Fra Fysikkens Verden

Nr. 2 – 2001
63. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Torger Holtsmark:
Sophus Lies studiemiljø. 40
Reidun Renstrøm:
Einsteins lyskvanter 46
Iver H. Brevik:
Er superluminalt lys observert?. 51
Øyvind Grøn:
Big Bang i et uendelig univers . . 55
Fra Redaktørene 38
FFV Gratulerer 38
Olav Steinsvoll
Sjur Refsdal
Debatt 59
Prosjektgjengen
Fra Fysikkens Historie. 60
Kjernefysikk i Norge
Bokomtaler 61
Nye Doktorer 65
Dr.ing. John Ove Fjærestad
Dr.scient. Elin Melby
Dr.philos. Kårstein Måseide
Dr.ing. Jørgen Nyhus
Trim i FFV 67

Sophus Lie (1842-1899) var aktiv i Realistforeningen
(se artikkel)

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

Det europeiske system for høyere utdanning er i støpeskjeen. Basis for omorganiseringen av dette kompliserte system av nasjonale studieopplegg og gradstrukturer er å finne i den såkalte "Bolognadeklarasjonen" fra 1999 og oppfølgere i Salamanca og Prag nå i vår. Målet er er å fremme

- mobilitet av studenter og lærere
- anvendelighet på det felles europeiske arbeidsmarked
- attraktivitet av europeiske universiteter for studenter både fra Europa og andre regioner.

For å oppnå dette må det etableres sammeliknbare kriterier for grader og kvalitet. Et omfattende program er i gang for å implementere dette i form av

- en felles gradstruktur: Bachelor–Master–Ph.D. basert på 3–5–8-års studier
- et felles vekttallsystem, ECTS, med 60 ECTS-enheter for ett års studier
- et evalueringssystem for å sikre at gradenes kvalitet er på samme nivå.

Gjenkjennelige elementer fra Stortingsmelding nr. 27: "Gjør din plikt – Krev din rett. Kvalitetsreform av høyere utdanning."

Men hvordan vil Norge klare seg i en mer aggressiv internasjonal utdanningskonkurranse hvor de mest målbevisste nasjoner har ambisjoner om å erstatte sitt *"brain drain"* med et *"brain gain"*. Har vi noe universitet som kan være en parallel til fotballens Rosenborg? Vi er ikke i tvil om hva som vil bli de avgjørende kriterier: kvaliteten på vår forskning og undervisning. Dette krever ressurser og målbevisst innsats på flere plan, noe som ble klart påpekt i en kronikk av Dagfinn Føllesdal og i et innlegg av Bernt Hagtvedt (Aftenposten 21/5-01). Se også Ingerid Hiis Helstrups debattinnlegg i dette nummer av FFV.

Vi frykter det verste hvis vi ikke har mer å stille opp med enn høystemte erklæringer om at vi skal bli (er) best. Resultatet kan bli som i fotball; våre mest begavede studenter og lærere vil oppdage at de best kan realisere sine faglige og yrkesmessige ambisjoner utenfor landets grenser. Men innen utdanningssystemet har vi ingen landskamper å lokke med, hvor "utenlandsproffene" kan stille med "Norge" på ryggen.

∞

FFV Gratulerer

Olav Steinsvoll 70 år

Seniorforsker Olav Steinsvoll ved Institutt for energiteknikk på Kjeller, fylte 70 år 12. mars 2001. Steinsvoll ble cand.real. i biofysikk ved Universitetet i Oslo i 1959 og dr.philos. i 1982. Han ble ansatt ved daværende Institutt for Atomenergi i 1959 hvor han spesielt arbeidet med å bygge utstyr for å lage polariserte nøytronstråler for bruk i materialforskning ved nøytronkilden JEEP. Som et resultat av dette arbeidet ble han invitert til et lengre gjesteforskeropphold ved Brookhaven National Laboratory i 1964–66, og har også hatt andre lengre gjesteforskeropphold ved forskningsreaktorene i Dubna i Russland, ved Oak Ridge National Laboratory i USA og ved Brookhaven. Arbeidet med utvikling og oppbygging av nye instrumenter rundt den neste nøytronkilden JEEP-II på Kjeller, tok mye av hans arbeidstid i årene etter 1966, i tillegg til en aktiv forskningsinnsats innen studier av magnetisme, faseoverganger og kritiske fenomener. I de senere år har forskningsinteressen særlig gått i retning av nøytronundersøkelser av glasslignende faste og flytende stoffers indre dynamikk i samarbeid med polske og russiske forskere.

Steinsvoll har vært en av de mest aktive forkjempere i Norge for å popularisere fysikk og fysikkens resultater. Han var redaktør av Fra Fysikkens Verden (FFV) i 1975–80 og har skrevet over ett hundre populærvitenskapelige artikler i FFV, i andre tidsskrifter, aviser og leksika. Å bruke et folkelig,

men faglig og språklig korrekt norsk mål har vært et av kjennetegnene for skrivingen hans. I perioden 1990–92 var han formann i Fagruppen for kondenserte fasers fysikk og kjemi i Norsk Fysisk Selskap.

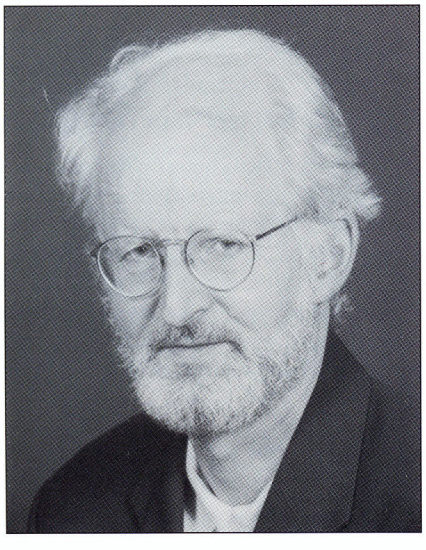
Olav Steinsvoll har hatt vide interesser ut over fysikkens verden og har blant annet vært medlem av Skedsmo kommunestyre i to perioder samt medlem av flere kommunale styrer og råd. Som en ivrig radioamatør har han også et bredt kontaktnett over det meste av kloden, og han finner ofte fram trompeten sin for å forberede seg til den ukentlige musikkøvelsen i Lillestrøm Veterankorps.

Vi ønsker Olav lykke til videre, og håper at vi fortsatt får nyte godt av hans mangesidige kunnskaper og hans ivrige og vennlige hjelpsomhet.

Geir Helgesen
Arne T. Skjeltorp

∞

Nansenprisen til Sjur Refsdal



Professor Sjur Refsdal ble under årsmøtet 2001 i Videnskaps-Akademiet tildelt *Fridtjof Nansens pris for fremragende forskning.* Professor Refsdal har i sin karriere produsert fremragende forskningsresultater på flere felter innen astrofysikk, men hans aller viktigste bidrag har vært innen feltet *gravitasjonslinser.* Hans pionerarbeider publisert for mer enn tredve år siden, representerer det teoretiske fundamentet for et nytt, og efter hvert, meget viktig felt innen astrofysikk.

Fenomenet gravitasjonslinser har vært kjent siden Einstein fremla sin generelle relativitetsteori i 1915, men Refsdal var den første som innså det store potensiale dette fenomenet har som et redskap til å undersøke Universet og en del av dets byggestener. I de fire første arbeidene, som ble publisert i 1964 og 1966, utviklet han teoriene for de viktigste anvendelser av fenomenet. Arbeidene vakte imidlertid ikke stor oppsikt den gang av den enkle grunn at ingen eksempler på slike linser var oppdaget ennå.

I dag er gravitasjonslinser ett av de raskest voksende felter innen astrofysikk. Linseeffekter forårsaket av avbøyning av elektromagnetisk stråling fra et fjernt objekt på grunn av at strålingen passerer gjennom gravitasjonsfeltet fra et nærmereliggende legeme, gir unike muligheter for å studere egenskaper ved både kilden og linseobjektet. Allerede i det første arbeidet i 1964 utvikler Refsdal en metode til å bestemme massen til det linsende objektet, og han konkluderer: *"Due to progress in experimental technique we find, contrary to Einstein, that the effect may be of practical interest."*

I det andre arbeidet samme år viser han hvordan observasjoner av "tidsforsinkelsen" mellom to bilder kan benyttes til å bestemme Universets utvidelse, den såkalte Hubble-parameteren. Dette kalles i dag for *Refsdals metode* og blir hyppig anvendt.

I et senere arbeid demonstreres også Refsdals eksepsjonelle evner til kreativ og original nytenkning. I 1979, forøvrig samme år som den første gravitasjonslinsen ved en tilfeldighet ble oppdaget, publiserte Refsdal sammen med sin doktorgradsstudent K. Chang, et arbeid i *Nature* der de behandler en type linseeffekt som senere fikk sitt eget navn, og som nå er et hurtig voksende underfelt. De viser her at enkeltstjerner i en linsegalakse kan gi opphav til uventet store effekter. Disse såkalte mikrolinseeffekter er i de senere år observert, og Refsdal har selv nylig benyttet disse observasjonene til å sette begrensninger på kvasarers størrelse og mikrolinsenes masse. *Vi gratulerer!*

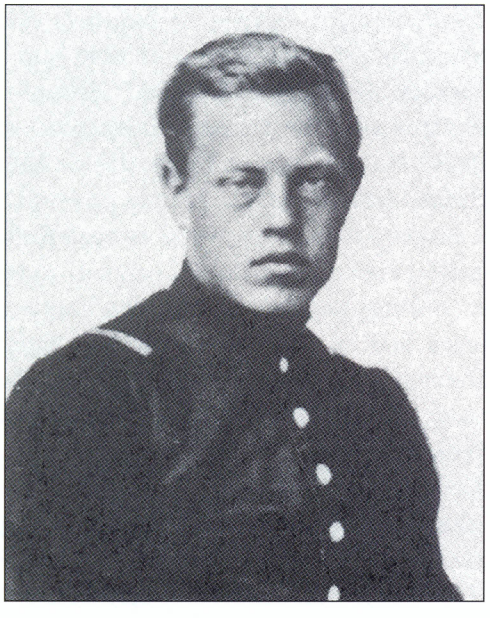
Rolf Stabell

∞

Tankebrytninger i Sophus Lies studiemiljø

Torger Holtsmark *

Et karakteristisk trekk ved Sophus Lies vitenskapelige biografi er hans langsomme oppvåkning til matematisk produktivitet. Dette er fyldig dokumentert i Arild Stubhaugs nylig utkomne biografi[1] samt i et omfattende bakgrunnsmateriale, utgitt av Elin Strøm,[2,3] og vi kan derfor her nøye oss med noen få biografiske holdepunkter som bakgrunn for en nærmere betraktning av studietiden og de impulser den kan ha gitt ham.



