er under en milliarddels sekund. Bohr løste dette problemet ved å kvantisere atomet**

Øyvind G. Grøn OsloMet – Storbyuniversitetet

Den britiske fysikeren J.J. Thomson oppdaget elektronet i 1897. Det ble imidlertid konstruert flere atommodeller før elektronet var oppdaget [1]. Frem til rundt 1890 var den mest toneangivende modellen en virvelmodell presentert av en annen britisk fysiker, William Thomson (Lord Kelvin), i 1867.

## Nye forsøk på atommodeller

I 1902 presenterte William Thomson (Lord Kelvin) atommodellen som ble kalt 'plum pudding-modellen' av atomet [2]. Han var inspirert av J.J. Thomsons oppdagelse av elektronet i 1897. I William Thomsons modell var den positive ladningen uniformt

fordelt som en kuleformet sky, og den negative ladningen (elektroner) fordelt rundt i den positive ladningsfordelingen som rosiner i en pudding.

J.J. Thomson konstruerte flere atommodeller med litt forskjellige egenskaper i en tiårsperiode fra 1897 til 1907 [1]. I mars 1904 presenterte han en artikkel [3] med tittelen (oversatt til norsk): «Om atomets struktur: En undersøkelse av stabiliteten og periodene til svingninger av et visst antall partikler arrangert med like avstander langs en sirkel; med anvendelse av resultatene på teorien for atomær struktur.» Selv om J.J. Thomsons atommodell var ganske forskjellig fra William Thomsons plumme-



**Figur 1.** Til venstre William Thomson – Lord Kelvin (1824-1907) og til høyre J. J. Thomson (1856-1940).



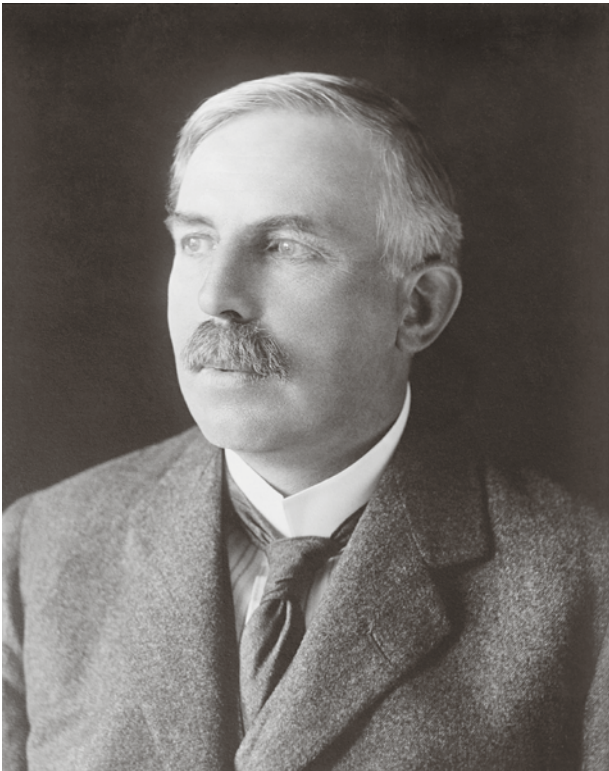


**Figur 2.** Japansk frimerke som viser Hantaro Nagaoka og hans atommodell.

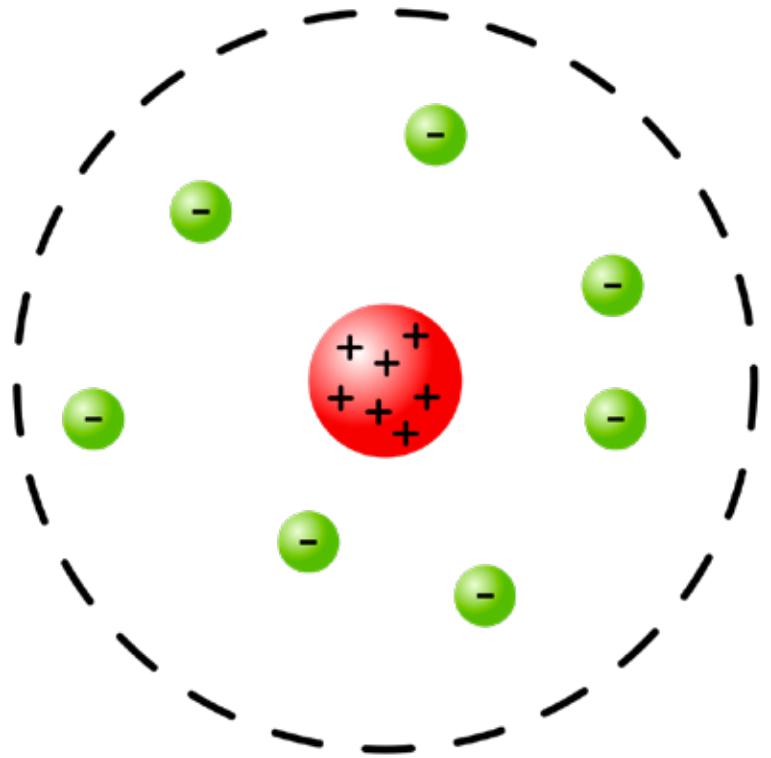
pudding-modell, var J.J. Thomson inspirert av William Thomsons modell.

J.J. Thomson innledet artikkelen med å skrive at hver av partiklene har en negativ elementærladning. Vi ville sagt at de er elektroner. Han skriver videre at ringen av slike partikler befinner seg inni en jevn fordeling av positiv ladning som gjør atomet nøytralt. Han studerte stabiliteten av et slikt system og skrev at den elektriske tiltrekningen mellom den positive ladningen innenfor elektronringen og den elektriske frastøtningen av ladningene på ringen må holde hverandre i stabil likevekt for at atomet skal kunne eksistere.

Modellen fungerer ikke for hydrogenatomet med bare ett elektron, siden likevekten avhenger av den elektriske frastøtningen mellom flere elektroner.



**Figur 3.** Ernest Rutherford fotografert tidlig i 1929-årene.



**Figur 4.** Rutherford's opprinnelig atommodell med positivt ladd kjerne og elektroner i ro rundt den.

J.J. Thomson betraktet så et system av flere ringer, der ringene med minst radius har færrest elektroner. Han fikk til stabil likevekt med en passende svingebevegelse av elektronene i radiell retning. På den måten oppstår en kopling mellom elektronenes svingebevegelse og perioden av lys sendt ut fra atomet. Men noen overbevisende forklaring av atomære spektra gir denne modellen ikke.

Etter å ha betraktet et system av elektroner i ro, gikk han over til å undersøke et system av elektroner som beveger seg rundt kjernen i sirkel. Da oppstår muligheten av mekanisk likevekt selv for et atom med bare ett elektron. Igjen utledet han en betingelse for stabil likevekt dersom tap av energi på grunn av elektromagnetisk utstråling neglisjeres.

Han regnet ikke på levetiden av atomet på grunn av utstråling, men skrev bare at elektronenes hastighet endres *svært langsomt* på grunn av elektromagnetisk utstråling. At endringen av elektronenes bevegelse er svært langsom, er nødvendig for at atomene skal kunne ha lang levetid. Vi skal nedenfor beregne levetiden til et hydrogenatom som sender ut elektromagnetisk stråling fordi elektronet som går i sirkelbane, er akselerert. Levetiden viser seg å være svært kort.

### Nagaokas elektronmodell

Også den japanske fysikeren Hantaro Nagaoka [4] presenterte en atommodell i 1904. Den er blitt kalt en «saturnring-modell» av atomet. Disse tidlige atommodellene er omtalt i en artikkel publisert av



Figur 5. Skjoldet til den amerikanske atomenergikommisjonen.

Charles Baily [5] i 1913. Nagaoka prøvde å forklare både spektra og radioaktive prosesser ved hjelp av modellen. Han betraktet svingebevegelsene av de negative ladningene i «saturnringene» og gjorde beregninger av mekanisk stabilitet, men tok ikke strålingsinstabilitet i betraktning.

Både Thomson og Nagaoka prøvde å forklare atomære spektra ut fra tilsvarende svingebevegelser av elektronene.

### Rutherfords atommodell

I april 1911 presenterte den britiske fysikeren Ernest Rutherford [6] en ny atommodell med en positivt ladd kjerne i sentrum og en sky av elektroner rundt den. Nesten hele atomets masse er konsentrert i kjernen.

Rutherford skrev om J.J. Thomsons atommodell [6]: «Atomets antas å bestå av  $N$  negativt ladde partikler sammen med en lik mengde positive ladning uniformt fordelt i en kule». Han nevner så at i et spredningsforsøk der for eksempel  $\alpha$ -partikler (atomkjerner av helium) skytes mot en gullfolie vil ingen av  $\alpha$ -partiklene få noen stor avbøyning ifølge Thomsons atommodell.

Men spredningsforsøk utført i hans laboratorium viste at noen av  $\alpha$ -partiklene avbøyes nesten 180 grader – de spretter tilbake. Fra dette sluttet Rutherford at ladnings- og massefordelingen i atomene må være helt annerledes enn i Thomsons atommodell. Han skrev at atomet inneholder en positiv ladning  $Ne$  i sentrum omgitt av en kuleformet fordeling av like stor negativ ladning som antas å være uniformt fordelt. For enkelthets skyld antok Rutherford opprinnelig at den positive ladningen i sentrum var

punktformet. Dermed behøvde han ikke i første omgang ta opp det vanskelige spørsmålet om hva som holdt den positive ladningen sammen.

Rutherford skrev videre at det er interessant å merke seg at Nagaoka [4] har analysert matematiske egenskapene til et saturnliknende atom som han antok at består av en sentral positivt ladd masse omgitt av en ring av elektroner som beveget seg i sirkelbane rundt den positive ladningen. Han mente å vise at et slikt system er stabilt hvis den tiltrekkende kraften er tilstrekkelig stor, men strålingsinstabilitet ble heller ikke her tatt i betraktning.

Ifølge Rutherfords opprinnelige artikkel var elektronene i ro, men det ble raskt fastslått at et slikt atom er mekanisk ustabil på grunn av den elektriske tiltrekningen mellom den positivt ladde kjernen og elektronene. Følgelig måtte elektronene bevege seg rundt kjernen. Etterhvert ble denne modellen med elektroner som beveger seg i bane rundt kjernen, omtalt som Rutherfords atommodell. Den ble til og med valgt som motiv i skjoldet til den amerikanske atomenergikommisjonen (Figur 5).

Vi vil her fokusere på det enkleste av alle atomene – hydrogenatomet. Da består kjernen av bare ett proton, og 'elektronskyen' reduseres til ett elektron. Også dette atomet er ustabil på grunn av elektromagnetisk utstråling.

### Bohr og mekanisk instabilitet av Rutherfords atommodell

I sammenheng med omtale av de første atommodellene, deres instabilitet og Bohrs rolle i utviklingen som førte til at han greide å konstruere en ny atommodell i 1913 som på elegant vis kunne forklare Balmers formel for hydrogenspekteret, er det oppstått en del myter som ikke stemmer med de historiske fakta. Dette er grundig diskutert av fysikerne Reidun Renstrøm og Nils-Erik Bomark [7].

I sin doktoravhandling fullført i 1911 hadde Niels Bohr oppdaget problemer som tydet på begrenset gyldighet av klassisk mekanikk for anvendelse på atomfysikk. Rutherfords atom led av samme type problem som han hadde funnet i sitt doktorarbeid. Bohr antok da at naturen sørger for at atomene er stabile ved hjelp av restriksjoner, som foreløpig var ukjente for ham, men som han forsto at hadde sammenheng med Plancks konstant, og som bestemte atomenes dimensjoner.



**Figur 6.** Niels Bohr (1885–1962).

Niels Bohr reiste i mars 1912 til Manchester i Storbritannia og begynte å samarbeide med Rutherford. De utviklet et nært vennskap som varte livet ut.

Bohrs opphold i Manchester og hans arbeid der er detaljert beskrevet i en fysikkhistorisk artikkel av John L. Heilbron og Thomas S. Kuhn [8]. De skriver her at det gjentatte ganger er skrevet at strålingsinstabilitet av Rutherfords atommodell satte Bohr på sporet av at en klassisk behandling av atomet ikke kunne føre frem. Men dette er historisk feil. Det dreier seg om problemer med mekanisk instabilitet, noe Bohr oppdaget under arbeidet med sin doktoravhandling. Heilbron og Kuhn skriver videre: «We are not suggesting, of course, that the problem of radiative instability was unimportant either to Bohr or to the development of quantum theory; we stress only that, unlike mechanical instability, it played no special role in Bohr's choice and initial development of Rutherford's atom.»

Heilbron og Kuhn studerte blant annet Bohrs korrespondanse og vitenskapelige papirer inkludert 40 bevarte sider med kladderegninger som Bohr gjorde i juni 1912. De skrev at Bohr trolig mellom 12. og 19. juni 1912 kom på en hypotese for å stabilisere atomet: «An electron was to remain in stable orbit if and only if its kinetic energy,  $E$ , was related to its orbital frequency,  $\nu$ , by the equation  $E/\nu = K$ , with  $K$  a constant closely related to Planck's  $h$ .»



**Figur 7.** Tegning på en side i en kladdebok skrevet av Niels Bohr i 1913 og gjengitt i artikkelen [9]. Den illustrerer instabiliteten av Rutherfords atommodell.

Sommeren 1912 presenterte Bohr et syv siders «memorandum» for Rutherford. Han innledet med å skrive at i Rutherfords atommodell kan det ikke være noen mekanisk likevekt med mindre elektronene beveger seg rundt kjernen, og fortsatte: «Vi skal derfor først betrakte stabiliteten av en ring av  $n$  elektroner som roterer rundt en punktformet positiv ladning  $ne$ .» Men Bohr innså raskt at heller ikke et slikt atom kan være stabilt og skrev: «Det kan enkelt vises at en slik ring ikke kan være stabil i vanlig mekanisk forstand. Spørsmålet om atomenes stabilitet må derfor behandles fra en annen synsvinkel.» Bohr presenterte så hypotesen sitert ovenfor og skrev: «Det vil ikke bli gjort noe forsøk på å gi en mekanisk begrunnelse for denne hypotesen (siden det virker håpløst)». Bohr påpekte videre at dette er som ventet siden det har vært vist at ordinær mekanikk ikke er i stand til å forklare eksperimentelle resultater som angår enkeltatomer. Han føyde til at det imidlertid synes å være legitimt å bruke mekanikken i undersøkelser som ikke angår stabilitet.

### Strålingsinstabilitet

Bohr var også klar over at Rutherfords atom ikke bare led av mekanisk instabilitet når det var flere elektroner til stede, eller når en ladd partikkel passerte nær et atom, men at det også led av en elektromagnetisk instabilitet som var enda mer katastrofal, fordi den gjorde at også et enslig hydrogenatom med bare ett elektron, ville være ustabilt. Det ville kollapse på under et nanosekund. En figur relatert til dette fra en side skrevet i 1913 i en av Bohr kladdebøker er vist i Figur 7.

## ► Instabiliteten av Rutherfords atommodell

La oss betrakte et hydrogenatom med et elektron i bane rundt et proton. Den elektriske tiltrekningskraften holder elektronet i bane rundt protonet på tilsvarende måte som solas gravitasjon holder jorda i bane rundt sola. Newtons 2. lov anvendt på elektronet gir

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = ma = m \frac{v^2}{r}, \quad (1)$$

der  $e$  er elektronets ladning,  $m$  dets masse,  $r$  dets avstand fra atomkjernen og  $v$  dets hastighet. Elektronets mekaniske energi er summen av dets kinetiske og potensielle energi. Den potensielle energien er negativ fordi nullnivået velges i det uendelig fjerne fra den positivt ladde atomkjernen, og elektronet har mindre stillingsenergi desto lengre ned mot atomkjernen det befinner seg. Elektronets mekaniske energi er da

$$E = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}. \quad (2)$$

Ved å bruke likningene (1) og (2) fås

$$E = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}. \quad (3)$$

Ifølge *Larmors formel* er den utstrålte effekten fra et akselerert elektron proporsjonal med kvadratet av akselerasjonen,

$$\frac{dE}{dt} = -\frac{e^2}{6\pi\epsilon_0 c^3} a^2. \quad (4)$$

Minustegnet skyldes at  $dE/dt$  her står for elektronets tap av mekanisk energi. Den utstrålte energien hentes fra elektronets mekaniske energi. Det gjør at elektronet vil bevege seg i spiralbane mot atomkjernen og etter hvert kollidere med den. La oss finne ut hvor lang til det tar.

Ved å derivere energien (3) med hensyn på tiden, og bruke kjerneregelen for derivasjon siden  $r$  nå er en funksjon av tiden, fås

$$\frac{dE}{dt} = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r^2} \frac{dr}{dt}. \quad (5)$$

Fra likningene (4) og (5) følger

$$\frac{dr}{dt} = -\frac{4}{3c^3} r^2 a^2. \quad (6)$$

Ved å sette inn akselerasjonen fra Newtons 2. lov (1) fås

$$r^2 \frac{dr}{dt} = -A, \quad A = \frac{e^4}{12\pi^2 \epsilon_0^2 c^3 m^2}. \quad (7)$$

Innsetting for alle konstantene gir  $A = 3,2 \cdot 10^{-21} \text{ m}^3/\text{s}$ . Integrasjon av likning (7) med begynnelsesbetingelsen  $r(0) = r_B = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}$  (der  $r_B$  kalles Bohr-radien til hydrogenatomet) gir

$$r^3 = r_B^3 - 3At. \quad (8)$$

Tiden,  $t_1$ , det tar for elektronet å bevege seg inn til kjernen er gitt ved  $r(t_1) = 0$  som gir

$$t_1 = \frac{r_B^3}{3A}. \quad (9)$$

Innsetting for  $r_B$  og  $A$  gir  $t_1 = 1,5 \cdot 10^{-11} \text{ s}$ .

### Bohrs atommodell

Sommeren 1912 var Bohr klar over at modeller av atomet basert på klassisk mekanikk og elektromagnetisme førte til alvorlige instabilitetsproblemer, men han visste fortsatt ikke hvordan disse skulle takles. Han var slett ikke sikker på om hydrogenspekteret som inneholdt mange linjer og så ganske komplisert ut, inneholdt nøkkelen til å konstruere en realistisk atommodell. Bohr hadde fokusert på kjemiske egenskaper og ikke spekteret, og hadde glemt Balmers formel for hydrogenspekteret som han kanskje hadde sett på forelesninger i studietiden, uten at den da hadde gjort noe inntrykk på ham.

Første uken i februar 1913 hadde Bohr en samtale med sin venn og fysikerkollega Hans M. Hansen som nettopp hadde kommet tilbake til København fra et opphold i Göttingen. Hansen spurte Bohr hvordan det gikk med utviklingen av atommodellen til Rutherford. I løpet av samtalen minnet Hansen ham om Balmers formel, og denne gangen gikk den inn. Bohr fortalte senere: «Så fort jeg så Balmers formel forsto jeg at hydrogenspekteret fremkom som differanser mellom ulike energinivåer i hydrogenatomet » [10].

Dette var revolusjonerende. Den vanlige oppfatningen var at det måtte være en sammenheng mellom frekvensen knyttet til elektronenes bevegelser og frekvensen av den utsendte strålingen fra et atom. Bohr frigjorde seg fra dette. Han koplet strålingens frekvens fra elektronenes banebevegelse. Da Einstein fikk høre om dette sa han: «Dette er et enormt fremskritt.»

Allerede i mars 1913 presenterte Bohr for Rutherford den første av to revolusjonerende artikler [11, 12] der han presenterte en ny atommodell som kunne forklare hydrogenatomets spektrum. Disse artiklene førte til at Niels Bohr fikk Nobelprisen i fysikk i 1922.

I [11] skrev Bohr: «Hovedforskjellen mellom atommodellene foreslått av Thomson og Rutherford er at kreftene som virker på elektronene i Thomsons atommodell tillater visse konfigurasjoner og bevegelser av elektronene som gjør at systemet er i stabil likevekt. Slike konfigurasjoner eksisterer ikke for Rutherfords atommodell.»

Videre skrev Bohr: «La oss nå ta virkningen av utstrålt energi i betraktning, beregnet på vanlig måte fra akselerasjonen av elektronet. Da vil elektronet ikke lengre ha stasjonære baner. ... Elektronet vil nærme seg kjernen. ... Denne prosessen vil fortsette til baneradien er lik elektronets eller kjernens radius.» Beregningene Bohr refererer til er presentert ovenfor og viser at dette er en svært hurtig prosess.

Rutherford var først skeptisk til Bohrs nye modell av atomet, men etter hvert verdsatte han Bohrs arbeid umåtelig høyt. Han sa at det var «en av den menneskelige tankeevnes største triumfer».

## Takk

*Jeg takker Reidun Renstrøm for gode innspill til denne artikkelen angående historikken knyttet til Rutherfords atommodell og utviklingen som førte til Niels Bohrs presentasjon av sin atommodell i 1913.*

## Referanser

- [1] H. Kragh (2010). Before Bohr: «Theories of atomic structure 1850-1913». RePoSS: Research Publications on Science Studies 10. Aarhus: Centre for Science Studies, University of Aarhus. <https://css.au.dk/fileadmin/reposs/reposs-010.pdf>
- [2] Encyclopaedia Britannica. «Thomson atomic model». [www.britannica.com/science/Thomson-atomic-model](http://www.britannica.com/science/Thomson-atomic-model)
- [3] J.J. Thomson. «On the Structure of the Atom». Philosophical Magazine and Journal of Science (1904), Series 6, vol. 7, No. 39, s. 237–265.
- [4] H. Nagaoka. «Kinetics of a System of Particles illustrating the Line and the Band Spectrum and the Phenomena of Radioactivity». Philosophical Magazine and Journal of Science (1904), Series 6, vol. 7, s. 445–455.
- [5] C. Baily. «Early atomic models – from mechanical to quantum (1904–1913)». The European Physical Journal H. (2013) 38, s. 1–38.
- [6] E. Rutherford. «The Scattering of  $\alpha$ - and  $\beta$ -Particles by Matter and the Structure of the Atom». Philosophical Magazine and Journal of Science (1911), Series 6, Vol. 21, s. 669–688.
- [7] R. Renstrøm og N.-E. Bomark. «Textbook myths about the early atomic models». (2022) <https://arxiv.org/pdf/2212.08572>
- [8] J.L. Heilbron og T.S. Kuhn. «The Genesis of the Bohr atom». Historical Studies in the Physical Sciences, Vol. 1 (1969), s. 211–290. [https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/APS/fc77d112-850f-4db6-997c-e434bd4670b5/UploadedImages/Documents/Meeting\\_Presentations/c1-1-heilbron.pdf](https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/APS/fc77d112-850f-4db6-997c-e434bd4670b5/UploadedImages/Documents/Meeting_Presentations/c1-1-heilbron.pdf)
- [9] W.H.E. Schwarz. «100th Anniversary of Bohrs Model of the Atom». Angewandte Chemie International Edition, november (2013).
- [10] N. Bohr i samtale med bl.a. T. Kuhn, 7. november 1962. <https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4517-3>
- [11] N. Bohr. «On the Constitution of Atoms and Molecules, Part I». Philosophical Magazine and Journal of Science (1913) 26: s. 1–25.
- [12] N. Bohr. «On the Constitution of Atoms and Molecules, Part II». Philosophical Magazine and Journal of Science (1913) 26: s. 476–502.

# Kognisjon i bevegelse: Kroppens rolle i forståelsen av naturen

**Magdalena Kersting** Universitetet i København

Fysikk er vitenskapen om den fysiske verden, og vi opplever, utforsker og forstår naturen gjennom kroppslige og sanselige opplevelser. Ved å benytte teorien om kroppslig situert kognisjon (engelsk: *embodied cognition*) undersøker jeg i denne artikkelen hvordan kroppslige og sansemotoriske erfaringer bidrar til forståelsen av fysikkens begreper. Kroppslig situert kognisjon belyser samspillet mellom sinn, kropp og verden, og det er dette samspillet som påvirker evnen til å tenke som en fysiker. Artikkelen tar utgangspunkt i to ikoniske fysikere, Feynman og Einstein, og belyser hvordan kroppslige strategier ble brukt av begge i deres utvikling av kvantefelt- og relativitetsteorien. Jeg drøfter også hvordan undervisning i fysikk kan berikes gjennom kroppslige strategier og presenterer konkrete grep for å gjøre abstrakte begreper mer håndgripelige.