Figur 1. Sophus Lie som stud.real. (1859–1865).

Sophus Lie ble født 17. desember 1842 på Nordfjordeid. Han var prestesønn og tilbragte sin barndom på prestegården som faren hadde utviklet til et mønsterbruk, og hvor moren var et aktivt midtpunkt i det sosiale liv som knyttet seg til prestegården. I 1851 overtok faren et kall i Moss, og Sophus opplevde skiftet fra vestlandsk natur til østlandsk småby. Allerede etter 2 år døde moren og familielivet fikk et barskere preg.

Sophus Lie ble innmeldt på Hartvig Nissens reformvennlige latin- og realskole. Blant skolens fremragende lærere var Ludvig Sylow, som merket seg en elev med et lett hode for matematikk, men heller ikke mer. På ettersommeren 1859 ble Lie dimittert til Universitetet for å ta artium som privatist og begynte deretter på "anneneksamen" (artium gjaldt som "førsteeksamen"). Han vaklet mellom klassiske fag og realfag, men gled mot de siste, og etter jul 1860 var kursen lagt. Da begynte han på det egentlige reallærerstudiet som ble avsluttet høsten 1865. Etter avsluttet eksamen gikk han inn i en dyp depresjon, som vi vet lite om, men som ble overvunnet; og i årene fremover livnærte han seg som privatlærer i matematikk for studenter, foruten at han vederlagsfritt holdt populærforelesninger i astronomi i Studentersamfundet. I 1868 lærte Sophus Lie den syntetiske geometri å kjenne, og etter kort tid oppdaget han sin geometriske representasjon av plangeometriens imaginærer, og dermed var han "skutt ut" i sin vitenskapelige bane. I et brev til Picard (1884) sier han selv om dette:

> Mitt liv er egentlig ubegripelig for meg selv. Som ung hadde jeg ingen anelse om at jeg var i besittelse av originalitet. Først som 26-åring visste jeg plutselig at jeg kunne skape. Jeg leste litt og begynte å produsere. I disse årene, 1864–1879, hadde jeg en mengde idéer som jeg i tidens løp bare meget ufullkomment har kunnet utvikle...* (avsnitt merket med * er oversatt fra tysk).

Noe mer nyansert uttaler han seg samme år i et brev til Felix Klein, hvor han understreker at han i sin førvitenskapelige periode var meget opptatt av matematikkens didaktisk–teoretiske grunnlag, men understreker også at han hadde stått alene med sin interesse for geometri:

> I disse årene studerte jeg ikke egentlig på alvor. *At jeg selv skulle drive vitenskap, falt meg aldri inn.* Jeg tenkte i høyden på å forbedre vår pedagogiske matematikk. Det opptok meg meget ... Først mot slutten av 68 begynte jeg for alvor med geometri, hvilket falt meg meget tungt. Med mye strev lærte jeg grunnlaget fra Chasles' Porismata, som jeg tilfeldigvis støtte på. Intet menneske hadde her en idé om geometri.*

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

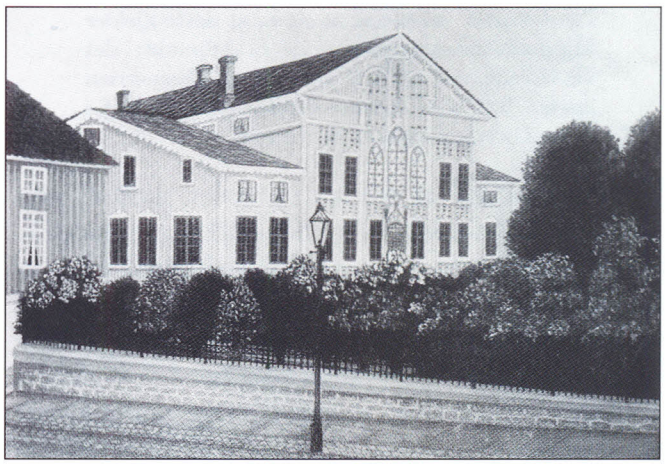
I Lies etterlatte ungdomspapirer finner vi tallrike spor etter interessen for didaktisk–teoretiske problemstillinger. I en søknad til Universitetet om å få holde populærastronomiske forelesninger, taler han om å "fremsætte og arbeide for en Flerhed af Principer vedrørende Elementær Underviisningen i Realfagene i det heletaget."

Søknaden ble avslått, muligens med bakgrunn i professor Fearnleys erfaringer med Lie som assistentvikar på Observatoriet, men forelesningene ble holdt i Studentersamfundet, hvor Lie gjorde seg fordelaktig bemerket ved sin livlige og uortodokse forelesningsform.

Lies interesse for "Elementær Underviisningen i Realfagene" ble utvilsomt stimulert av det studentmiljøet han vanket i, ikke minst "Realisternes og Mineralogernes Forening" (Realistforeningen). Denne var grunnlagt i 1859 og omfattet hele gruppen av ca. 20 realister og bergstuderende. I utgangspunktet ble det lagt opp til et ambisiøst ukentlig foredragsprogram, men ettersom studentene representerte forskjellige grader av studiekompetanse og modenhet, samt høyst forskjellige interesseretninger, kom det snart til rivninger, utmeldelser og oppløsningstendenser. På nyåret 1861 ble det tatt initiativ til å blåse nytt liv i foreningen, og dette falt sammen med at Lie, etter avsluttet anneneksamen, debuterte som medlem og som en av foreningens flittigste møtedeltagere.

I Realistforeningens historie er året 1861 bemerkelsesverdig. Foreningslivet ble faglig og organisatorisk sterkt preget av Sophus Lies bror Fredrik og dennes venn Thorvald Ingolf Broch, som var henholdsvis 9 og 3 år eldre enn Sophus. De var altså viderekomne studenter og dertil habile matematikere. Intensjonen om et ukentlig vitenskapelig foredrag ble nok ikke nådd, og oppmøtet var skiftende, men møtereferatene vitner om et bredt spektrum av foredrag og diskusjoner innen realfag, vitenskapshistorie og kulturpolitiske emner (f.eks. om "de to kulturer").

Broch kom fra enkle kår i Kristiania. Han ble student fra Hartvig Nissen i 1857 og realkandidat i 1863. Fra 1862 til 1864 var han amanuensis ved Universitetets "physiske Cabinet" og vant i 1864 Kongens gullmedalje for sin besvarelse av Universitetets prisoppgave "Om Bøiningers Indflydelse paa Magneter". Som lærer ved bl.a. Aars' og Voss' skole, skaffet han seg allerede i studietiden praktisk-pedagogisk erfaring. Tidlig ekteskap og svak helse kan være grunnen til at denne begavede mann avsto fra kampen om en vitenskapelig karriere. Han virket som overlærer ved *Skiens lærde og Realskole* (se figur 2) fra 1866 til sin tidlige død i 1879. Han har etterlatt seg to lærebøker i aritmetikk, henholdsvis for real- og latingymnaset, en avhandling om begrepet "treghet", samt en del dyptpløyende, til dels polemiske artikler om matematikkens stilling og oppgave i skolen.



Figur 2. Skiens lærde og Realskole i 1865, et års tid før Thorvald Broch ble knyttet til skolen som overlærer. Skolens offisielle navn ble i 1870-årene endret til "Skiens offentlige Skole for den høiere Almendannelse", men på folkemunne ble den i lang tid hetende bare "Latinskolen". Bildet er gjengitt efter et maleri av K. Storm.

Selv om vi forstår hva Sophus Lie sikter til med at han sto alene med sin interesse for geometri i Kristiania, må det også understrekes at studentvennen Thorvald Brochs tanker om aritmetikk og om geometriens fremtid, umulig kan ha gått Lie ubemerket forbi. La oss se litt nærmere på dette.

Aritmetikk og geometri

I essayet *Om vore Lærebøger i Arithmetik*[4] taler Thorvald Broch med glød om matematikken som realskolens dannende hovedfag, men at man for å realisere dette ideal

> maa ... lægge Undervisningen an paa noget Andet end Tilægnelsen af nogle bestemte Sætninger. I langt høiere Grad uddannende og som det egentlige Point ved den mathematiske Undervisning, maa man sætte Erkjendelsen af Mathematikens indre Sammenhæng.

Forutsetningen for å nå et slikt mål mener Broch foreligger for aritmetikkens vedkommende, mens geometrien etter hans oppfatning foreløpig ikke har denne indre enhet:

> Det behøver vel neppe at siges, at dette gjelder Mathematikens nærværende Standpunkt; det vil vistnok vise seg i Fremtiden, at Geometrien ligesaa lidt som Arithmetiken savner Enhed i dette Ords strængeste Betydning.

Vi kan altså gå ut fra at forholdet mellom geometri og aritmetikk som didaktisk grunnlagsproblem ble diskutert blant de realstuderende, eller de mer modne av dem, i Kristiania i 1860-årene. En notis av Sophus Lie fra denne tiden, hvor han sammenligner Euklids geometri og Ole Jacob Brochs lærebok i aritmetikk, er også interessant i denne sammenheng:

> I [O.J.] Brochs Lærebog indføres fra første Stund af Talbegrebet. Der tales om Liniers og Vinklers Maaling og Talrepræsentation. Geometrien hviler herved i sin Helhed paa Talbegrebet ... Nu er at bemærke at Talbegrebet i sin store Almindelighed er et overordentlig subtilt Begreb. Det simple Elementære kommer paa denne Viis til at hvile paa det langt Vanskeligere ... Nu er videre at bemærke at Indførelsen af Talbegrebet i sin fulde Almindelighed er betinget af Kjendskab til Muligheden af incommensurable Størrelser.
>
> Men det er jo just Geometrien som giver dette; herved skal ikke benægtes Muligheden af at arithmetiske Betragtninger selvstændig kunne give gjennem Grændsebetragtning Muligheden af Incommensurabilitet.
>
> Dog er at bemærke at Arithmetik forsaavidt ialfald den gaar ud over den naturlige Talrække formeentlig i sin indre Grund basere sig paa Geometri.
>
> Paa den rette Linie kunde Arithmetikken bygges.
>
> Hos Euclid ganske modsat indføres Talbegrebet (udenfor hele T[al]) aldeles ikke i de sex første Bøger som væsentlig svarer til vore Lærebøger i elementær Geometri. Geometrien viser sig som en Videnskab for sig uafhængig af Arithmetik.[5]

Sophus Lie har kanskje ikke stått fullt så alene om interessen for geometri som brevet til Klein kan gi inntrykk av. Men vi aner også en mulig divergens mellom Thorvald Broch og Sophus Lie i deres bedømmelse av forholdet mellom aritmetikk og geometri. For Lie var geometriens "Enhed" kanskje ikke like fjern som den synes å ha vært for Broch. Men ut fra begivenhetenes gang kan man også spørre seg om Brochs og Lies tankebaner krysset hverandre i interessen for "det imaginære".