## Fysikkens mestre: Feynman og Einstein

Forestill deg Richard Feynman mens han holder en forelesning. Med smittende entusiasme og uttrykksfulle håndbevegelser gjør han prinsipper fra kvantefysikk forståelige. Hans gester synes ofte å si mer enn ordene han bruker. Han går til tavlen og snakker om atomers virvlende bevegelser, mens han med raske og sikre strøk tegner sine berømte Feynman-diagrammer. Disse linjene og pilene visualiserer kvanteinteraksjoner på en enkel og intuitiv måte.

Tenk nå på Albert Einstein, sittende dypt i tanker, mens han i sitt indre øye ser seg selv reisende langs en lysstråle. Han undrer over hvordan universet ville fremstå hvis han beveget seg med lysets hastighet. Hva ville han se og oppleve? Ved å kombinere sine kroppslige erfaringer og evnen til å sette seg inn i nye scenarier, klarte Einstein å utforske grunnleggende prinsipper i fysikken. Einsteins tankeeksperimenter ledet til relativitetsteorien og bidro til utviklingen av kvantemekanikken, to

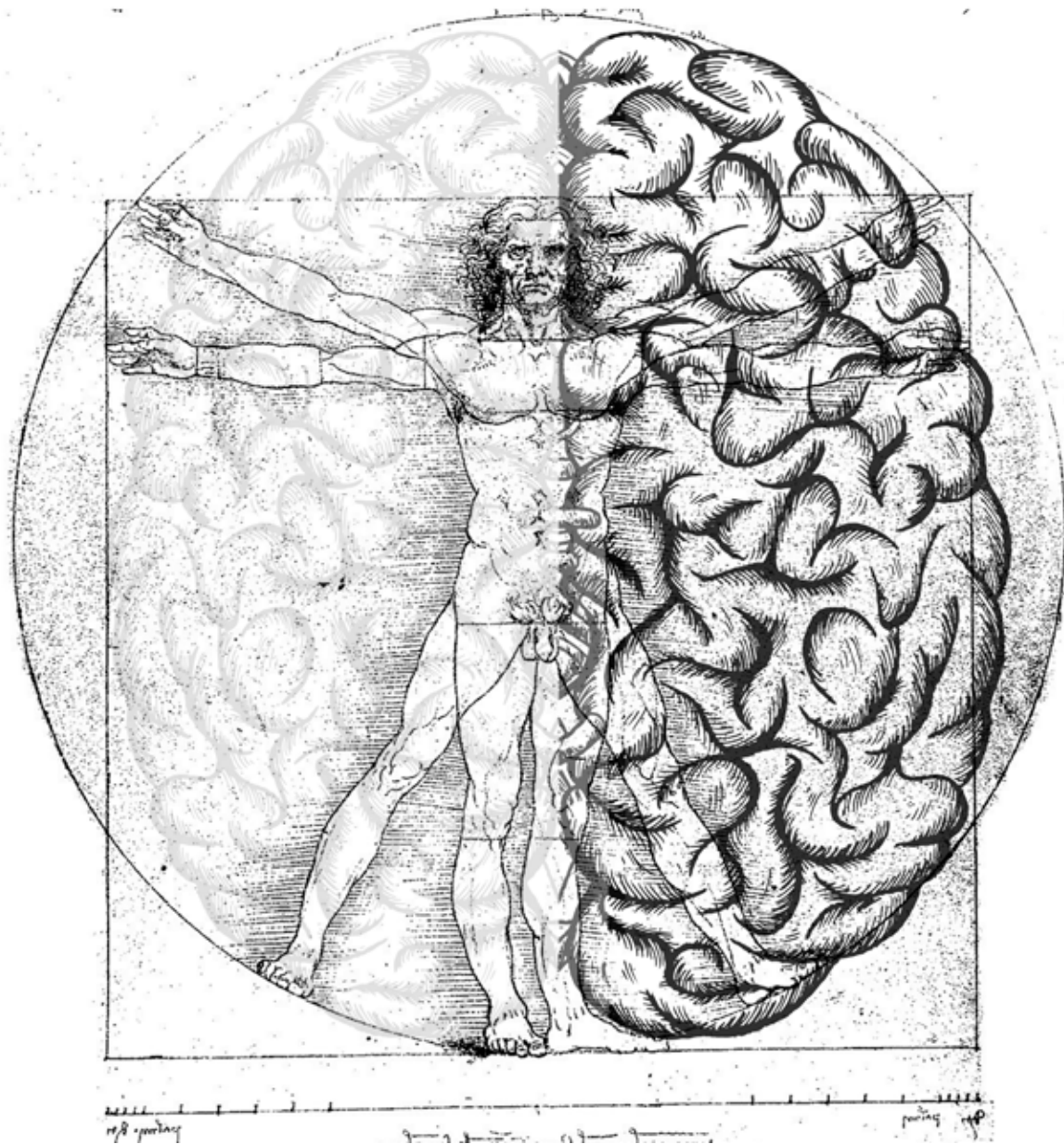
områder som anses som meget abstrakte og fjernt fra våre hverdagslige erfaringer.

De kroppslige strategiene benyttet av Feynman og Einstein i deres vitenskapelige arbeid, er et godt eksempel på den moderne teorien om kroppslig situert kognisjon, som understreker betydningen av kroppslige erfaringer i kognitive prosesser. Ifølge denne teorien finner ikke kognitive prosesser bare sted i hjernen, men involverer også kroppens interaksjon med omgivelsene. Kroppens sensorimotoriske system og miljøet rundt oss er integrerte deler av våre tankeprosesser, vår forståelse og vår opplevelse av verden.

Kroppslig situert kognisjon står dermed i kontrast til tradisjonelle modeller i kognisjonsvitenskap, som ser hjernen som en isolert datamaskin [1]. Den står også i kontrast til tradisjonell fysikkundervisning som primært har vektlagt hjernen («bruk hodet!») som utgangspunkt for abstrakt tenkning. Som fysikkdidaktiker ser jeg stort potensial i å trekke tråder mellom fysikkpraksiser og kognisjonsvitenskap og anvende prinsipper fra kroppslig situert kognisjon i fysikkundervisningen. Nye innblikk innen kognisjonsvitenskapen gir oss nøkler til en dypere forståelse av læringsprosesser, noe som er verdifullt for å fremme god fysikklæring.

## Kroppen i fysikken

Kroppen vår spiller en naturlig rolle i forståelsen av fysikk, nettopp fordi fysikk i bunn og grunn er en sansebasert vitenskap. Vi opplever lysets frekvenser som farger, hører trykkløyer som lyd, og fornemmer temperaturforskjeller som varme eller kulde. Gjennom disse sanseinntrykkene stiller vi spørsmål ved verden og tilegner oss kunnskap om den. For eksempel er vår forståelse av kraft og akselerasjon ofte forankret i kroppslige erfaringer. Når vi hopper, føler vi tydelig gravitasjonens trekk mot



**Figur 1.** Teorien om kroppslig situert kognisjon hevder at det eksisterer et tett samspill mellom kropp, sinn og omgivelsene.

Kilde: Skela at English Wikibooks, Public domain, via Wikimedia Commons. Redigert med Canva Pro.

jorden. Under en tautrekking opplever vi kraft og motkraft og får en kroppslig forståelse av Newtons tredje lov. Et barn forstår intuitivt at en ball vil trille nedover en bakke, men ikke oppover.

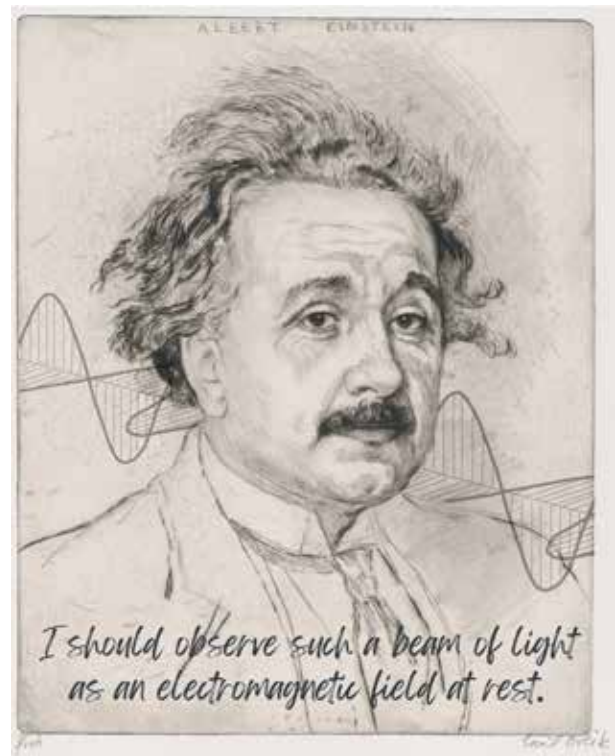
Det er slike erfaringer som danner utgangspunkt for mer abstrakt tenkning – fra vår opplevelse av kulde og varme til den moderne forståelsen av temperatur innen termodynamikken, og fra vår erfaring av tid og rom til konseptet om faserom og et systems mulige tilstander. Fysikkens utvikling gjennom århundrene kan betraktes som en oppadgående abstraksjonsspiral, der deler av kroppslige erfaringer isoleres og abstraheres for å bli de struk-

turelle invarianter som danner grunnlaget for videre abstraksjon [2].

Selv om fysikkens lover er universelle, påvirkes måten vi tenker og formulerer disse lovene på av våre kroppslige erfaringer. Hva om vi hadde en annen kroppsform og beveget oss i et annet miljø, for eksempel som en blekksprut i havet med åtte armer og et nervesystem som sprer seg gjennom armene? Våre sanseintrykk og motoriske ferdigheter ville da ha ledet oss til å utvikle forskjellige mentale modeller og begreplige tilnæringer for de samme fysiske fenomenene. Flytende i vann, ville vi kanskje ha bygget vår forståelse av fysikk rundt

**Figur 2.** Albert Einstein er berømt for sine tankeeksperimenter som integrerer sansemotoriske simuleringer, altså mentale simuleringer av tidligere erfaringer.

Kilde: Emil Orlik, CCO, via Wikimedia Commons. Redigert med Canva Pro.



andre fenomener enn tyngdekraften, som jo var et sentralt begrep i utviklingen av fysikken og drivkraften bak dens fremgang over århundrer.

### **Kroppens betydning i kognitive prosesser**

Oppsummert spiller kroppen vår en sentral rolle i hvordan vi oppfatter rom, tid og bevegelse, og dermed hvordan vi utvikler og forstår teorier i fysikk [3]. Det som gjør teorien om kroppslig situert kognisjon spesielt interessant, er dens evne til å beskrive spesifikke mekanismer bak hvordan vi definerer begreper, resonnerer oss frem til matematiske modeller og tenker som fysikere – med andre ord, hvordan vi går fra kroppslige opplevelser til abstrakte teorier.

Før vi ser nærmere på de kroppslige strategiene som var fundamentale i arbeidet til Feynman og Einstein, er det viktig å understreke at kroppslig situert kognisjon egentlig er et samlebegrep, snarere enn én enkelt teori. Det omfatter flere perspektiver på hvordan kroppen er knyttet til kognisjon [4,5]. Noen perspektiver fokuserer på det sansemotoriske og nevrovitenskapelige grunnlaget for kognisjon, mens andre ser kroppen i sammenheng med dens omgivelser eller i interaksjon med andre kropper – det vil si det sosiale aspektet, der mennesker samhandler gjennom språk og kroppsspråk. Mange er også interessert i de subjektive og opplevelsesbaserede erfaringene kroppen gir, som for eksempel skiller oss fra kunstig intelligens.