Det imaginære

I sin lærebok i aritmetikk, som var beregnet for Realskolen og Krigsskolen, definerer Thorvald Broch "tall" som sammensatt av "størrelse" og "fortegn". Han postulerer tre arter av størrelser: hele, brudne og irrasjonale. Tilsvarende postulerer han tre arter av fortegn: positive, negative og imaginære. Han understreker at forståelsen av imaginære tall må grunnlegges i gymnaset. På universitetsnivå er det etter Brochs mening for sent, for da kan det ikke skje på den grunnleggende, elementære måten som hører hjemme i skolen.

I denne sammenheng er det tankevekkende at Sophus Lies første selvstendige matematiske arbeid, som han lot trykke for egen regning i 1869, og som straks etter, på Ole Jacob Brochs initiativ, ble trykket i Crelles Journal, innførte en geometrisk representasjon av "det imaginære". Komplekset $Z = z + pi$, $X = x + yi$ blir avbildet som et punkt i xyz-rommet, med vekt p, hvor p løper fra $-\infty$ til $+\infty$.[6] Vekten p har ingen fysiske implikasjoner, men gir rommet en anskuelig tilleggsdimensjon, som kan sammenlignes med at man på et terrengkart synliggjør høydefordelingen ved hjelp av kotelinjer. "Vekten" kunne like gjerne vært erstattet med f.eks. en skalert gråtone fra hvitt til sort. Om denne avhandlingen sier Friedrich Engel, som kjente Lies ideer bedre enn de fleste, at Lie i utgangspunktet la vekt på sin imaginærteori som et didaktisk virkemiddel i gymnaset, hvilket Engel understøtter:

> ... dens grunnlag [er] så enkelt og krever så få matematiske forkunnskaper at den har en avgjort pedagogisk verdi og fortjener større utbredelse, helt inn i gymnaset ... For tiden er avhandlingen nesten helt glemt ...*[7]

Medutgiveren av Sophus Lies matematiske verk, Poul Heegaard, uttaler seg på lignende måte.[8]

Det må tilføyes at verken Engel eller Heegaard gir eksempler på hvordan denne ideen skulle kunne realiseres i skolen. For Lie selv betydde oppdagelsen heller ikke at han vendte seg mot skolens matematikk. Han ble ført videre til linje-kule-transformasjonen og alt som fulgte i kjølvannet av den. I dag er Lies første avhandling glemt, og det er få eller ingen som har gjennomskuet de fulle implikasjoner av den. Den setter store krav til geometrisk intuisjon.

Hvorvidt Sophus Lies representasjon av det imaginære kompleks som et vektet punkt i $\Re^3$ er inspirert av Thorvald Brochs idé om det "imaginære fortegn", er ikke godt å si. Men det er en

nærliggende tanke. At Lie selv ikke sier noe om det, kan like gjerne bety at ut fra hans nære omgang med Broch var dennes ideer blitt en selvfølge for ham. Brochs lærebok i aritmetikk er i dag glemt og vanskelig å oppdrive, og dens vitenskapshistoriske stilling er ikke utforsket.

I 1861 er Realistforeningen hjemsted for to hendelser som kan ha hatt betydning for Sophus Lies videre utvikling:

Geometri og differensialligninger

Allerede 7. mars begynte Thorvald Broch en forelesningsserie om *Den geometriske Betydning af Differentialligninger.* Bortsett fra et par knappe bemerkninger i møtereferatene, vet vi ikke hva som ble forelest. I referatet fra 24. oktober heter det:

> Stud.real. Broch fortsatte sit Foredrag fra foregående Semester om den geometriske Betydning af Differentialligninger; han påviste, at den sædvanlige Måde, hvorpå man integrerede enkelte lineære og homogene Differentialligninger, nemlig ved at substituere for en af de variable en Sum, et produkt el. en Qvotient, geometrisk blot bestod i en Flytning el. Transformation af Coordinatsystemet.

Serien strakte seg over 6 forelesninger frem til 21. november da det ble klart at temaet var i ferd med å bli for anstrengende for Brochs medstudenter (og kanskje for ham selv). I møtereferatet heter det:

> Broch forhørte sig om man ønsket at høre hans Foredrag over Differentialligningerne tilende. Han oplyste, at det er vanskelige Sager, der stode tilbage at behandle, og at hvis Medlemmerne ikke havde sat sig godt ind i det allerede foredragne, vilde det blive vanskeligt at følge med Resten. Han yttrede endvidere, at det var længe siden han havde tænkt over Sagerne, og at det vilde koste ham mer Tid end han kunde afse dertil, at sætte sig godt ind deri igjen, at hans Foredrag kunde blive som han ønskede det. Da ingen hertil yttrede noget, blev det antaget at, man fritog Broch for at holde sit Slutningsforedrag.

I følge referatene har Lie vært til stede ved minst 5 av Brochs 6 forelesninger, som synes å peke mot hans eget livstema.

Dynamisk arbeid og levende kraft

Høsten 1860 hadde "stud.real. [Axel] Guldberg holdt et Foredrag hvori han ved et Par Exempler viste Anvendelsen af Princípet for de virtuelle Hastigheder", og 4. april 1861 førte han som formann sitt tema videre:

> Det averterede Discutionsthema "Om Begrebet Arbeide" blev først behandlet efter et indledende Foredrag af Formanden, hvori han beviste Formelen
>
> $$\int_0^l K ds = \frac{1}{2} M v^2$$
>
> Resultatet af Discutionen blev, at naar et Legeme hviler paa et Underlag, saa udføres intet Arbeide, idet Tyngdens bevægende og Underlagets modstaaende Arbeide hæve hinanden, og at en og samme Kraft, ved at virke i samme Tidsrum vil udføre et større Arbeide, jo mindre Masse den virker paa.

Foredraget utløste en heftig diskusjon om begrepene "dynamisk arbeid", "levende kraft", "D'Alemberts prinsipp" etc. i tilknytning til støt "mellem to Kugler". Debatten blusset opp igjen på ytterligere 5 møter med deltagelse av 7–11 medlemmer av en gruppe bestående av Thorvald Broch, Carl Anton Berner, Jacob Aal Bonnevie, Finn Clausen, Peter H.A. Fougner, Hans Geelmuyden, Axel Guldberg, Cato M. Guldberg (som imidlertid tidlig forlot Kristiania for videregående studier i Tyskland og Frankrike), Salve A. Haugland, Carl W.L. Horn, Fredrik Lie, Sophus Lie, Peter C. Nielsen, Christen de Seue og Martinius Sundby.

Det dreier seg her om personligheter som i større eller mindre grad, og hver på sin måte, satte sitt preg på norsk vitenskap, undervisningsvesen og samfunnsutvikling i tiårene fremover.[9]

Ut fra møtereferatene er det ikke godt å si eksakt hva som ble diskutert, ikke minst fordi diskusjonene lider under en iøynefallende usikkerhet med hensyn til kraftbegrepet og forholdet mellom naturlov og materiemodell. Det er her støtets teori blir aktuell. Er støtet en øyeblikkelig eller en kontinuerlig hendelse? Fra en del av de diskuterende ble det fremholdt at i første tilfelle får vi å gjøre med to innbyrdes uavhengige mekaniske vitenskaper.

Denne usikkerheten var anlagt i Ole Jacob Brochs lærebok i mekanikk,[10] som var studentenes felles referansebakgrunn. Innledningsvis blir der "kraft" gitt en slags metafysisk status som *årsak* til bevegelsesforandring.:

> §1. Den årsak som setter et punkt i bevegelse, kaller man en kraft. Eksempler på krefter er: muskelkraft, jordens tiltrekningskraft, ... adhesjonskraft, varme som årsak til legemers utvidelse og fordampning, magnetisme osv.*

For en våken student melder seg da spørsmålet om kraftens *virkning* (bevegelsesendringen), og en stor del av diskusjonen dreide seg derfor om dette. "Årsak" kan nå en gang ikke tenkes løsrevet fra "virkning", og slik sett handler Brochs lærebok i sin helhet om legemers virkning på hverandre. Fordi Broch ikke ekspliserer dette, kommer han i den eiendommelige situasjon at han må begrunne at bevegelsesendring tar tid, noe han gjør ved hjelp av en materiemodell.

> §2. Når en kraft virker på et punkt på et fast legemes overflate, øver den et trykk på overflaten som streber etter å drive de nærmest liggende molekyler mot dem som ligger nærmest dem, og disse igjen mot dem som ligger nærmest *dem* osv... Denne indre meddelelse krever en viss tid for å bli utført, og det er derfor umulig at et vilkårlig legeme skulle kunne meddeles en øyeblikkelig hastighetsforandring ...*

I tillegg blir det postulert at for at kraften skal kunne utøve sin virkning, maa den overvinne legemets motstand mot denne virkning.

> §4. Et legeme kan ikke komme i bevegelse, og heller ikke forandre den foreliggende bevegelse, verken i retning eller størrelse hvis ikke en eller flere krefter virker på det.
>
> Dette kalles *loven om treghet.*
>
> Den motstand som legemets treghet øver mot enhver forandring av den tilstand det befinner seg i, må være motsatt av legemets bevegelse når denne er akselerende, men begunstige den når den er retarderende.*

Påstanden om materiens iboende "motstand" mot bevegelsesforandring var tydeligvis den gang, som i dag, en utbredt talemåte.

På den bakgrunn må vi forstå diskusjonene om bl.a. hvordan "levende kraft" kan gå "tapt" under et (uelastisk) støt. To oppfatninger sto mot hverandre. Den ene ville forklare "tapet" ved at støtet frembringer "svingninger" i kulenes molekylære materie. Innvendingen var at man ikke hadde til rådighet noen som helst konkrete forestillinger om en slik materiestruktur. Andre, ikke minst Thorvald Broch, ville utlede støtprosessen av dynamikkens alminnelige bevegelseslover.