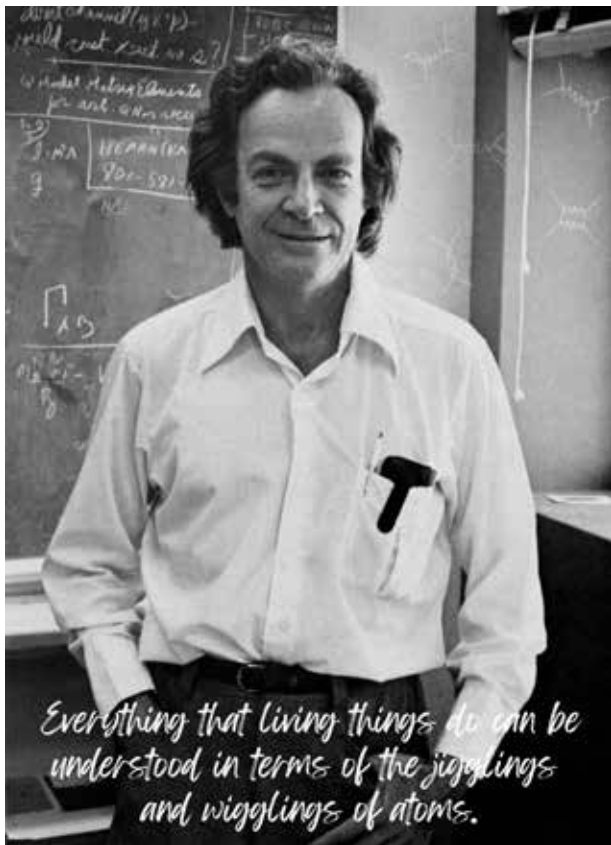
Perspektivene rundt kroppslig situert kognisjon retter oppmerksomheten mot mange aspekter og belyser ulike kroppslige mekanismer og strategier. Det som er felles for alle disse perspektivene, er at de går bort fra en tilnærming som isolerer hjernen fra resten av kroppen. Isteden hevdes det at kognisjon strekker seg på tvers av sinn, kropp, miljø og andre mennesker.

I resten av artikkelen vil jeg se hvordan vi kan lære av praksisene til Feynman og Einstein, tolket gjennom teorien om kroppslig situert kognisjon. Jeg vil undersøke konkrete metoder for hvordan disse innsiktene kan integreres i fysikkundervisning, slik at komplekse ideer blir mer forståelige og læringsprosessen mer engasjerende.

### **Tenkningen utvides til omgivelsene**

Richard Feynmans utvikling av Feynman-diagrammene er et glimrende eksempel på kroppslig situert kognisjon. Når komplekse beregninger betraktes, involveres ikke kun hodet i tankeprosessen – diagrammene utfører en del av det kognitive arbeidet. Dette er årsaken til at bra-ket-notasjon i kvantemekanikken og bruk av Christoffel-symboler i generell relativitetsteori er så utbredt. Akkurat som Feynman-diagrammene, fungerer disse som kognitive verktøy som forenkler utførelsen av kompliserte beregninger. Dette er en sentral mekanisme i kroppslig situert kognisjon: tenkningen overføres til omgivelsene for å redusere den kognitive belast-





**Figur 3.** Richard Feynman utviklet en genial metode som lot tegninger gjøre kognitivt arbeid for ham i kvantefysikk - et eksempel på kognitiv avlastning til omgivelsene.

Kilde: Public domain, via Wikimedia Commons. Redigert med Canva Pro.

ningen på hjernen [6].

Feynman selv var klar over denne mekanismen. Da historikeren Charles Weiner kalte en samling av Feynmans notatbøker en «fantastisk dokumentasjon av hans daglige arbeid», hadde Feynman innvendinger. «De representerer ikke min tankeprosess; de er min tankeprosess,» hevdet han [7]. For fysikere er det vanlig å overføre informasjon til tavler og papir for å begrense mengden informasjon som må huskes samtidig. På samme måte kan eksterne verktøy som smarttelefoner eller datamaskiner bli en del av tankeprosessen og bidra til å gjøre abstrakte fenomener mer håndgripelige.

Feynmans bruk av gester gir et annet eksempel på hvordan tenkningen kan utvides til omgivelsene: gester og kroppslige bevegelser har kognitiv verdi. Det er nettopp derfor høyrehåndsregelen brukes for å finne retningen til magnetfelt, eller hvorfor vi teller på fingrene. Vi tenker gjennom hendene og kroppen, noe som frigjør mentale ressurser til mer komplekse kognitive aktiviteter.

### Hvordan utnytte kognitiv avlastning i fysikkundervisningen?

Kjennskap til kognitiv avlastning som en kroppslig strategi kan forbedre fysikkundervisningen. Forskning viser at når lærere bruker gester mens de forklarer et begrep, forbedres elevenes evne til å forstå det som blir kommunisert – kroppsspråket klargjør og utdyper de verbale forklaringene [6].

I tillegg kan elevers gester ofte gi mer presis innsikt i deres tankeprosesser enn språk alene. Gestene kan avdekke underliggende ideer som elevene kanskje ikke klarer å uttrykke tydelig [8]. Ved å observere hvordan elever beveger hendene for å illustrere fysiske fenomener, kan lærere bedre forstå elevenes progresjon i læringsprosessen og hva som trengs for å understøtte videre læring.

En enkel oppfordring som «bruk hendene dine når du forklarer» eller «bruk en tegning når du forklarer» kan gjøre en stor forskjell. Studier viser at elever som blir oppmuntret til å gestikulere eller tegne mens de arbeider med oppgaver, ofte finner nye strategier for problemløsning gjennom sine håndbevegelser og skisser. Dette hjelper dem til å forstå abstrakte begreper bedre. Gester og skisser er spesielt nyttige når man prøver å forstå begreper som aldri fullt ut kan uttrykkes med ord, slik det ofte er tilfelle for mange begreper og matematiske uttrykk i fysikken.

### Sansemotoriske simuleringer som verktøy i tankeeksperimenter

Albert Einsteins tankeeksperimenter illustrerer en annen viktig mekanisme ved kroppslig situert kognisjon: evnen til å forankre abstrakte begreper i kroppslige interaksjoner gjennom sansemotoriske simuleringer. Når abstrakte begreper behandles, bruker hjernen våre sensoriske og motoriske systemer til å simulere sanseopplevelser knyttet

til disse begrepene [9]. Ved å aktivere de samme kognitive prosessene som brukes ved sansing og bevegelse, hjelper sansemotoriske simuleringer oss med å utvide vår forståelse fra det konkrete til det abstrakte. Hjernens evne til å simulere sanseopplevelser bygger dermed bro mellom konkrete erfaringer og abstrakte fysikkbegreper.

Da Einstein forestilte seg at han fulgte en lysstråle, simulerte han ikke bare abstrakt de fysiske prinsippene, men også den sansemotoriske opplevelsen av å bevege seg med høy hastighet. Han spurte seg: Hvordan ville verden se ut for en observatør som beveger seg i lysets hastighet? Hva ville denne observatøren se og oppleve? Dette tankeeksperimentet hjalp ham med å visualisere lysbølger som stasjonære, noe som tilsynelatende brøt med den klassiske fysikkens prinsipper [10]:

*«If I pursue a beam of light with the velocity  $c$  (velocity of light in a vacuum), I should observe such a beam of light as an electromagnetic field at rest though spatially oscillating. There seems to be no such thing, however, neither on the basis of experience nor according to Maxwell's equations. From the very beginning, it appeared to me intuitively clear that, judged from the standpoint of such an observer, everything would have to happen according to the same laws as for an observer who, relative to the earth, was at rest. For how should the first observer know or be able to determine, that he is in a state of fast uniform motion? One sees in this paradox the germ of the special relativity theory is already contained.»*

Dette tankeeksperimentet viser hvordan sansemotoriske simuleringer kan åpne opp for ny forståelse. Fysikere som utfører tankeeksperimenter, forestiller seg ofte scenarier og gjennomfører mentale simuleringer som ikke nødvendigvis kan utføres fysisk. Disse mentale øvelsene setter i gang de samme kognitive prosessene som vi bruker når vi sanser og beveger oss. Ved å forestille seg nye situasjoner og mentalt gjenskape interaksjoner med den fysiske verden, kan forskere bygge bro mellom abstrakte begreper og sanseerfaringer. Gjennom dette samspillet fungerer tankeeksperimenter som viktige verktøy for nytenkning.

### **Hvordan utnytte sansemotoriske simuleringer i fysikkundervisningen?**

En praktisk strategi for å dra nytte av denne kroppslige mekanismen er å involvere elever i kroppslige handlinger som fungerer som en sansemotorisk forankring av teoretiske begreper. Ideen om kongruens er sentral i denne prosessen. Kongruens refererer til samsvaret mellom et abstrakt begrep og en kroppslig eller sensorisk opplevelse som bidrar til å øke forståelsen. For eksempel kan det å bruke håndbevegelser for å illustrere retningen av en kraft skape en kobling mellom kroppslig handling og den abstrakte vektorbeskrivelsen av krefter. Når det er kongruens, har det abstrakte begrepet og den kroppslige opplevelsen likheter eller forbindelser, noe som gjør det lettere å forstå og tilegne seg begrepet.

Læringspsykologen Dor Abrahamson formulerer det slik: «Å lære er å bevege seg på nye måter» [11]. Dette innebærer undervisningsmetoder som involverer elever direkte i sansemotoriske simuleringer. Elevenes handlinger kan veiledes slik at de gjennom sine bevegelser illustrerer fysiske begreper eller prinsipper. For eksempel kan elever gjennom rollespill illustrere hvordan jordens helning og bane rundt solen påvirker årstidene. Ved å plassere en elev i midten som «solen» og en annen som «jorden» som beveger seg i en ellipse med en skrå akse, kan de kroppslig erfare hvordan forskjellige deler av jorden mottar ulik mengde sollys i løpet av året.

Å oppfordre elever til å skifte perspektiv og forestille seg selv i ulike fysiske scenarier kan være en effektiv undervisningsstrategi som stimulerer både innsikt og engasjement [12]. Det er klart at mange lærere allerede benytter disse strategiene, men det er kroppslig situert kognisjon som forklarer hvorfor dette fungerer så bra: Ved å knytte abstrakte ideer til konkrete kroppslige erfaringer, skaper hjernen en mer tilgjengelig representasjon av det abstrakte begrepet. Dog er ikke all bevegelse gunstig; elevenes bevegelser må hjelpe dem med å forankre abstrakte begreper i kongruente handlinger [13]. Denne kongruensen har blitt vist å forbedre forståelse og hukommelse i fysikk – og gjør abstrakte begreper mer intuitive.

## Oppsummering og veien videre

Denne artikkelen har gitt et innblikk i hvordan kroppslig situert kognisjon kan anvendes for å fremme forståelsen av fysikk. Fra å belyse hvordan kjente fysikere som Richard Feynman og Albert Einstein benyttet seg av kroppslige strategier, til å presentere konkrete grep i fysikkundervisning, har vi sett at kropp og kognisjon er tett sammenvevd i fysikkens verden. Mekanismer som kognitiv avlastning og sansemotoriske simuleringer gir oss verdifulle verktøy for å gjøre komplekse begreper mer tilgjengelige.

Likevel har denne artikkelen bare skrapet i overflaten av det bredere feltet av kroppslig situert kognisjon. Det finnes mange flere kroppslige strategier og underliggende mekanismer som kan utforskes, for eksempel metaforer som overfører kunnskap fra kjente, konkrete erfaringer til abstrakte domener. Metaforer skaper en mental snarvei som gjør det lettere å forstå komplekse ideer, noe som har fått mye oppmerksomhet i fysikk- og naturfagdidaktikk [14].

I lys av disse perspektivene håper jeg at denne artikkelen har vekket nysgjerrighet og inspirasjon til å utforske videre hvordan vi som fysikere og undervisere kan dra nytte av kroppslig situert kognisjon. Gjennom å sette dette i fokus kan vi forbedre hvordan vi lærer bort fysikk, men også hvordan vi selv forstår denne vitenskapen.