Sophus Lie, som nybakt student, har ikke satt spor etter seg i referatene, verken som debattant eller som foreleser. Men nesten tre år senere, våren 1864, holder han et foredrag om *"Støtheoriens Elementer"*. Bare hans egne stikkord er bevart, men av dem fremgår at han ikke uten polemisk brodd erklærer at betegnelser som *"levende Kraft"* og *"Tab af levende Kraft"* har bidratt til oppfatningen av *"Støtphænomenerne som noget Enestaaende"*. Han ironiserer over lærebokens *rastløse Bestræbelser ... for at gjenfinde det Forsvundne i alskens molecylære Svingninger, Vandhvirvler etc. Saadanne Ting foregaaer vistnok i Realiteten, men for den rationelle Mechaniks Opfatning er de fremmede.*

Kraft og treghet

Et umiddelbart resultat av diskusjonene om støtets teori var en liten avhandling av Thorvald Broch om begrepet "treghet".[11] Det er ikke mulig, innenfor rammen av denne artikkel, å drøfte de fulle implikasjoner av Brochs ideer. Vi må nøye oss med utgangspunktet. Broch hadde innsett at materiens "motstand" mot å bli satt i bevegelse slett ikke finnes. "Materie" har det grunnleggende kjennetegn at den lar seg sette i bevegelse, den er *bevegbar* under påvirkning av kraft. Materiens såkalte "motstand" mot bevegelsesendring refererer seg til vår muskelfølelse og vår alminnelige erfaring av at vi ved hjelp av muskelkraften kan bevege et legeme. Men det finnes ingen nedre grense for hvor stor kraften må være. Bevegelsesendringen står i et bestemt tallmessig forhold til størrelsen av den virkende kraft. Thorvald Broch endrer derfor Ole Jacob Brochs postulat derhen at materien er *mottagelig* for påvirkning av kraft.

> Man definerer i Almindelighed Træghed ved at sige, at *"det er den Egenskab ved Materien at der skal en vis Kraft til for at forandre et Legemes Bevægelsestilstand"*, og denne Definition er da ganske rigtig, men jeg troer dog den er lidt utydelig. Jeg vilde heller sige, at *"et Legemes Træghed er den Egenskab ved Materien, at en Kraft kan forandre et Legemes Bevægelsestilstand"*. Vægten ligger nemlig hovedsagelig ikke paa, at Legemet selv ikke kan forandre sin Bevægelsestilstand, men paa, at Legemet er modtageligt for Paavirkning av Kræfter. Man veed jo overhovedet ikke, hvad en Kraft er; man veed kun, at en Aarsag sætter Legemerne i Bevægelse, og denne Aarsag er da Kraften, og at denne Aarsag maa kunne virke paa Legemet, eller at Legemet er modtageligt for Kraftens Paavirkning, hvilket sidste man kalder Træghed. Man ser efter min Definition, at Begreberne Kraft og Træghed forudsætte hinanden; thi en Kraft existerer kun idet den virker; men den kan ikke virke, uden at Legemerne ere modtagelige for dens Virkning; altsaa træge. Saaledes vilde det være højst besynderligt at sige at Tyngdekraften existerede, naar ingen Legemer vare tunge. Og paa den anden Side, Træghed forudsætter Kraft, thi Træghe-

> den er netop den Egenskab hos et Legeme, at Kraften kan virke derpaa; dersom man siger, at det er trægt, saa siger man altsaa, at Kraften kan virke derpaa, man forudsætter altsaa Begrebet Kraft.

Thorvald Broch innser at begrepene "kraft" og "treghet" forutsetter hverandre, og han taler i den forbindelse om kraftens og treghetens "dialektikk". Dermed stiller han seg med en fot i et førgalileisk verdensbilde. Ideen om det dialektiske forhold mellom påvirkning og påvirkbarhet, mellom *actio* og *passio*, stammer fra antikken (Aristoteles) og ble i skolastikken utformet som et universelt prinsipp. I Newtons dynamikk, slik den vanligvis presenteres som "Newtons lover", er det dialektiske forhold mellom *actio* og *passio* redusert til polariteten *actio* = *reactio*. Om denne sier Broch lakonisk at den er riktig nok, men "lidt utydelig".

Med sin implisitte henvisning til det dialektiske begrepsparet actio/passio åpner Broch for et spørsmål som vanligvis blir oversett ved konstruksjonen av kosmologiske verdensmodeller: Hvordan gikk det til at det oppsto bevegbar materie? Vanligvis opptrer materiens bevegbarhet som et uuttalt aksiom *ad hoc*.

"Dialektikk" er et begrep som ikke minst assosieres med Hegel. Det er derfor tankevekkende at Thorvald Broch ble dimittert fra Hartvig Nissens skole, hvor "hegelianeren" Marcus Jacob Monrad, var lærer. Hvis vi forestiller oss den begavede gymnasisten Thorvald Broch i ivrig diskusjon med sin lærer, aner vi en mulig rot til ideen om "kraftens dialektikk". Mot en slik bakgrunn blir det forståelig at Thorvald Broch i Realistforeningens diskusjoner holdt på at støtet primært må forklares ut fra dynamikkens universelle lover, ikke ut fra en materiemodell.

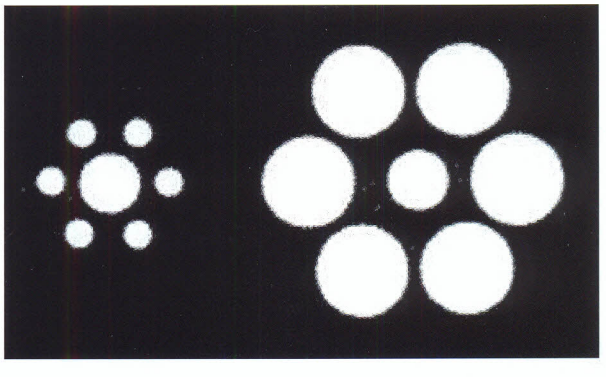
Referanser

1. Arild Stubhaug: *Det var mine tankers djervhet. Matematikeren Sophus Lie.* Aschehoug, Oslo (2000)
2. Elin Strøm: *Sophus Lie, Studenten, 1859–1865.* Vitenskapshistorisk skriftserie 1, Universitetet i Oslo (1997)
3. Elin Strøm: *Sophus Lie, Kandidaten, 1866–1869.* Vitenskapshistorisk skriftserie 2, Universitetet i Oslo (1997)
4. Thorvald Broch: *Om vaare Lærebøger i Arithmetikk.* Inbydelsesskrift Aars's og Voss's Skole, Kristiania (1864)
5. Upublisert materiale fra UBs håndskriftsamling, transkribert av Bent Birkeland.
6. Sophus Lie: *Über eine Darstellung des Imaginären in der Geometrie.* Crelles Journ. **70**, 346–353 (1869)
7. Sophus Lie: *Gesamte Abhandlungen, I.* s. 536, Aschehoug, Oslo (1934)
8. Poul Heegaard: *La représentation des points imaginaires de Sophus Lie et sa valeur didactique.* International Congress of Mathematicians, Bologna 1928, III, p. 421–423.
9. Deres biografier og foredrag i Realistforeningen finnes på: *http://www.fys.uio.no/~torgerho*
10. Ole Jacob Broch: *Lehrbuch der Mechanik.* Berlin, Christiania (1854)
11. Thorvald Broch (Stud.real.): *Om Begrebet Træghed.* Math. Tidsskrift, København (1861)

∞

HUSK Å MELDE ADRESSEFORANDRING

Is the left center circle bigger?



No, they're both the same size!

Einsteins lyskvanter

Reidun Renstrøm *

Grunnlaget for kvanteteoriens utvikling ble lagt ved Max Plancks strålingsteori. Dette er beskrevet i forrige nummer av Fra Fysikkens Verden. Det ble etter hvert mange avgjørende bidrag til fortsettelsen av denne spennende og revolusjonerende utviklingen, og ett av de aller viktigste var Albert Einsteins. Her fortsetter historien.

I mars 1905 fikk Conrad Habicht et brev fra sin tidligere studiekamerat, Albert Einstein, som bad om en kopi av Habichts avhandling. Einstein skrev at han selv arbeidet med fire avhandlinger, som Habicht ville få tilsendt, *... den første kan jeg sende så snart jeg har en kopi. Den handler om stråling og lysenergier og er svært revolusjonerende, som du jo vil få se, dersom jeg får ditt arbeid først.* Om relativitetsteorien skrev han: *Den kinematiske delen vil du sikkert finne interessant.*

Avhandlingen Habicht fikk i posten noen dager senere hadde tittelen: *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt,*[1] og var i sannhet revolusjonerende. Allerede på første side sannsynliggjøres det at Maxwells elektromagnetiske teori har et begrenset gyldighetsområde: *Lysets bølgeteori, som bygger på kontinuerlige, tredimensjonale funksjoner, egner seg fortreffelig til forklaring av rent optiske fenomener, og denne bølgeteori vil antakelig aldri bli erstattet av andre teorier. Tross den fullstendige eksperimentelle bekreftelse av teorien for lysets bøyning, refleksjon, brytning osv. så er det tenkelig at en teori for lyset som bygger på kontinuerlige, tredimensjonale funksjoner, vil føre til motstrid med erfaringen, hvis den anvendes på fenomener hvor lys dannes og omdannes.*

Fenomenene Einstein tenker på er sortlegemestråling, fotoluminescens og fotoelektrisk effekt, som *lettere kan forstås dersom man antar at lysets energi er diskontinuerlig fordelt i rommet.* Ifølge denne antakelsen fordeles ikke energien fra en lyskilde kontinuerlig over et stadig større område, men består av et endelig antall energikvanter som er lokalisert i punkter i rommet og som beveger seg uten å deles, og absorberes og emitteres hele.

Lyskvantenes mottakelse

Det var en alminnelig oppfatning blant ledende fysikere at partikkelmodellen for lys lå død og begravet under et vell av eksperimentell bekreftelse av lysets bølgeegenskaper. Romlig lokaliserte kvanter som utbres og absorberes hele, var uforenelig med bølgebeskrivelsen av optiske fenomener gitt ved Maxwells teori, og måtte derfor forkastes. Hvordan i all verden kunne lyskvanter frembringe interferens? Kritikken mot Einsteins hypotese var hard og til tider hånlig.

Plancks energikvanter hadde skapt noe forvirring og skuldertrekk, men hans strålingslov ble anerkjent og anvendt med det samme. Einsteins lyskvanter skapte forargelse og ble forkastet, og loven for fotoelektrisk effekt hadde ingen eksperimentelle data å testes mot. Vi lar en kommentar fra fire lyskvantmotstandere, Planck, Nernst, Rubens og Warburg, representere holdningen til Einsteins hypotese. I et innvalgsforslag til det Prøyssiske Vitenskapsakademi i 1913, uttrykte de stor respekt for Einsteins arbeider, men konkluderte med: *... man kan si at det blant de store problemer som den moderne fysikk er så rik på, knapt er ett eneste som Einstein ikke har tatt stilling til. At han av og til har bommet i sine spekulasjoner, som for eksempel i hypotesen om lyskvanter, kan en egentlig ikke holde imot ham, for det er selv i de mest eksakte vitenskaper ikke mulig å introdusere nye ideer uten en gang i blant å løpe en risiko.*

Einstein og Planck i 1905

Lyskvantene ble ikke utledet som en konsekvens av Plancks strålingslov, der energielementene inngår. Einstein nevner ikke konstanten h eller Plancks energielementer i 1905-artikkelen, og Plancks strålingslov inngår ikke i hans argumenter for

*Høgskolen i Agder

lyskvanter. Einstein trodde at grunnlaget for Plancks teori var uforenelig med lyskvanthypotesen, og det er først året etter at han etablerte en forbindelse mellom lyskvanter og energikvantiseringen av Plancks resonatorer. Ofte blir lyskvantene fremstilt som et resultat av at Einstein modig trakk konsekvensen av energikvantisering av materie på strålingen. Men slik var det ikke.