Til slutt er det viktig å understreke at å inkludere kroppslige strategier i undervisningen ikke krever en fullstendig overhaling av hvordan fysikk undervises. Jeg håper snarere å bidra med en ny innramming av kjente undervisningsstrategier ved å vise hvordan kroppslig situert kognisjon understøtter dem. Da kan vi bruke disse strategiene mer bevisst og effektivt. Ved å ta utgangspunkt i elevenes kroppslige erfaringer kan vi skape en fysikkundervisning som ikke bare er en abstrakt og intellektuell øvelse, men også en helhetlig, kroppslig opplevelse. ■

## Referanser

- [1] L. Shapiro og S. Spaulding. «Embodied Cognition». In: Zalta EN, editor. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Winter (2021).
- [2] A. Frank, M. Gleiser og E. Thompson. «The Blind Spot: Why Science Cannot Ignore Human Experience». MIT Press (2024).
- [3] M. Kersting. «Spaces Without and Within». *New Philosopher*. 2021;33:121–3.
- [4] M. Kersting, J. Haglund og R. Steier. «A Growing Body of Knowledge: On Four Different Senses of Embodiment in Science Education». *Sci Educ*. (2021).
- [5] M. Kersting, T.G. Amin, E. Euler, B. Gregorcic, J. Haglund, L.K. Hardahl, et al. «What Is the Role of the Body in Science Education? A Conversation Between Traditions». *Sci Educ*. (2023).
- [6] A.M. Paul. *The Extended Mind: The Power of Thinking Outside the Brain*. Boston: Mariner Books (2021).
- [7] C. Thompson. *Smarter Than You Think: How Technology Is Changing Our Minds for the Better*. Penguin (2013).
- [8] R.E. Scherr. «Gesture analysis for physics education researchers». *Phys Rev Spec Top - Phys Educ Res*. (2008).
- [9] D. Abrahamson og R. Lindgren R. «Embodiment and embodied design». *Camb Handb Learn Sci Second Ed*. (2014).
- [10] A. Einstein. *Autobiographical Notes* (1949). In: Schipp PA, editor. *Albert Einstein-Philosopher Scientist*. 2nd ed. New York: Tudor Publishing (1951).
- [11] D. Abrahamson og R. Sánchez-García. «Learning Is Moving in New Ways: The Ecological Dynamics of Mathematics Education». *J Learn Sci*. (2016).
- [12] A.R. Daane, L. Wells og R.E. Scherr. «Energy Theater». *Phys Teach*. (2014).
- [13] P. Bøgild. «Med kroppen ind i fysikken – Kongruens betydning for embodiment i fysikkundervisning på STX». Københavns Universitet (2024).
- [14] T.G. Amin, F. Jeppsson og J. Haglund. «Arrow of Time : Metaphorical Construals of Entropy and the Second Law of Thermodynamics». *Sci Educ*. (2012).

## Forsøk:

# Solnedgang i fysikklaboratoriet

**Tor Hjalmar Johannessen** tidligere fysikklektor

Denne artikkelen viser hvordan man i laboratoriet kan demonstrere lysbrytning i et medium med brytningsgradient, og demonstrere flatklemming av et rundt objekt – tilsvarende sola ved solnedgang. Dessuten vises beregninger av krumningen av lys når det går gjennom en brytningsgradient.

### Lystransmisjon gjennom et medium med brytningsgradient

Vi vet at atmosfæren bryter solstrålene før de treffer jorda. Dette er lettest å se ved solnedgang når sola blir flatklemmt nær horisonten. Målinger viser at sola er synlig etter at den er «gått ned» og egentlig befinner seg under horisonten.

Luftas tetthet, temperatur og andre parametere medfører en brytningkoeffisient  $n$  som varierer med høyden, altså en gradient. Brytningkoeffisienten er størst ved bakken, og den er ikke-lineær bl.a. fordi temperaturen ikke synker jevnt oppover i høyden.

Sukker som løser seg i varmt vann, lager en sukkerlake. Sukkerlake bryter lys med en brytningkoeffisient som er avhengig av sukkerkon-

### Utstyr til forsøkene:

- Et rom som kan mørklegges.
- En laser med justerbart underlag.
- Et lite kar med glass- eller plastvegger (perspex?) med dimensjoner ca.  $\frac{1}{2}$  m  $\times$  10 cm  $\times$  5 cm.
- Varmt/lunkent vann.
- Noen dråper melk som vil synliggjøre laserlyset.
- Vanlig sukker (farin) – nok til å dekke bunnen i et halvt cm tykt, jevnt lag på hele bunnen.
- Et bord.
- For «flatklemming» (forsøk 2) trenger vi en vanlig rund lypære, og et justerbart stativ som kan stille lypæra i riktig høyde.

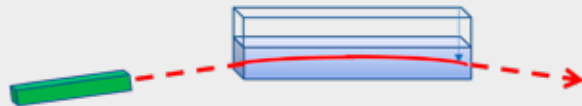
sentrasjonen. Med et tykt sukkerlag på bunnen vil konsentrasjonen av sukkerløsningen synke oppover i vannet, og vi får en brytningsgradient for lys. En slik gradient vil bryte lyset nedover.

### Forsøk 1: Krumme stråler i sukkerlake

- Sett karet på bordet, og fyll det halvveis opp med lunkent vann.
- Drypp noen dråper melk eller fluorescein i vannet, og rør rundt slik at det blir lett blakket.
- Strø sukker forsiktig utover bunnen i et ca. 0,5 cm tykt lag.
- Sukkeret vil løse seg i det lunkne vannet slik at vi får en sukkergradient med størst konsentrasjon langs bunnen. Ikke rør etter at sukkeret er helt oppi.
- Rett laserlyset litt på skrå oppover (ikke mye) mot den ene endeveggen, like over sukkersjiktet.

Ved å justere vinkelen på laseren vil man se at strålen bøyer seg lett nedover mot bunnen, og forlater karet med retning nedover (se Figur 2).

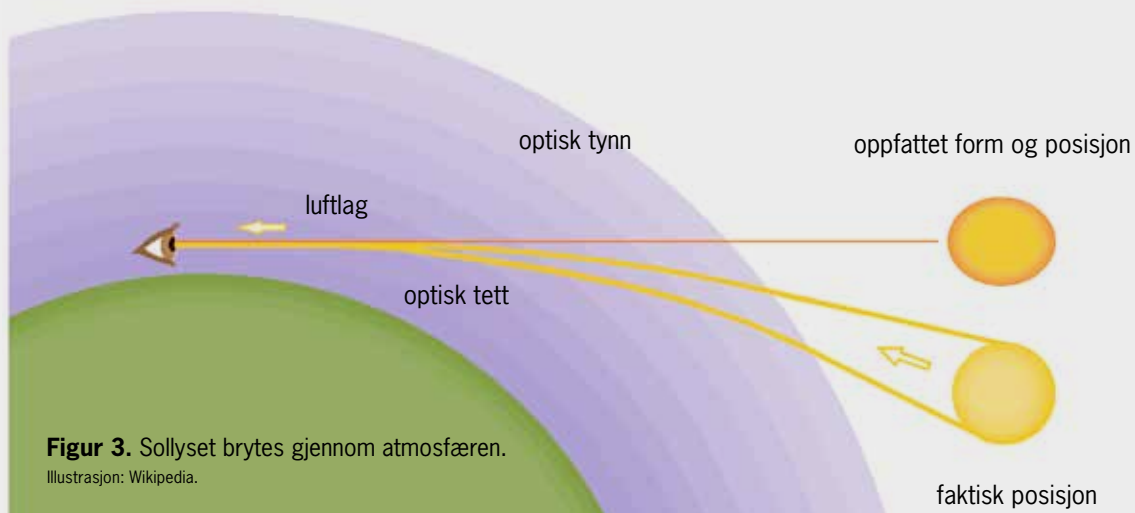
Krumningen er lettest å se når man ser langs strålen. Slukk lyset! Og husk: Se aldri rett inn i laseren.



Figur 2. Laserlys som bøyer seg i sukkerlake

### Forsøk 2: Simulering av solnedgang

Soloppgang og solnedgang: En forskyvning i den oppfattede posisjonen til Sola som følge av atmosfærisk refraksjon.



Figur 3. Sollyset brytes gjennom atmosfæren.

Illustrasjon: Wikipedia.

Dette eksperimentet kan brukes til å forklare hvorfor man ser sola noen minutter etter at den egentlig har sunket under horisonten. Den atmosfæriske brytningen «løfter» sola ca. en soldiameter –  $\frac{1}{2}$  grad. Tilsvarende forsøket med sukkerlaken, er tettheten til lufta, og dermed brytningskoeffisienten, størst nær bakkenivået. Lys brytes i samme retning som gradienten øker.

Brytningsindeksen ( $n$ ) endrer seg oppover fra bakken, og med det hastigheten på solstrålene<sup>1</sup>.

Figur 3 illustrerer at sola er synlig når den er under horisonten, og dessuten at den er flatklemt i vertikal retning. Figuren antyder at atmosfæren har optiske sjikt, så den vertikale gradienten er ujevn.

I forsøket ser vi på en lyspære gjennom et kar med sukkerlake. Vi kan se at lyspæra blir forminskert og



Figur 4. Lyspære uten sukkerlake imellom.



Figur 5. Lyspære sett gjennom sukkerlake (med mange små refleksjoner). Sterkt reflekslys er sladdet bort.

sammenklemt i høyderetningen, se Figur 4 og 5. Tilsvarende er det for sola under solnedgangen: solstrålene blir brutt og sola flatklemt nær horisonten.

Bildene i Figur 3 og 4 ble tatt av en vanlig lyspære gjennom et ca.  $\frac{1}{2}$  m langt glasskar med sukkerlake.

<sup>1</sup> For lufttomt rom er brytningsindeksen 1 (eksakt). For luft (NTP) er den 1,00029, altså nær bakken. Hastigheten til lys i et medium er gitt ved  $v = c_0 \cdot n$ , der  $v$  er aktuell lysfart og  $c_0$  lysfart i vakuum (ca. 300.000 km/s).

**Forsøk 2 (forts.)**

Bildene av lyspæren sett gjennom løsningen viser at den blir sammenklemt. Sammentrykningen var også ujevn, noe som er synlig med den ujevne ovale formen. Sukkeret som løste seg la seg i tydelige sjikt. Gradienten var altså ujevn, lik atmosfæren. De røyklignende skyggeflekkene skyldes trolig reflekser

Lampelyset er også mye gulere sett gjennom karet, noe som kan skyldes Rayleigh-effekt der kortbølget lys (blått) brytes og filtreres bort på grunn av småpartikler (her: suktermolekyler).

Bildet i Figur 1 viser lysbrytningseffekter ved solnedgang.

*Beregninger av krumningen*

To monokromatiske, parallelle stråler kommer horisontalt inn fra venstre. Anta at brytningsindeksen ( $n$ ) øker vertikalt nedover slik at farten, og med det bølgelengden, er størst for den øverste strålen. Anta at brytningsindeksen øker kontinuerlig med  $dn$  over den radielle distansen  $d\rho$ . Frekvensen  $f$  endres ikke ved brytning. Lysfart i vakuum:  $c$ .

$$\varphi = \frac{\lambda}{\rho} = \frac{\lambda + d\lambda}{\rho + d\rho},$$

der  $\varphi$  krumningsvinkel i radianer, bølgelengden er  $\lambda$ , og radien er  $\rho$ .  $1/\rho$  er et uttrykk for krumningen.

Vi setter  $\lambda_2$  og  $n_2$  for den øverste strålen og  $\lambda_1$  og  $n_1$  for den nederste. Her blir

$$\lambda_2 = \lambda_1 + d\lambda$$

og siden  $n_1 = n_2 + dn$  kan vi sette brytningsindeksene til  $n$  øverst og  $n + dn$  nederst. Da får vi:

$$\lambda_1 n_1 = \lambda_2 n_2.$$

Lysfarten  $v$  i et gitt medium:

$$v = \frac{c}{n} \quad \text{og} \quad v = \lambda \cdot f$$

Så får vi (siden  $f$  er konstant):

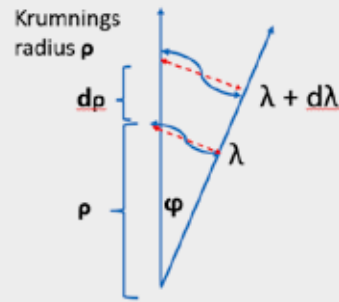
$$\frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2}.$$

I:  $\rho \cdot \varphi = \lambda_1$

II:  $(\rho + d\rho) \cdot \varphi = \lambda_2$

II - I:  $\varphi d\rho = \lambda_2 - \lambda_1 = d\lambda$

Da blir:  $\varphi = \frac{d\lambda}{d\rho}.$



**Figur 6.** Parametere for beregning av krumningen.

Vi kan også sette:  $\varphi = \frac{\lambda}{\rho}$ , som gir

$$\frac{\lambda}{\rho} = \frac{d\lambda}{d\rho}.$$

Et uttrykk for krumningen blir da:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{d\lambda}{d\rho}.$$

Bruker vi kjerneregelen for derivasjon, kan vi skrive krumningen som funksjon av bølgelengden.