Her gis en oversikt over tankegangen som ledet Einstein til et revolusjonerende syn på lysets natur og hans senere forsvarstaler for lyskvantenes eksistens i 1906, 1909 og 1916.

Lyskvanthypotesen og det heuristiske synspunkt

Einstein innleder sin 1905-artikkel med å fremheve motsetningen mellom grunnlaget for fysikkens teorier for partikler og elektromagnetiske prosesser. Tilstanden til et system av partikler bestemmes ved de enkelte partiklenes fart og posisjon, mens alle elektromagnetiske fenomener bestemmes ved et sett av kontinuerlige funksjoner. Denne motsetningen var ikke uproblematisk for Einstein, og han stilte spørsmål ved om oppdelingen var i overensstemmelse med naturen.

Både Wien og Planck utledet sine strålingslover ut fra en modell av strålingsfeltet og materien, og testet resultatet mot eksperimentelle data. Einsteins metode var motsatt. Han innså at Wiens lov, som stemte i det høyfrekvente området, var uforenelig med klassisk statistisk mekanikk. Det var derfor rimelig å anta at Wiens lov kunne belyse strålingens ikke-klassiske egenskaper. Planck innførte energikvanter for å få en lov i overensstemmelse med spekteret i det lavfrekvente området, der Wiens lov ikke var korrekt. Grafens maksimum og den eksponentielle formen i det høyfrekvente området, var jo i overensstemmelse med Wiens lov og trengte ingen ny forklaring. Einstein innså at det nettopp var dette forholdet som trengte en forklaring, for i det lavfrekvente området stemte den klassiske strålingsloven, som beskriver verden uten kvanter. I det høyfrekvente området derimot, forutsa klassisk teori at strålingsenergien vokser mot uendelig. Denne konsekvensen gav Paul Ehrenfest navnet *ultrafiolett-katastrofen* i 1906. Det var Rayleigh som i 1900 utledet en strålingslov fra klassisk fysikk uten å innse at klassisk statistisk mekanikk og Maxwells teori uunngåelig ledet til dette katastrofale resultatet. Denne konsekvensen slo Einstein fast i 1905, men lærebøkene fremstiller den ofte som Plancks motivasjon for å kvantisere energien i 1900.

Sannsynlighet og entropi

Ut fra klassisk termodynamikk og Wiens lov, utledet Einstein et uttrykk for strålingens entropi som funksjon av volumet strålingen okkuperer. Den fysiske betydningen av entropi kommer alltid tydeligere frem når en beregner entropiforandringen assosiert med en prosess. Einstein valgte å utlede uttrykket for entropiforandringen når volumet endres fra v_0 til v, for stråling med energi E og frekvens ν:

$$S - S_0 = \frac{E}{\beta\nu} \ln \frac{v}{v_0},$$

der β er en av konstantene i Wiens lov.

Denne formelen har en slående likhet med formelen for entropiforandringen for en ideell gass. For n partikler som beveger seg uavhengig av hverandre i et volum v_0 med entropi S_0, er den relative sannsynligheten W for at gassen skal befinne seg i et delvolum v med entropi S, ifølge Boltzmanns prinsipp:

$$S - S_0 = \frac{R}{N} \ln W,$$

der R er gasskonstanten og N er Avogadros tall.

Denne formelle analogien utforsket Einstein videre, og han lot seg lede av den fysiske betydningen av Boltzmanns prinsipp, og spør: Hva er sannsynligheten for at alle partiklene på et bestemt tidspunkt er i et delvolum v ? Han finner at den er gitt ved:

$$W = \left(\frac{v}{v_0}\right)^n,$$

som gir:

$$S - S_0 = \frac{Rn}{N} \ln(\frac{v}{v_0}).$$

Formelen for entropiforandringen for stråling og for en gass med n partikler, gir samme resultat hvis :

$$\frac{Rn}{N} = \frac{E}{\beta\nu},$$

som gir:

$$n = \frac{N}{R}\frac{E}{\beta\nu},$$

og sannsynligheten for å finne all stråling med energi E og frekvens ν i delvolumet v, er:

$$W = (\frac{v}{v_0})^{\frac{NE}{R\beta\nu}}.$$

Fra dette uttrykket konkluderte Einstein: *Monokromatisk stråling med liten tetthet (i gyldighetsområdet for Wiens formel) oppfører seg fra et termodynamisk synspunkt som om den besto av uavhengige energikvanter av størrelse $R\beta\nu/N$* ($h = R\beta/N$, og lyskvantenes energi er $h\nu$, men Einstein benyttet ikke virkningskvantet).

Dette utsagnet kunne man velge å betrakte som en interessant analogi mellom fri høyfrekvent stråling og en ideell gass, uten dermed å ta lyskvantene seriøst. Men Einstein gikk videre med et revolusjonerende, heuristisk synspunkt: *Når oppførselen av strålingen til en viss grad kan sammenliknes med en diskret mengde energikvanter, må da ikke lovene for emisjon, absorpsjon og spredning av lys også avspeile den egenskapen?*

Einstein anvendte dette synspunktet til å forklare et fenomen vi kaller fotoelektrisk effekt: Når lys treffer et metall, kan metallet sende ut elektroner. Han antok at et elektron i metallet absorberte et lyskvant med energi $h\nu$. En del av denne energien, P, går med til å frigjøre elektronet fra metallet, mens den resterende energien blir elektronets kinetiske energi:

$$h\nu - P = \frac{1}{2}mv^2.$$

Med dette synspunktet kunne lyskvanter ikke lenger betraktes som en merkelig egenskap ved ren stråling i termisk likevekt uten fysiske konsekvenser. Einstein selv tok lyskvantene seriøst og ville innlemme dem i det teoretiske grunnlaget for lovene for stoffers absorpsjon og emisjon av lys. Datidens fysikere måtte ta stilling til denne hypotesen, og de kom til at den var noe sludder. Men i 1922 ble Einstein belønnet med nobelprisen nettopp for anvendelsen av sin hypotese på fotoelektrisk effekt.

La oss se hvordan Einstein forsvarte sitt heuristiske synspunkt de neste årene.

1906: Plancks strålingslov forutsetter lyskvanter

Allerede året etter, i 1906, utgav Einstein en ny artikkel om lyskvanter.[2] Nå har han endret sitt syn på Plancks strålingslov, og viser at Plancks teori indirekte forutsetter at lysenergien er kvantisert, for i det Wienske (høyfrekvente) området er en resonators middelenergi mye mindre enn ett lyskvant, $h\nu$. Det betyr at siden ingen resonator kan ha energi mellom 0 og $h\nu$, så har de fleste energien 0, mens noen få har energi på ett eller flere kvanter. Hvis strålingen hadde vært kontinuerlig fordelt i rommet, var det rimelig å anta at alle resonatorene var blitt påvirket. Men slik er det ikke, og lys må derfor være kvantisert, eller med Einsteins ord: *Overstående overveielser gjendriver etter min mening absolutt ikke Plancks strålingslov; de forekommer meg snarere å vise at Hr. Planck gjennom sin strålingsteori, har innført et nytt hypotetisk element – lyskvanthypotesen – i fysikken.*

1909: Lyskvanter begrunner energifluktuasjon

I 1909 publiserte Einstein to artikler der han argumenterte for sine lyskvanter. Den ene ble presentert på en kongress for tyske vitenskapsmenn og leger i Saltzburg i 1909.[3] Einsteins ord til forsamlingen var: *Det er udiskutabelt at det finnes en omfattende gruppe av kjensgjerninger vedrørende stråling som viser at lys besitter visse fundamentale egenskaper som langt snarere lar seg begripe ut fra Newtons emisjonsteori for lyset enn fra bølgeteoriens standpunkt. Det er derfor min antakelse at den neste fase i den teoretiske fysikkens utvikling vil bringe oss en lysteori som kan oppfattes som en slags sammensmeltning av bølge- og partikkelteori... bølgestruktur og partikkelstruktur skal ikke betraktes som gjensidig uforenelige.*

Einstein gjorde det klart at strålingens kvantestruktur er virkelig og måtte bli en del av den fremtidige kvanteteorien. Det skulle gå mange år før fysikken hadde en teori som forente bølgestruktur og kvantestruktur, paradoksalt nok på en måte Einstein ikke kunne akseptere.

Einsteins argument for lyskvantenes eksistens i 1909, var hulromsstrålingens energifluktuasjon. Han utledet et utrykk for energifluktuasjon ut fra Plancks strålingslov. Klassisk fysikk forklarer energifluktuasjon som et resultat av interferens. Men uttrykket Einstein utledet har to ledd, og interferens kan gi opphav til kun det ene; det andre kan forklares ut fra et partikkelbilde av lyset. Det så ut som om "partikkelleddet" dominerte i det høyfrekvente området, mens "interferensleddet" dominerte i det lavfrekvente området, der klassisk fysikk gjelder. Einsteins ordvalg i denne artikkelen tyder på at han nå oppfatter lyskvantene som partikler. Han var i 1909 alene om å se behovet for en teori som forente partikkel–bølgeaspektene ved lyset. Denne situasjonen fikk uten tvil betydning

for Einstein og Bohrs ulike oppfatninger av kvantemekanikken slik den forelå i 1925.

Millikan og "den fotoelektriske likning"

I 1915 verifiserte Millikan likningen for fotoelektrisk effekt. Likevel kommenterte han sitt resultat på følgende måte: *Einsteins fotoelektriske likning forutsier tilsynelatende i hvert enkelt tilfelle nøyaktig de observerte resultater. Men for undertegnende forekommer den semikorpuskulære teori, som er grunnlaget for Einsteins likning, helt uholdbar.*[4]

1916: Einstein utleder Plancks strålingslov, Bohrs frekvenslov og lyskvantenes impuls

I november 1916 skrev Einstein til sin venn Michele Besso: *Et stort lys har gått opp for meg angående emisjon og absorpsjon av stråling.* En dypere forståelse av betydningen av det heuristiske prinsipp (1905) gjorde det mulig for Einstein å utlede Plancks strålingslov kvanteteoretisk. Allerede i 1906 påpekte Einstein at Plancks utledning av strålingsloven inneholdt en fundamental selvmotsigelse: Planck kvantiserte resonatorenes energi for å få det ønskede utrykket for entropien, mens han lot dem opptre klassisk i utledningen av sammenhengen mellom spektraltettheten og resonatorenergien.

I 1916–17 utledet Einstein Plancks strålingslov ved å betrakte kvantiserte "bohr-atomer" i vekselvirkning med stråling. Avhandlingen fra 1917 het: *Zur Quantetheorie der Strahlung.*[5] Einstein tenkte seg hulromsstrålingen i likevekt med et atomært system. Han skilte mellom spontan emisjon og indusert emisjon og absorpsjon, slik det er i klassisk elektrodynamikk. Sannsynligheten for induserte overganger mellom to stasjonære tilstander, E_m og E_n, i atomet, er proporsjonal med spektraltettheten. I likevekt må antall kvantesprang fra tilstand m til tilstand n, balanseres av kvantesprang fra n til m. Dette kravet og Wiens forskyvninglov, ledet Einstein til et uttrykk for spektraltettheten som var i samsvar med Plancks lov dersom han satte $E_m - E_n = h\nu$.

Bohr var begeistret for Einsteins brobygging mellom sortlegeme-stråling og atomteori. Einsteins bruk av analogi mellom klassisk fysikk og kvanteteori fikk stor betydning for Bohrs formulering av korrespondanseprinsippet, som var avgjørende for utviklingen av atomteorien før man nådde frem til bølgemekanikken.

Einstein oppfattet sin analyse av impulsfluktuasjoner for atomer i termisk likevekt med stråling, som det viktigste bidraget til en kvanteteoretisk beskrivelse av strålingsprosessene. Denne analysen ble presentert i 1916–17-avhandlingene. Det er underlig at Einstein, relativitetsteoriens far, ikke gav lyskvantene både energi, $h\nu$, og impuls, $h\nu/c$, da han presenterte dem i 1905. En nærliggende forklaring er at lyskvantene dukket opp som et resultat av anvendelse av statistisk mekanikk på likevekt, hvor relasjoner mellom energi og andre størrelser utledes. Når derimot statistiske fluktuasjoner rundt likevektstilstanden analyseres, er både energi og impuls vesentlige, og lyskvantene måtte assosieres med bestemte impulser. Resultatet av hans analyse var at termisk likevekt mellom stråling og molekyler krever at strålingen er fullstendig rettet og at det derfor overføres impulser til molekylet. *Dersom molekylet avgir energien $h\nu$ ved å sende ut stråling uten påvirkning av ytre stråling, så er også denne prosessen rettet. Utgående stråling i form av sfæriske bølger eksisterer ikke. I løpet av en elementær utstrålingsprosess vil molekylet motta en impuls $h\nu/c$, og retningen vil være tilfeldig.*

Hvis det hos Einstein fantes en rest av tvil om lyskvantenes eksistens, sørget impulsteorien for at den forsvant, men noe skritt i retning av *sammensmeltning av bølge- og partikkelteori* var denne teorien ikke. Det bekymret Einstein at teorien om en rettet strålingsprosess krenket klassisk kausalitet, for den kunne ikke forutsi tidspunktet for når et eksitert atom ville sende ut et lyskvant, og heller ikke kvantets bevegelsesretning. I klassisk fysikk er man i stand til å forutsi et isolert systems oppførsel til et hvilket som helst tidspunkt hvis tilstanden ved et tidligere tidspunkt er kjent. Til sin venn Besso skrev Einstein: *Jeg føler at vi ikke har avslørt det virkelige spillet den evige skaper av mysterier har presentert for oss.* De fleste fysikerne oppfattet bølgemekanikken som forklaringen, men Einstein trodde ikke bølgemekanikken var den endelige *sammensmeltningen av partikler og bølger.* Han lette etter alternativer resten av sitt liv.

Planck og Bohr mot lyskvantene

Heller ikke Einsteins artikler i 1916–17 fikk datidens ledende fysikere til å konvertere til lyskvantteorien.

Prisen for å akseptere lyskvanter synes å være Maxwells teori for bølgeutbredelse av elektromagnetiske felter, en altfor høy pris. Det var en alminnelig oppfatning at kvanter gjorde seg gjeldende i vekselvirkningen mellom lys og stoff, men ikke i selve strålingen. Blant de mest utholdende motstanderne mot lyskvanter var Planck og Bohr.

I 1907 skrev Planck til Einstein: *Jeg leter ikke etter betydningen av energikvantet i vakuum, men snarere på steder der det forekommer emisjon og absorpsjon, og jeg formoder at det som skjer i vakuum er eksakt beskrevet av Maxwells likninger.* På et møte for fysikere i 1909, kom Planck med en bemerkning som tydelig viser hans ønske om å la strålingen være i fred og heller søke etter løsningen av kvanteparadoksene i vekselvirkningen: *Jeg tror man burde flytte problemene med kvanteteorien til vekselvirkningen mellom materie og stråling.*

Planck begrenset sin kvantehypotese til resonatorene, som representerte materien strålingen vekselvirket med. I 1900 kvantiserte han energien til resonatorene for å kunne telle antall kompleksjoner. Senere, oppsto spørsmålet om hvordan en resonators energi endres når energi absorberes og emitteres. I et foredrag i Det Tyske Fysiske Selskap den 3. februar 1911, svarte han på dette spørsmålet ved å tillate materien (hans resonatorer) å absorbere energi kontinuerlig, mens den fortsatt bare kunne emittere energi i kvanter.

I 1920 holdt Niels Bohr et foredrag i Berlin, og Einstein var en av tilhørerne som hørte ham si: *Jeg skal ikke komme inn på de velkjente vanskeligheter som hypotesen om lyskvanter fører til... Fremfor alt skal jeg ikke komme inn på problemet om strålingens natur.*

Bohr var ikke rede til å akseptere lysets partikkelnatur, tvert imot lette han etter måter å unngå lyskvantene på. Bohr innså at dersom energi- og impulsbevaring gjaldt uinnskrenket i individuelle prosesser på mikroskopisk nivå, var lyskvanter uunngåelige. Ved å gi slipp på kravet om energibevaring ved emisjon og absorpsjon av stråling, kunne atomenes energi endres diskontinuerlig, mens lysets energi fortsatt ble endret kontinuerlig på klassisk vis. Nå er det viktig å merke seg at loven om energibevaring på det individuelle mikroskopiske nivå, f.eks. ved kollisjoner mellom elektroner og atomer, først ble eksperimentelt bekreftet i 1925.

I 1923 endret situasjonen seg drastisk. Arthur Compton observerte da at når lys spres av elektroner, endres frekvensen som om lyset består av lyskvanter. Energi og impuls blir bevart, som om det var kollisjoner mellom partikler. Den eksperimentelle bekreftelsen på at lyskvanter har energi og impuls, overbeviste samtidens fysikere. Men Einstein, som ikke hadde tvilt på lyskvanter, var ikke mer fornøyd med kvanteteorien for lys nå enn i 1917, for selv etter mange års bestrebelser hadde man fortsatt to teorier for lys, som ikke har noen logisk sammenheng. En ny teori som harmoniserte partikkel- og bølgeaspektet var ikke utviklet, og ble det heller aldri.

Niels Bohr ble ikke overbevist av Comptons resultat som viste energi- og impulsbevaring i gjennomsnitt over mange individuelle prosesser, noe som ikke stred mot Bohrs "statistiske" synspunkt. Bohr utførte et arbeid sammen med John Slater og Hendrik Kramers, et siste desperat forsøk på å finne en enkel beskrivelse av strålingsfenomenene ved å gi slipp på både kausalitet og energibevarelse.[6] Om Bohr og hans kollegers bestrebelser, sa Einstein til Born: *Hvis fysikken må oppgi kausalitet, vil jeg heller være skomaker, eller til og med ansatt på en spillebule, enn fysiker.*

I 1925 lyktes det eksperimentalfysikerne A.H. Compton og A.W. Simon[7] å kontrollere energi- og impulsbevaring i individuelle prosesser, og alt viste seg i være i skjønneste orden! Bohrs reaksjon på resultatet var: *Det er ikke annet å gjøre enn å gi våre revolusjonære bestrebelser en så ærefull begravelse som mulig.*

I 1926 fikk lyskvantene navnet *fotoner* av Gilbert Lewis, som hadde valgt å gi sin avhandling tittelen: *The Conservation of Photons.* Han foreslo i denne avhandlingen å kalle den nye typen "atomer" – som lyset skal består av – for fotoner. Navnet ble nesten umiddelbart tatt i bruk, og i 1927 var emnet for den femte Solvay-konferansen: *Elektroner og fotoner.*

Takk

Takk til Kristoffer Gjøtterud og Ole Knudsen for verdifulle råd og konstruktiv kritikk.

Referanser

1. A. Einstein: *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt.* Annalen der Physik **17**, (1905)
2. A. Einstein: *Zur Theorie der Lichterzeugung und Lichtabsorption.* Annalen der Physik **20**, (1906)
3. A. Einstein: Phys. Zeitschr. **10**, 817 (1909)
4. R.A. Millikan: Phys. Rev. **7**, 355 (1916)

5. A. Einstein: *Zur Quantetheorie der Strahlung.* Phys. Zeitschr. **18**, 121 (1917)
6. N. Bohr, H.A. Kramers and J.C. Slater: *The quantum theory of radiation.* Phil. Mag. **47**, 785 (1924)

Generelle kilder

1. A. Pais: *Subtle is the Lord...* Oxford University Press (1982)
2. A. Pais: *Niels Bohr's Times.* In Physics, Philosophy, and Polity, Oxford University Press (1991)
3. Philip Stehle: *Order, Chaos, Order.* Oxford University Press (1994)

∞

Er superluminalt lys observert?

Iver H. Brevik *

Kan lyset gå fortere enn det kan i vakuum? En lyspuls som ble sendt gjennom et rør fylt av en spesielt preparert cesiumgass har tilsynelatende oppnådd en hastighet på 300 ganger lyshastigheten i vakuum. Dette eksperimentet ble utført av Lijun Wang et al. ved NEC-laboratoriene i Princeton, i fjor. Som rimelig er, har eksperimentet vakt stor internasjonal oppmerksomhet, etter som resultatet kan synes å komme i strid med Einsteins spesielle relativitetsteori, og med kausalitetsprinsippet.