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d}{d\rho} \ln(\lambda).$$

Siden  $\lambda = \frac{c}{f \cdot n}$  får vi:

$$\ln(\lambda) = \ln(c) - \ln(f) - \ln(n)$$

Og fordi  $c$  og  $f$  er konstanter får vi

$$\frac{d}{d\rho} \ln(\lambda) = - \frac{d}{d\rho} \ln(n)$$

som et uttrykk for krumningen<sup>2</sup> som funksjon av brytningsindeksen.

*Hvor mye luft går sollyset gjennom ved solnedgang før det treffer en observatør?*

Det er luften som bryter lyset. Toppen av stratosfæren ligger ca. 50 km over havnivå. Der er lufttrykket ca. 1/1000 av trykket ved havnivå. Hvis vi setter 50 km lik tykkelsen av det brytende luftlaget får vi via en enkel trekantberegning der jordradien settes lik 6370 km:

2 Krumningen er omvendt proporsjonal med radien  $\rho$ , og den øker med brytningskoeffisienten  $n$ . I forsøket her betyr det at lyset krummer seg mest nærmest bunnen, der tettheten til sukkerlaken er størst. Sukkergradienten i forsøket her medfører at horisontalt lys brytes i y-retningen som i en sylinderformet spredelinse.

## Forsøk 2 (forts.)

$$x = \sqrt{6420^2 - 6370^2} \text{ km} = 800 \text{ km.}$$

Det er altså en god del luft mellom oss og sola, spesielt ved solnedgang. Og det må til, siden  $n_{\text{max}}$  for luft er liten – ca. 1,00033 mot vakuum som er 1.

Modellering av brytningsindeksen i lufta er vanskelig fordi både trykk og temperatur inngår. De er ikke-lineære parametere i vertikal retning. I tillegg endrer de seg hele tiden, så i et teleskop virker det som om fjerne objekter «koker» og stjerner blinker.

### Visualiseringsforsøk med «solnedgang»

Hvis vi betrakter en bred strålebunt som går inn i en brytningsgradient som øker nedover, så vil den nederste delen brytes mer enn den øverste delen, altså lik en bølgefront gjennom en sylindrisk spredelinse. Objekter som betraktes gjennom en spredelinse vil forminskes.

Lys som beveger seg nedover et medium med økende brytningsindeks vil få gradvis kortere bølglengde. En bølgefront som går horisontalt inn i en vertikal tetthetsgradient vil bøyes nedover.

Figur 9 viser to deler av en bølgefront (1 og 2) som kommer inn fra venstre.

Skissen er sterkt fortegnet. Brytningsindeksen som øker nedover, medfører at begge delene avbøyes



Figur 7. Hele strålebunten.



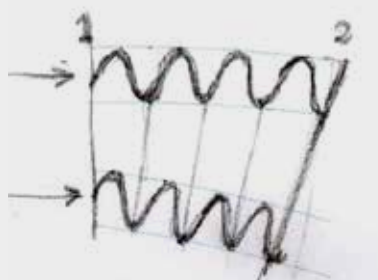
Figur 8. Oppdelt i tre enkeltstråler.

nedover. Bølglengdene forkortes, men mest i den nedre hvor både  $n$  og krumningen er størst.

Amplituden står alltid vinkelrett på transplantasjonsretningen, og frekvensen er uendret.

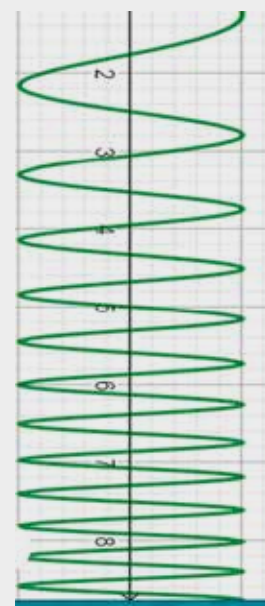
$n_{\text{sukkerlake}} (50\%)$  er ca. 1,4.  $n_{\text{vann}} = 1,33$ . I en gradient vil  $n$  innta verdier mellom disse, og bølglengden vil forkortes med opptil 5 % siden  $\lambda_1 n_1 = \lambda_2 n_2$ .

Bølglengden til en bølge som beveger seg rett nedover mot høyere brytningsindeks vil forkortes slik Figur 10 viser.



Figur 9. Skisse av to stråler som bøyes i et medium med brytningsgradient.

Figur 10. En bølge som beveger seg nedover mot økende brytningsindeks.



De fleste har nok opplevd at sola endrer form og blir flatklempt ved solnedgang. At den samtidig befinner seg under horisonten kan man ikke se – det må beregnes. Forsøkene her viser at begge aspektene kan visualiseres på relativt enkle vis. ■

Takk til: Førsteamanuensis Maria Vetleseter Bø og professor Ellen Karoline Henriksen ved Skolelaboratoriet, Fysisk Institutt, UiO, for god hjelp til rigging og lån av utstyr for fotografering av bilder.

# Forsøk: Verdensrommets ekspansjon

**Tore Hovland** Askøy videregående skole

Dette forsøket handler om å vise verdensrommets ekspansjon. Ved hjelp av strikker, metallskiver og en meterstokk kan elevene undersøke hvordan verdensrommet utvider seg uten at galaksene endrer seg. Det er selve rommet som ekspanderer, og forsøket illustrerer at de fjerne galaksene fjerner seg mer enn de som er nærmere observatøren.

## Målinger

Det bør være minst tre elever per gruppe i denne øvelsen.

1. Strikk og metallskiver festes som vist på Figur 1. Legg galaksesnoren på pulten med litt strekk, se Figur 2.

2. Velg din gruppes hjem-galakse på snoren og skriv dette inn i Tabell 1.

Mål avstandene fra din hjem-galakse til alle de andre galaksene på snoren. Se Figur 3. Skriv målingene inn i kolonne 1 i Tabell 1.



**Figur 1.** Strikk og metallskiver.



**Figur 2.** Galaksesnoren strukket ut til 1 meter.

3. Nå skal universet ekspandere. To gruppe-medlemmer er på hver sin ende av galaksesnoren, så drar de skivene fra hverandre slik at universet dobles i størrelse (fra en ende til den andre). Et tredje medlem repeterer steg 2 og måler de nye anstandene til galakse naboene. Se Figur 4.

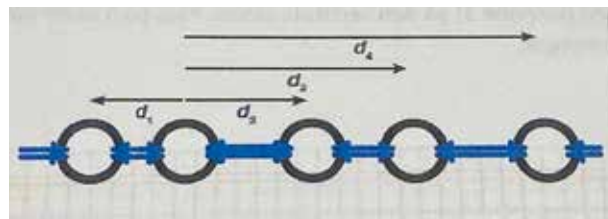
Skriv målingene inn i kolonne 2 i Tabell 1.

4. Regn ut og fyll inn kolonne 3 i Tabell 1 ved å regne ut økningen i avstand mellom de 2 målingene i kolonne 1 og 2.

5. Lag en graf fra tabell 1, med den opprinnelige avstanden (kolonne 1) på den horisontale aksene og økningen i avstand (kolonne 3) på den vertikale aksene. Pass på å sette navn på de to aksene og inkluder måleenhetene.

6. Tegn inn den beste linjen som passer. Regn ut stigningen. Pass på å ta med alle enheter.

*Fasit: Bør få graf med stigning på  $1 = 100\%$ . Elevene sine tall varierer fra 0,93 til 1.05. Dvs. deres univers har blitt henholdsvis 93 % til 105 % større.*



**Figur 3.** Avstandene ( $d_1, d_2, d_3, d_4$ , etc.) fra din hjem-galakse til alle de andre galaksene.



**Tabell 1.** Galakseavstandsmålinger

Hjem-galakse nr.:	Kolonne 1: Opprinnelig avstand (cm)	Kolonne 2: Ny avstand (cm)	Kolonne 3: Økning i avstand (cm)
Galakse _____			
Galakse _____			
Galakse _____			
Galakse _____			
Galakse _____			
Galakse _____			
Galakse _____			

**Undersøkelse**

a) Sammenlign stigningen din med de andre i klassen. Hva ser du? Hvilken effekt har ditt valg av hjem-galakse?

*Fasit: Alle får stigning på rundt 1, dvs. 100 % større univers. Valg av hjem-galakse, 1, 2 eller 3 ... har ingen ting å si for grafene.*

b) Beskriv hvordan posisjonene av de fjerne galaksene forandrer seg sammenlignet med de nære galaksene. Hvordan viser stigningen din dette?

*Fasit: De fjerne galaksene har fjernet seg mer enn de nærmere. Stigningen er den samme, dvs. en galakse som før var 20 cm borte er nå 40 cm fra oss, mens en som var 70 cm fra oss i starten er nå 140 cm fra oss. Alle avstandene er blitt fordoblet.*

c) Hvordan ville snoren sett ut hvis stigningen var:

1) Høyere? 2) Lavere? Hvordan ville du beskrevet universet hvis stigningen var: 3) Høyere? 4) Lavere?

*Fasit:*

1. Snor ville vært strukket ut lenger
2. Snor ville vært strukket ut kortere
3. Større univers, mer enn fordoblet i størrelse.
4. Mindre univers, ikke blitt fordoblet i størrelse

d) Hvis universet utvider seg, hvorfor vil ikke galaksene utvide seg også?

*Fasit: Galaksene holdes sammen av tyngdekraften. Galaksene er lokalt i ro. Det er rommet som utvider seg. Figur 5 viser den andre målingen der galaksesnoren er blitt 2 meter.*

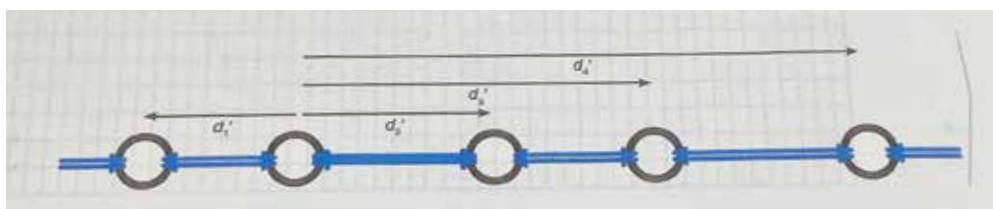
Til slutt et par tips:

- Lim fast endepunktene for gode målinger.
- Oppbevar metallskiver og strikk i ZIP Lock-poser slik at strikken ikke morkner/blir sprø.

**Kilder:**

- Øvelsen ble vist på ASE (Association for Science Education) konferansen i Birmingham i januar 2016.
- Den ble presentert av Perimeter Institute for Theoretical physics, fra Toronto Canada.

**Figur 4.** Avstandene ( $d_1'$ ,  $d_2'$ ,  $d_3'$ ,  $d_4'$ , etc.) fra din hjem-galakse til alle de andre galaksene.



**Figur 5.** Galaksesnoren.



# SPISS

## Et tidsskrift for publisering av elevers forskningsartikler

**Ved å la elever utvikle egne forskningsprosjekter og skrive en artikkel om forskningen sin, kan de få noe innsikt i naturvitenskapelige praksiser og tenkemåter. Det elektroniske tidsskriftet SPISS gir dem denne muligheten.**

Anders Isnes Naturfagssenteret

Det skjedde mye innen naturfagdidaktikk og læreplanutvikling på slutten av 90-tallet og begynnelsen av dette århundret, både nasjonalt og internasjonalt. Blant annet ble naturvitenskapelige prosesser og tenkemåter sterkere betonet og framhevet som viktige elementer i naturfagundervisningen, fordi det er en viktig del av den naturfaglige kunnskapen. Da Kunnskapsløftet ble innført i norsk skole i 2006, var naturfagenes arbeidsmåter og tenkemåter tydeliggjort i alle naturfagene fra barneskolen og helt opp til 3. trinn i videregående skole.

### Naturvitenskapelige praksiser og tenkemåter

I programfagene i videregående skole skulle elevene blant annet gjøre rede for og drøfte sentrale trekk ved vitenskapelige metoder i faget og planlegge og gjennomføre egne undersøkelser. Ved den siste revisjonen av Kunnskapsløftet i 2020, ble emnet (kjerneelementet) i læreplanen kalt «Naturvitenskapelige praksiser og tenkemåter». Dette skulle være med i alle naturfagene, og spesielt ble dette et sentralt kjerneelement i programfaget Teknologi og forskningslære der kjerneelementet beskrives på denne måten i læreplanen:

- «Kjerneelementet naturvitenskapelige praksiser og tenkemåter handler om de prosessene

og metodene som brukes i forsknings- og utviklingsarbeid. Videre handler det om å forstå og bruke det naturvitenskapelige språket og naturvitenskapelige måter å tenke på for å forklare fenomener og hendelser. Det handler også om å bruke kunnskap i praksis, om å se kunnskapen i et historisk perspektiv og om å planlegge og gjennomføre ingeniørarbeid og forsknings- og utviklingsrelatert arbeid.»