Nei, vi kan nok ta det med ro – Einsteins ånd er ikke blitt jaget ut av kontorene i Princeton. Men noe merkelig er det likevel. Et eksperiment utført i 2000 av Lijun Wang *et al.*[1] ved NEC Research Institute in Princeton, indikerer at en lyspuls sendt igjennom et $L = 6$ cm langt rør fylt med en spesialpreparert cesiumgass oppnår en forplantningshastighet på 300 ganger hastigheten c for lys i vakuum. Som kjent er verdien av c lik 300 000 km/s. Lyspulsen som er av bredde 3μs ($3\cdot10^{-6}$ s) ville normalt bruke bare $0,2$ ns ($0,2\cdot10^{-9}$ s) på å passere igjennom rørlengden L dersom røret var tomt. Men med den nevnte cesiumgass til stede, viser det seg at lyset kommer ut av røret 62 ns tidligere enn hva det ville gjøre ved passasje gjennom et vakuumrør. I løpet av tiden 62 ns forplanter lyset seg omtrent 18 m i vakuum. Med andre ord: Lyset beveger seg nesten 20 m bort fra rørets høyre ende, før (hovedparten) av den innkommende puls entrer rørets venstre ende! Man har begynt å snakke om hastighetsenheten "én Einstein" for lys som beveger seg med konvensjonell hastighet i vakuum. Disse nye eksperimentene viser altså at denne hastighetsbarrieren er overskredet.

Effekten er ved første øyekast dramatisk: Betyr den at selve kausalitetsprinsippet står for fall? Dette prinsippet sier at årsaken alltid kommer tidligere enn virkningen. Hvis det skulle vise seg å være sant at et isolert og selvstendig lyssignal kan transportere sin energi hurtigere enn den nevnte "Einstein-barrieren", altså superluminalt lys, ville det være mulig ved hjelp av en lorentztransformasjon å finne et referansesystem hvor signalet ble registrert før det ble utsendt. Noe slikt ville unektelig være spennende fra et filosofisk synspunkt – det ville i prinsipp bli mulig å influere direkte på hendelser i framtiden! Som en kunne vente, er eksperimentet til Wang *et al.* blitt omtalt og kommentert også i dagspressen, kanskje særlig i New York Times hvor kommentarene er på et høyt faglig nivå. Effekten ble faktisk gitt omtale i norsk presse også (VG, 5. juni 2000), og i radioens Petre noen dager etterpå, den 11. juni. Det kan være naturlig her å sitere Arthur Bullers velkjente limerick med sine relativistiske overtoner:

There was a young lady named Bright,
Whose speed was faster than light;
She set out one day,
In a relative way,
And returned home the previous night.

* Institutt for mekanikk, termo- og fluiddynamikk, NTNU

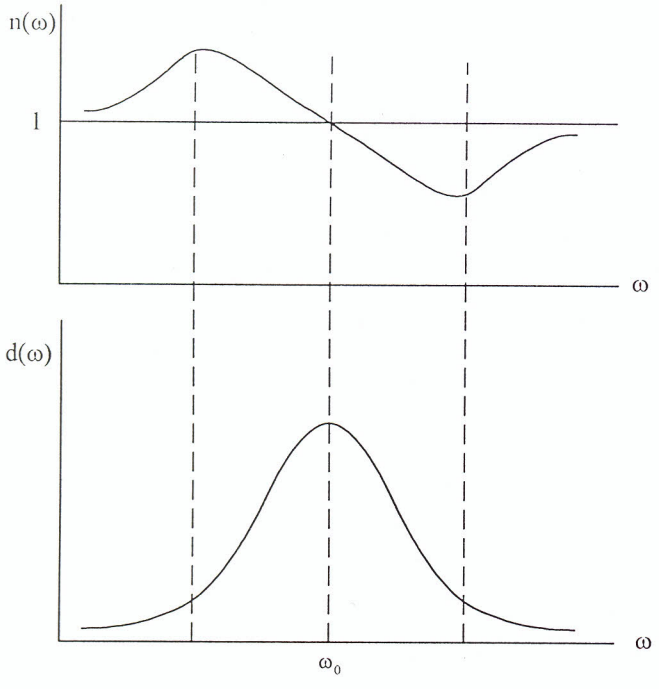
Interpretasjon

Fra folkeeventyrene husker vi at mystiske troll sprekker når de kommer ut i dagslys. Noe av det samme skjer med vårt "troll" når vi trekker det ut av dunkelheten og betrakter det nærmere: det sprekker riktignok ikke, men reduserer sin mystisisme og fremstår som et noenlunde naturlig og forståelig vesen tross alt. I særdeleshet kan vi trekke den beroligende konklusjon at kausalitetsprinsippet ikke er brutt.

Poenget ligger i lysets bølgenatur. Betrakter vi en monokromatisk bølge med vinkelfrekvens ω, vil det dielektriske mediets brytningsindeks ved denne frekvens være $n'(\omega) = \sqrt{\varepsilon(\omega)/\varepsilon_0}$, hvor $\varepsilon(\omega)$ er mediets permittivitet. For et absorberende medium er $\varepsilon(\omega)$ kompleks. Vi kan spalte n' i en reell og en imaginær del:

$$n'(\omega) = n(\omega) + id(\omega) \tag{1}$$

Forutsatt at det er bare én absorpsjonsfrekvens i mediet, $\omega = \omega_0$, vil $n(\omega)$ og $d(\omega)$ kvalitativt variere som vist i figur 1. Vi ser at ved $\omega = \omega_0$ vil $n(\omega_0) = 1$, mens $d(\omega_0)$ har en høy positiv verdi, noe som betyr en kraftig absorpsjon av alt lys som har frekvens i nærheten av ω_0.



Figur 1. Kvalitativ skisse av den reelle og den imaginære del av den komplekse brytningsindeks i området omkring absorpsjonsfrekvensen ω_0.

Betrakt så en lyspuls sammensatt av et smalt bånd av frekvenser. Det er kjent at en slik puls transporterer sin energi med den såkalte gruppehastighet, $c_g = d\omega/dk$, hvor $k = n(\omega)\omega/c$ er bølgetallet. Det gir her

$$c_g = \frac{c}{n_g}, \tag{2}$$

hvor

$$n_g = n(\omega) + \omega\frac{dn}{d\omega} \tag{3}$$

er gruppehastighetsindeksen. Av (3) ser vi at gradienten til brytningsindeksen, $dn/d\omega$, spiller en viktig rolle: Ifølge figur 1 er $dn/d\omega < 0$ i området omkring ω_0, og det vil dermed i prinsipp være mulig å oppnå en verdi av n_g som blir null, eller endog negativ. Det viser seg generelt eksperimentelt at hvis lyspulsens frekvensbånd $\Delta\omega$ er så smalt at n_g holder seg konstant over båndet, vil pulsen bevare sin form uten forvrengning når den går igjennom mediet.

La oss vende tilbake til cesiumgassen. Anta at den har romtemperatur og er innelukket i det nevnte rør med lengde $L = 6$ cm. Anta videre at lyspulsen er så smal at den kan ansees å være tilnærmet lik et punkt som forplanter seg i positiv x-retning og entrer rørets venstre ende ved tidspunktet $t = 0$. Hvis det var vakuum inne i røret, ville pulsen komme ut gjennom høyre ende ved tidspunktet $L/c = 0,2$ ns, som nevnt ovenfor. Med cesiumgass i røret betrakter vi 3 tilfeller:

1) $n > 1$ Dette er det vanlige tilfelle. Gruppehastigheten (2) er subluminal. Pulsen kommer ut av røret med en tidsforsinkelse Δt relativt til vakuum, gitt ved

$$\Delta t = (n_g - 1)L/c > 0. \tag{4}$$

2) $n_g = 0$ Gruppehastigheten (2) er uendelig: Pulsen flytter seg instantant gjennom røret og opplever et *avansement* i tid sammenlignet med vakuumpulsen. I analogi med (4) kan vi skrive avansementet, $-\Delta t$, som

$$-\Delta t = (1 - n_g)L/c = 0,2\ ns. \tag{5}$$

I løpet av den tiden som vakuumpulsen trenger for å gå igjennom røret, 0,2 ns, vil mediepulsen ha forplantet seg 6 cm ut fra dets høyre ende.

3) $n_g = -310$ Dette er det tilfellet som Wang *et al.*[1] studerer. Gruppehastigheten (2) blir negativ, lik $-c/310$. Tidsavansementet blir enda større enn i foregående tilfelle:

$$-\Delta t = (1 - n_g)L/c = 62\ ns, \tag{6}$$

noe som altså tilsvarer en tilbakelagt strekning på 18 m i vakuum. Pulsen forlater rørets høyre ende *før* den kommer inn gjennom venstre ende. Den effektive lyshastigheten blir 18 m/ 0,2 ns = 300 c. Det er verdt å merke seg at selv om tidsavansementet i ligning (6) virker dramatisk, utgjør det bare omtrent 1/50 av pulsens totale bredde.

Den oppmerksomme leser vil nå innvende: Hva med absorpsjonen i materialet? Viser ikke figur 1 at lyset absorberes sterkt i området omkring ω_0? På dette punkt innfører NEC-gruppen en ny og oppfinnsom teknikk for å skape et *tapsfritt* anomalt dispersjonsområde: De pumper optisk energi inn i cesiumgassen slik at den virker som en optisk forsterker. Først benyttes én laser til å pumpe de fleste cesiumatomene inn i en bestemt lavenergi spinntilstand. Dernest benyttes to sterke Raman CW-lasere, tilsvarende de nærliggende energiene E_1 og E_2, til å produsere populasjonsinversjon, dvs. at en høyere populasjon av atomene er i en eksitert energitilstand enn i lavenergitilstanden. De eksiterte atomene kan i sin tur forsterke lys fra en tredje laser ("probe beam") ved at de absorberer et pumpefoton fra E_1 eller E_2 og re-emitterer det inn i probebeamen samtidig med at de selv går over i en annen lavenergitilstand. Maksimal forsterkning oppnås når probebeamen er i resonans med raman-overgangene forårsaket av E_1 eller E_2.

Man oppnår på denne måten en pukkelrygget forsterkningskurve ("gain") som funksjon av frekvensen. Imellom puklene, i et frekvensområde av bredde $\Delta\nu = 1,9$ MHz sentrert omkring absorpsjonsfrekvensen $\nu_0 (= \omega_0/2\pi)$, oppnår man at dispersjonen er anomal, $dn/d\omega < 0$, og dessuten, som en meget viktig egenskap, at pulsen forplanter seg gjennom gassen uten nevneverdig forvrengning eller absorpsjon.