Videre kan vi lese i læreplanen at mål for opplæringen er at eleven skal kunne

- planlegge, gjennomføre og dokumentere selvvalgte forskningsprosjekter, og drøfte og presentere resultatene og hvordan valg av metode kan påvirke resultatene
- skrive og presentere en vitenskapelig artikkel om eget forskningsarbeid, og vurdere hvordan budskapet kan påvirkes av presentasjonsform.

### Tidsskriftet SPISS

Naturfagssenteret ved Universitetet i Oslo har i flere år hatt et tilbud til elever om å publisere egne forskningsartikler i det elektroniske tidsskriftet SPISS. Det er hovedsakelig elever i faget Teknologi og forskningslære som bruker denne muligheten,



selv om tilbudet går til alle naturfagene fysikk, biologi, kjemi og geofag.

Artiklene er basert på elevenes egne forsknings- og teknologiprojekter. Publisering er sentralt i utviklingen av naturfaglig kunnskap. Det er utviklet krav til oppbygging og innhold i naturvitenskapelige publikasjoner som skal gjøre det mulig for elevene og faglærere å vurdere kvaliteten av oppnådde resultater og konklusjoner.

SPISS krever på samme måte som profesjonelle naturvitenskapelige tidsskrifter at artiklene er velorganisert og bare inneholder informasjon som er relevant for den problemstillingen som er undersøkt. Dette gjelder informasjon om hensikten med undersøkelsen, hvilke metoder som ble benyttet, hvilke resultater eleven fikk som belyser problemstillingen, en diskusjon om (u)sikkerheten i resultatene og hva de betyr og til slutt en konklusjon som forholder seg til opprinnelig problemstilling.

Alle artiklene som blir publisert i SPISS, er vurdert av flere medelever fra andre skoler. Det er bare elever som selv har sendt inn manuskript, som får andres manuskripter til vurdering. Naturfagsentret sørger for fordeling av artikler og kommuniserer med elever og faglærere. Manuskriptene de mottar til vurdering, er anonymiserte. Til hjelp i dette arbeidet kan de benytte et sett med kriterier som gjenspeiler sentrale sider ved naturvitenskapelige praksiser og tenkemåter. På den måten får elevene trening i både å rapportere om egne forskningsprosjekter og vurdere andres artikler.

Etter en runde med vurdering av en artikkel, både av elever (refree) og redaksjon, blir tilbakemeldin-

gene sendt til artikkelforfatter med oppfordring om å forbedre artikkelen. De fleste velger å sende inn en ny og revidert artikkel med det håp om å oppnå publisering i tidsskriftet. Etter en ny runde med vurdering av redaksjonen, blir de artiklene som har høyest kvalitet og originalitet publisert elektronisk. Dersom forfatterne ikke foretar nødvendige forbedringer eller har store svakheter, vil artikkelen ikke bli publisert. Av ca. 50 mottatte artikler blir 8–12 artikler publisert. Selv om de fleste artiklene ikke blir publisert, sier faglærerne at det er lærerikt for elevene å delta i denne prosessen.

SPISS tar imot artikler som bygger på utforskende prosjekter som innebærer at elevene har en hypotese eller et naturvitenskapelig spørsmål de undersøker. Prosjekter der elevene bare følger en oppskrift eller ferdig oppsett for et forsøk, er ikke aktuelle. Det samme gjelder rapporter fra bedriftsbesøk. Artikler kan være utarbeidet av enkeltelever eller av en gruppe elever som har gjennomført en forskningsoppgave. I noen tilfeller har elever arbeidet sammen med og under veiledning av eksterne forskningsmiljøer.

### To eksempler på ingress fra artikler i 2024:

#### ***Lufttemperaturens påvirkning på vindturbiners strøm-produksjon***

Forfatter: Camilla Alice Mikkelsen, Rjukan videregående skole

*Vindturbiner er i dag en viktig fornybar energikilde. Denne studien undersøker temperaturens påvirkning*

*på strøm-produksjonen til vindturbiner, med fokus på forskjeller mellom kaldt og varmt vær. Å forstå hvordan temperatur påvirker strømproduksjonen til vindturbiner er viktig for å optimalisere energiproduksjonen og forlenge levetiden til vindturbiner. Studien bruker produksjonsdata fra Tonstad Vindpark for kaldt og varmt vær. Analysen av forskjellene på kaldt og varmt vær ble gjort på tre måter, først grafisk sammenligning av gjennomsnittlig produksjonseffekt, deretter grafisk sammenligning av maksimal produksjonseffekt, og til slutt t-tester av korte intervaller av utvalgte vindhastigheter. Resultatene indikerer at det er forskjeller i strømproduksjonen under kalde og varme temperaturforhold for like vindhastigheter.*

### **Forskjell i miljøgifter hos torsk (*gadus morhua*) i indre og ytre Oslofjord**

I samarbeid med Faggruppe for toksikologi ved NMBU. Forfatter: Linus Alexander Jalmerbrandt, Elvebakken videregående skole

*Marine organismer i Oslofjorden utsettes for forskjellige miljøgifter. I denne undersøkelsen ble det undersøkt om det var høyere nivåer av miljøgifter i indre Oslofjord sammenlignet med ytre Oslofjord. Det ble også tatt stilling til om giftstoffnivåene i torsk utgjorde en helseisiko for mennesker. Det ble anvendt en kvantitativ metode i undersøkelsen. Leverprøver fra 10 torsker fra hvert område ble uthentet, der leveren ble dissekert og målt for miljøgiftene dioksiner og dioksinlignende PCB-er. Totalt sett ble det målt over dobbelt så store mengder miljøgifter i indre Oslofjord som i ytre Oslofjord. Miljøgiftenes toksisitet var også dobbelt så stor i indre som i ytre Oslofjord.*

### **SPISS i undervisningen**

SPISS kan brukes aktivt som arbeidsredskap i undervisningen på ulike måter. Elever som publiserer i SPISS, får for eksempel trening i å måtte forholde seg til kvalitetskrav og format for vitenskapelige artikler.

Gjennom vurdering av medelevers rapporter får de trening i kritisk fagfellelvurdering. Å lese, vurdere og gi tilbakemelding på andre elevers artikler, gir en annen og reflektert øvelse i publiseringssjangeren enn bare å arbeide med egen skriving. Elevene må gå nøye inn på kvaliteten av det vitenskapelige arbeidet med hensyn til planlegging, gjennomføring, valg og bruk av målemetoder, vurdering av resultater og begrunnelse for konklusjoner. Det vil alltid være noe å sette fingeren på, både etter første referende og i publiserte artikler.

Data skal være behandlet og presentert slik at usikkerheter og interessante mønstre i data frem-

kommer tydelig. Det må være tydelig hvordan data støtter eller avkrefter en påstand eller hypotese. Diskusjonen skal inneholde en vurdering av hvor sikker eleven mener påstandene er og i hvilke situasjoner de mener funnene gjelder. Artikkelen skal også ha en referanseliste som viser kilder som har vært brukt i arbeidet. Referanselisten skal følge standardisert oppsett og gi nok informasjon til at lesere lett kan finne referansene.

Når elevene har erfart både publiseringssprosessen og vurdering av andres publiseringer, har læreren et konkret grunnlag for samtaler med elever om hvordan publisering, argumentering og kritisk vurdering praktiseres i naturvitenskap. Det å forstå blant annet hvorfor forskere forventes å skille mellom data og tolkninger ved å ha disse i separate seksjoner, innebærer økt innsikt i hva kritisk tenkning innebærer.

### **Faglærer som veileder**

Selv om elevene sender inn artikler i sitt navn, og SPISS kommuniserer direkte med elevene, er SPISS avhengig av at ansvarlig lærer er involvert i elevenes utarbeidelse og videre bearbeidelse av artikkelen frem mot eventuell publisering. Derfor blir all kommunikasjon med elever kopiert til faglærer. Det er nødvendig at faglærer går gjennom prosjektplanlegging med elevene, og at de fungerer som veiledere for elevene under gjennomføringen av prosjektet. Faglærer bør diskutere med elevene hvorvidt deres prosjekt og de resultater de forventer eller har oppnådd, gir tilstrekkelig grunnlag til å kunne sendes inn for videre vurdering.

### **Til slutt**

Erfaringsmessig er det bare faget Teknologi og forskningslære i videregående skole som gir rom for å kunne arbeide med et eget forskningsprosjekt og skrive en artikkel for mulig publisering i SPISS. Et fåtall skoler benytter seg av denne muligheten. Årsaken er kanskje mangel på kunnskap om muligheten, eller det kan være at læreplanene er for overlesset med emner og det blir liten tid til denne typen arbeid. ■

Det elektroniske tidsskriftet med flere årganger finner du på nettadressen:

<https://boap.uib.no/index.php/spiss>

Læreplan i Teknologi og forskningslære:

[www.udir.no/lk20/tnf01-02](http://www.udir.no/lk20/tnf01-02)



## Kim Robert Tekseth

Institutt for fysikk, NTNU

PhD-avhandling: «Computational Imaging of Structure and Liquid Dynamics in Porous Media»

Hovedveileder: professor Dag W. Breiby

Kim Robert Tekseth forsvarte 27. mai 2024 doktoravhandlingen *Computational Imaging of Structure and Liquid Dynamics in Porous Media*. Avhandlingen bestod av 9 journalartikler, og Tekseth har bidratt til ytterligere 6 artikler i tiden som stipendiat. Et gjennomgangstema i doktoravhandlingen er hvordan algoritmer og datamaskiner kan benyttes til kvantitativ avbildning. Avansert mikroskopi har vært ensbetydende med kostbare, store og klossete optiske instrumenter. En ny tilnærming er å sørge for at instrumentet samler mest mulig informasjon, og at dataalgoritmer bistår i å omdanne signalene til generalisert «avbildning» av det man ønsker å studere. Et klassisk eksempel er røntgen-CT (*computed tomography*) som muliggjør 3D-avbildning, og denne tankegangen har fått en kraftig renessanse med framveksten av kunstig intelligens.

Væskestrømning i porøse media er et vitenskapelig utfordrende tema som samtidig har stor samfunnsrelevans. For pore-forskning har CT de senere årene medført en liten revolusjon ved at det har blitt mulig å studere porestrukturene ikke-destruktivt og i 3D. Blant de hurtigste prosessene som skjer i porøse medier, er «sprang» (engelsk: *Haines jumps*) når kapillærkreftene gjør at innholdet i en pore plutselig endres, typisk når vann dreneres ut og erstattes av luft.

Slike Haines-sprang varer typisk noen titalls millisekunder. I Kim Roberts doktorarbeid demonstrerte han at væskestrømningen i porøse medier kan være repeterbar, altså ha samme forløp ved gjentatte målinger. Dette ble utnyttet ved hjelp av synkrotron-røntgen til å avbilde væskedynamikk i porøse medier i 3D med 0,5 millisekund tidsoppløsning – flere størrelsesordener hurtigere enn tidligere rapportert. Dette arbeidet er publisert i PNAS.

Kim Robert studerte også væskedynamikk i porøse medier med «hjemme-lab-CT», hvilket har banet vei for et nytt samarbeid mellom NTNU og Equinor. Videre har han studert små defekter eller sprekker i glassoverflater ved hjelp av kvantitativ fasekontrast lysmikroskopi, såkalt *Fourier ptychography*. Defekter og bruddstyrke i glass er viktig i sikkerhetssammenheng, f.eks. for bilbransjen. Kim Robert utviklet en ny optisk metode for å påvise og måle mikroskopiske overflatedefekter over relativt store areal. Til slutt må nevnes at Tekseth har demonstrert hvordan røntgen-diffraksjon kan brukes som kontrast for å avbilde og studere langtrekkende orden i smektiske flytende krystaller.

Doktorarbeidet ble utført ved Institutt for fysikk, NTNU, og ved European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) i Frankrike. Professor Dag W. Breiby var veileder.

# Bokomtale

## Bjarne Stugu: *Moderne fysikk for bachelorstudenter*

Utgitt av Bjarne Stugu ved UiB, 2024  
389 sider

**B**jarne Stugu er professor i fysikk ved Universitetet i Bergen. Dette er en bok Stugu har skrevet med utgangspunkt i forelesninger han har holdt for bachelorstudenter i fysikk. Jeg opplever boka som meget velskrevet og godt organisert. Det har vært en glede å lese boken.

Jeg vil fremheve et pedagogisk grep i boken som fungerer veldig godt: Sammendrag i grønne bokser. Mellomregningene i boka er passe detaljerte, og forklaringene er gode. I tillegg må det nevnes at Stugu har laget mange fine figurer til boka, ikke minst i kapittel 4 med illustrasjoner som viser sannsynlighetsfordelinger for elektroner i løsninger av Schrödinger-likningen for atomer med ulike kombinasjoner av kvantetall.

Det er også flott med de mange fine oppgavene i boka. Men det er ingen løsningsforslag. Noen løsningsforslag til utvalgte oppgaver ville ha vært fint.

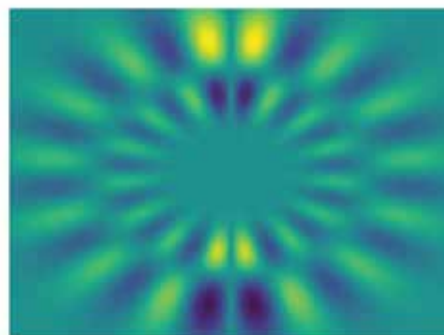
Boken er i hovedsak godt gjennomarbeidet, men det er en del trykkfeil.

### Relativitetsteorien

Første kapittel dreier seg om den spesielle relativitetsteorien. På side 15 behandles tvillingparadokset. Her står det: «Tidsdilatasjonen forteller at klokker som beveger seg, går fortere enn klokka i ro.» Det er omvendt. Klokker som beveger seg, går langsommere enn klokker i ro. Dersom en klokkes hastighet nærmer seg lyshastigheten, nærmer det seg at klokka står stille.

Her betraktes to tvillinger, Peer og Solveig. Solveig forblir i ro i et treghetssystem, mens Peer reiser til en stjerne 20 lysår unna med 80 % av lyshastigheten, og så returnerer til Solveig. Da de møtes etter reisen er Solveig blitt 50 år eldre, mens Peer bare er blitt 30 år eldre på grunn av den hastighetsavhengige tidsforlengelsen. Så står det: «At alderen er forskjellig også når de befinner seg på samme sted etter at en av dem har reist, kalles tvillingparadokset.»

Det er ikke paradoksalt, det er bare noe vi ikke er vant til fordi vi reiser med så små hastigheter i



Moderne fysikk for  
bachelorstudenter  
Bjarne Stugu



forhold til lyshastigheten. Tvillingparadokset er at når Peer og Solveig gjør en beregning av begge tvillingenes alder basert på den relativistiske tidsforlengelsen, og begge oppfatter seg selv som i ro og tvillingen som reisende, så finner begge at tvillingen burde være yngre enn dem selv når de møtes etter adskillelsen. Det er paradoksalt!

Løsningen av tvillingparadokset involverer den gravitasjonelle tidforlengelsen som kommer fra den generelle relativitetsteorien [1].

### Begreper og formuleringer

Det er noen få begrepsmessige feil. På side 157 står det: «det er ønskelig å kunne kvantisere graden av varme, noe som ble kalt for temperatur». Her mener Stugu 'kvantifisere' siden det ikke dreier seg om kvantefysikk her. En annen ting er at temperatur er en størrelse brukt for å karakterisere graden av indre energi, og ikke er et mål for varme som er energitransport på grunn av temperaturforskjell.

På side 159 er det noen formuleringer som ikke er helt bra. «Man kan altså se på varmemengde som et mål for *indre energi* i et stoff». Det er imidlertid temperatur som er mål for indre energi. Videre definerer Stugu arbeid *på gassen*,  $W = -p \Delta V$ , i formuleringen av termodynamikkens første lov. Men skriver så: «Om gassen utvider seg, så utfører den arbeid ved å miste indre energi.» I en revisjon bør dette endres til: Om gassen utvider seg, utføres et negativt arbeid på gassen. Her er heller ingen definisjon av varme (energioverføring på grunn av temperaturforskjell – ledning, strømning, stråling).

På side 272 dukker det opp et ord jeg ikke har sett før: Det står det at «halvlivet» til Cs-137 er

30 år. Åpenbart en norsk versjon av *half life*, men «halvveringstiden» er det vanlig norske ordet. Tilsvarende er *red shift* oversatt til «rødsift» i kapitlet om kosmologi, men det vanlige norske ordet er «rødforskyvning».

I avsnittet om fisjon skriver Stugu: «Fisjon ble oppdaget i slutten av 1930-åreneda uran ble bombardert med nøytroner. Enrico Fermi fant at det ble produsert nye grunnstoffer. Det var den østerrikske fysikeren Lise Meitner som forklarte dette som en fisjonsprosess, etter å ha repetert forsøket i samarbeid med Otto Hahn. Meitner måtte flykte til Sverige (siden hun var jøde), og kunne heller ikke signere publikasjonen om funnet i 1939. Dermed ble det Hahn som fikk Nobelprisen for oppdagelsen.»

Historien om dette er litt annerledes, og er mer utfyllende beskrevet i artikkelen «Hvorfor fikk ikke Lise Meitner nobelprisen i fysikk?» (s. 58).

Etter å ha omtalt at elektromagnetiske- og svake krefter er forent i en elektrosvak kraft, og at den sterke kjernekräften kommer fra fargekraften mellom kvarker på tilsvarende måte som den molekylære van der Waal kraften kommer fra elektriske krefter mellom ladninger, oppsummeres på side 332 avsnittene om de fundamentale kreftene i naturen på følgende måte:

«Det er derfor riktig å si at vi bare har tre fundamentale krefter i naturen:

- Den elektrosvake kraften
- Den sterke kjernekräften (som beskrives med QCD)
- Gravitasjonskraften»

I det andre kulepunktet hadde det vær mer naturlig å skrive: Fargekraften mellom kvarker. Og i det tredje kulepunktet ville det vært fint med en kommentar: Gravitasjon er beskrevet som en kraft i Newtonsk gravitasjonsteori, men ikke i den generelle relativitetsteorien. Dette har sammenheng med at du kan transformere bort opplevelsen av tyngdekraft ved å gå inn i et fritt fallende referansesystem.

Arnt Inge Vistnes har nylig initiert en debatt i FFV om lysets natur: bølger eller partikler. Arnt Inge forsvarte bølger. I kapittel 2 i sin bok skriver Bjarne Stugu om lys som en ansamling av partikler i sammenheng med den fotoelektriske effekten, Compton effekten og pardannelse – og til og med i sammenheng med interferens av lys sendt gjennom en dobbeltspalte. Det er også interessant å se, på side 210, at i en kvantemekanisk analyse av krystallstrukturen av faste stoffer, undersøkt ved hjelp av spredning av røntgenstråling, beskrives strålingen som bølger.

De fleste stedene er det detaljerte forklaringer som leseren kan følge. Men ikke over alt. På side 85 dukker bølgefunksjonen for en kvantisert harmo-

nisk oscillator opp uttrykt ved Hermitepolynomer. Her er det ingen forklaring. Kanskje skyldes det at forklaringen er lang. I Anderson *Modern Physics and Quantum Mechanics*, for eksempel, behandles dette på flere sider. Siden dette tydeligvis er mer detaljert enn Stugu ønsker å være i sitt kurs, ville det vært fint med en eller to referanser her.

## Kosmologi

På side 345, i kapitlet om kosmologi, står det: «Vårt referansesystem er medbevegende med bakgrunnsstrålingen». Her er det underforstått at «vårt referansesystem er Jorda.» Men Jorda er ikke medbevegende med bakgrunnsstrålingen. Jorda beveger seg med farten 30 km/s rundt Sola. Sola beveger seg med en fart rundt 150 km/s rundt vår galakse, Melkeveiens sentrum. Og Melkeveiens sentrum har en hastighet rundt 250 km/s gjennom bakgrunnsstrålingen. Alt dette gjør at når vi observerer den kosmiske bakgrunnsstrålingen med god nok nøyaktighet, så observeres en dipol med litt kortere bølgelengde i bevegelsesretningen enn i motsatt retning. Dette er en dopplereffekt. Et referansesystem der denne ikke opptrer, er medbevegende med den kosmiske materien i vårt ekspanderende univers.

På side 346 står det at om universet har positiv krumning vil det etter hvert trekke seg sammen, om universet er flatt eller har negativ krumning vil universet ekspandere evig. Denne sammenhengen gjelder imidlertid bare i et univers med null kosmologisk konstant.

På side 347 står det at den kosmologiske konstanten,  $\Lambda$ , ble innført av Einstein for å gjøre universet stabilt. Men Einstein innførte  $\Lambda$  for å gjøre universet statisk. Det ble vist av Arthur Eddington i 1930 at Einsteins statiske univers er ustabilt.

Boka rundes av med en fin oppsummering av universets tidlige historie.

## Konklusjon

Boka er god til tross for noen skjønnhetsfeil. Feilene i boka er imidlertid lette å endre for forfatteren før det trykkes opp flere eksemplarer. Når disse, samt omtrent en trykkfeil per side (som jeg ikke har nevnt) rettes opp, blir boka helt utmerket! Særlig dersom det også inkluderes en stikkordliste i den reviderte boka.

Øyvind Grøn

## Referanser

- [1] I referatet fra et foredrag holdt i Trondheim Astronomiske Forening 31. august 2011 er det lenke til PowerPoint-lysbilder med en presentasjon av relativitetsteorien, inkludert løsningen av tvillingparadokset. Se lenken etter referatet i <https://www.taf-astro.no/aktivitet/moter/referat/2011/mr11aug.pdf>

RETURADRESSE:  
FRA FYSIKKENS VERDEN  
FYSISK INSTITUTT, UNIVERSITETET I OSLO  
BOKS 1048 BLINDERN  
0316 OSLO  
NORGE

ISSN-0015-9247

## Styret i Norsk Fysisk Selskap

### President

Professor Sunniva Siem, Fysisk institutt, UiO, Kjerne- og energifysikk  
[sunniva.siem@fys.uio.no](mailto:sunniva.siem@fys.uio.no)

### Visepresident

Forsker Hilde Nesse, Institutt for fysikk og teknologi, UiB  
Birkelandsenteret for romforskning  
[hilde.nesse@uib.no](mailto:hilde.nesse@uib.no)

### Styremedlemmer

*Rom-, plasma- og klimafysikk:* Førsteamanuensis Audun Theodorsen, Institutt for fysikk og teknologi, UiT

*Subatomær fysikk og astrofysikk:* Professor Håvard Helstrup, Institutt for datateknologi, elektroteknologi og realfag, HVL

*Industri- og energifysikk:* Professor Jon Samseth, Institutt for produktdesign, OsloMet

*Akustikk og optikk:* Professor Torbjørn Skauli, Institutt for teknologisystemer, UiO

*Biofysikk og medisinsk fysikk:* Professor Pawel Sikorski, Institutt for fysikk, NTNU

*Kondenserte fasers fysikk med atomfysikk:* Professor Luiza Angheluta-Bauer, Fysisk institutt, UiO

*Leder av Norsk Fysikklærerforening:* Lektor Kaja Nordby, Kongsbakken vgs.

### Vara

Professor Magnus Borstad Lilledahl, Institutt for fysikk, NTNU

### Adresse

Norsk Fysisk Selskap  
Fysisk institutt, UiO  
Boks 1048 Blindern  
0316 Oslo

### Sekretær

Stipendiat Andreas Halkjelsvik Mjøs, Fysisk institutt, UiO  
E-post: [nfs.styret@gmail.com](mailto:nfs.styret@gmail.com)  
Bankgiro: 7878.06.03258  
Org.nr.: 940 340 829

[www.norskfysisk.no](http://www.norskfysisk.no)

### Bedriftsmedlemmer

Vi takker for støtten fra  
våre bedriftsmedlemmer:



UNIVERSITETET  
I OSLO



UNIVERSITETET I BERGEN



UiT Norges  
arktiske universitet