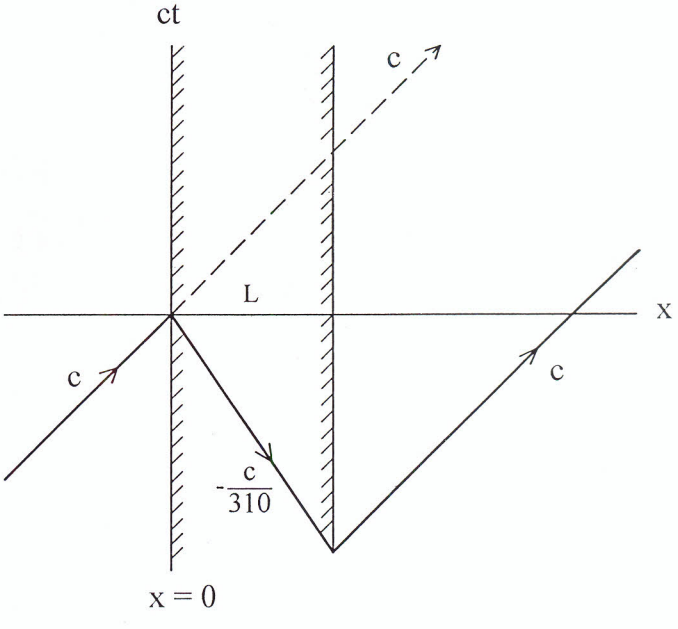
Gassens endring i brytningsindeks, Δn, gjennom det nevnte frekvensintervall er i og for seg ikke stor: $\Delta n = -1,8 \cdot 10^{-6}$. Men når man dividerer med $\Delta\omega$ og multipliserer med ω, blir virkningen stor likevel. Ut fra den målte kurven for $n(\omega)$, kommer Wang *et al.* fram til verdien for gruppehastighetsindeksen

$$n_g = n(\omega) + \omega\Delta n/\Delta\omega = -330 \pm 30, \qquad (7)$$

som stemmer bra med verdien $n_g = -310$ nevnt ovenfor, beregnet ut ifra tidsavansementet via ligning (6).

Etter som en negativ gruppehastighet kombinert med en lyspuls som utbrer seg i positiv x-retning er i strid med hva man ville intuitivt vente, kan det være instruktivt å betrakte figur 2.

Innkommende lyspuls fra vakuum, til venstre på figuren, representeres av en rett linje som danner helningsvinkelen 45° med x-aksen. Den øvre stiplede linje som fortsetter ubrutt, representerer hva lysets videre gang ville ha vært dersom det var vakuum i røret. Den brutte linjen på figuren viser lysets gang inne i røret når gruppehastigheten er $c_g = -c/310$. For $x > L$ representeres strålen igjen med en 45° rett linje. Vi ser at for en gitt posisjon x til høyre for røret, vil cesiumpulsen ankomme tidligere enn vakuumpulsen.



Figur 2. Innkommende lyspuls fra venstre treffer rørets venstre ende $x = 0$ ved tidspunktet $t = 0$. Stiplet linje er lysets videre gang dersom det var vakuum i røret; heltrukket linje er lysets gang når røret er fylt av cesiumgass.

En annen og mer fysisk semipopulær interpretasjon er følgende: Ved *normal dispersjon*, $dn/d\omega > 0$, vil atomene i gassen midlertidig *absorbere* et foton fra lyspulsen ved dens forkant og re-emittere det senere, ved bakkanten, noe som fører til at energiforplantningshastigheten for pulsen som helhet reduseres i forhold til vakuum.

Ved *anomal dispersjon*, $dn/d\omega < 0$, vil pumpebeamene forsterke lyspulsens forkant ved at de midlertidig *låner ut* energi til pulsen og senere får lånet tilbakebetalt når de absorberer energi ved pulsens bakkant.

Det er nå naturlig å spørre: Hvordan kan vi være sikre på at kausalitetsprinsippet ikke brytes

med denne merkelige effekten? Den enkleste forklaringen gis i matematisk språk: Kramers–Kronig-relasjonene er hele tiden intakt. Det er disse relasjonene som generelt garanterer at årsaken kommer tidligere enn virkningen. Relasjonene betyr at permittiviteten $\varepsilon(\omega)$ er en analytisk funksjon i øvre halvpart av det komplekse frekvensplan, når feltenes tidsvariasjon er $exp(-i\omega t)$.

I forbindelse med kausalitetsproblemet kan en også gi følgende fysiske tilleggs-"forklaring", med referanse til figur 2. En kan oppfatte figuren slik: Lenge før innfallende puls treffer rørets venstre ende, oppstår det to pulser ved høyre ende; den ene av disse utbrer seg mot høyre med konvensjonell hastighet c, den andre utbrer seg mot venstre, inn i gassen. Sistnevnte puls utbrer seg altså 300 ganger langsommere enn vanlig lys, og er tidsinnstilt slik at den presist opphever den innkommende puls når den ankommer i posisjon $x = 0$ ved tiden $t = 0$. Netto resultat er at høyregående puls, den eneste overlevende av pulsene, befinner seg 18 m vekk ved tiden $t = 0$.

Så, situasjonen synes å være rimelig klar, når alt kommer til alt. Relativitetsteorien forteller oss at intet helhetlig signal (informasjon) kan utbre seg hurtigere enn c; den tilsynelatende overlyshastighet som vi blir konfrontert med i NEC-eksperimentet, reflekterer bare en *del* av et komplisert puls–medium vekselvirkende system. Ingen fundamentale fysiske lover brytes. A.M. Steinberg uttrykker forholdet elegant på følgende vis i overskriften til sin artikkel i Physics World, september 2000: *"No thing goes faster than light"* (altså ikke: *"Nothing goes faster than light"*)!

Siste ord er åpenbart ikke blitt sagt i denne saken, likevel. For eksempel vil Wang forsøke å måle energiforplantningshastigheten mer direkte – han antar at denne vil være begrenset av barrieren c. Videre vil han forsøke å redusere intensiteten i probebeamen til 1-foton nivå, for bedre å kunne forstå optikkens ekstreme grensetilfelle.

En optisk halvbror: Det langsomme lys

Effekten ovenfor er i nær slekt med en annen optisk effekt som ble påvist ett år tidligere, nemlig reduksjon av lyshastigheten gjennom et egnet medium i området omkring absorpsjonsfrekvensen ω_0, helt ned til noen få meter per sekund. Eksperimentene er blitt utført av Lene Hau *et al.*[2] ved Harvard-universitetet. I kontrast til forrige effekt, er det nå vesentlig at gassen har lav temperatur, lavere enn den kritiske temperatur T_c for Bose–Einstein-kondensasjon. For eksempel, for en natriumgass må $T < T_c = 435$ nK. La oss gi effekten en kortfattet omtale.

Det langsomme lys baserer seg på et kvantemekanisk interferensfenomen kalt "elektromagnetisk indusert transparens", EIT. Den innfallende "probepulsen" av bredde $2,5\,\mu$s vekselvirker ikke med gassatomene direkte, men med et sammensatt atom-laserfeltsystem. Dette krever at atomene blir "laser-dressed" på forhånd, ved at en egen lineærpolarisert koblingsbeam kobler to tomme hyperfine atomære tilstander i en koherent superposisjon. Probepulsens transmisjonskoeffisient ved absorpsjonsfrekvensen ω_0 blir dermed radikalt forhøyet: i fravær av koblingsbeamen er $T \sim e^{-110}$, mens i nærvær av denne beamen blir $T \approx 0,7$.

Hau *et al.* oppnådde en gruppehastighet for probebeamen på 17 m/s; det sies at i den senere tid er denne grensen blitt enda lavere. Årsaken til at man trenger så lave temperaturer, er at de termiske bevegelsene må være små for ikke å ødelegge den kvantemekaniske interferenseffekten.

I motsetning til foregående effekt, kan det langsomme lys tenkes å ha flere praktiske anvendelser:

- Generering av meget store ikke-lineære intensitetsavhengige brytningsindekser. Den såkalte kerrkoeffisienten kan bli $n_2 = 0,18$ cm^2/W, som er omtrent én million ganger større enn hva man har hatt tidligere.
- Generering av store forsinkelser i optiske forsinkelseslinjer.
- Bruk i interferometre (i astrofysikk) hvor armene ordinært er flere kilometer lange. Effekten kan muligens benyttes til å lage en mye kortere referansearm.

Referanser

1. L.J. Wang, A. Kuzmich & A. Dogariu: *Gain-assisted superluminal light propagation.* Nature **406**, 277 (2000)
2. L.V. Hau, S.E. Harris, Z. Dutton & C.H. Behroozi: *Light speed reduction to 17 metres per second in an ultracold atomic gas.* Nature **397**, 594 (1999)

Populærvitenskapelige kilder

Denne artikkelen ble skrevet på grunnlag av et kollokvium som forfatteren holdt ved NTNU i oktober 2000.

Følgende instruktive populærvitenskapelige artikler som eksisterte på det tidspunkt, kan nevnes:

1. J. Glanz: *Light exceeds its own speed limit, or does it?* The New York Times (web-utgaven) 30.5.2000
2. J. Marangos: *Faster than a speeding photon.* Nature **406**, 243 (2000)
3. A.M. Steinberg: *No thing goes faster than light.* Physics World, September 2000, p.21.
4. D. Appell: *Unlimited light.* Scientific American, September 2000, p.18.
5. J. Marangos: *Slow light in cool atoms.* Nature **397**, 559 (2000)

I skrivende stund er en blodfersk og autoritativ diskusjon av superluminalt lys følgende: Peter W. Milonni: *Causal discussion of superluminal pulses.* Physics Today, February 2001, p.14.

∞

Big Bang i et uendelig univers

Øyvind Grøn *

Jeg har ofte fått spørsmål om Big Bang hadde uendelig utstrekning dersom universet er uendelig. Jeg har da svart at Big Bang da også må ha hatt uendelig utstrekning, for hvis universet opprinnelig hadde en endelig utstrekning kan det ikke bli uendelig senere som følge av en ekspansjon som har foregått i en endelig tid. Wolfgang Rindler har nylig gitt et mer nyansert svar på dette spørsmålet.[1] For å skjønne hans svar, må vi ha klart for oss noen konsekvenser av Einsteins spesielle relativitetsteori.

Samtidighetens relativitet[2]

La oss betrakte et tog som passerer en perrong i stor fart. Midt i en vogn tennes en lampe. Idet lyset treffer bakerste og forreste dør, åpnes de.

La oss først beskrive situasjonen fra vognens referansesystem. Da oppfattes vognen som om den var i ro. Siden lyset beveger seg med samme fart mot de to dørene og avstandene er like, åpnes de samtidig. Men observert fra perrongen beveger den bakerste døren seg mot lyskilden og den forreste vekk fra den. Lyset som treffer den bakerste døren har gått kortere vei enn lyset som treffer den forreste. Dermed åpnes den bakerste døren først.

Vi har altså følgende resultat: *Dersom to hendelser skjer samtidig i et legeme som beveger seg, observert i legemets hvilesystem, så skjer den bakerste hendelsen før den forreste observert i et referansesystem der legemet beveger seg.*

Relativistisk tidforlengelse[2]

Vi betrakter en "fotonklokke" i toget. Den består av et foton som reflekteres vertikalt mellom gulv og tak observert på toget. Klokken "tikker" hver gang fotonet treffer gulvet eller taket. Det tar altså tiden L/c mellom to tikk, der L er høyden mellom gulvet og taket, og c er lyshastigheten.

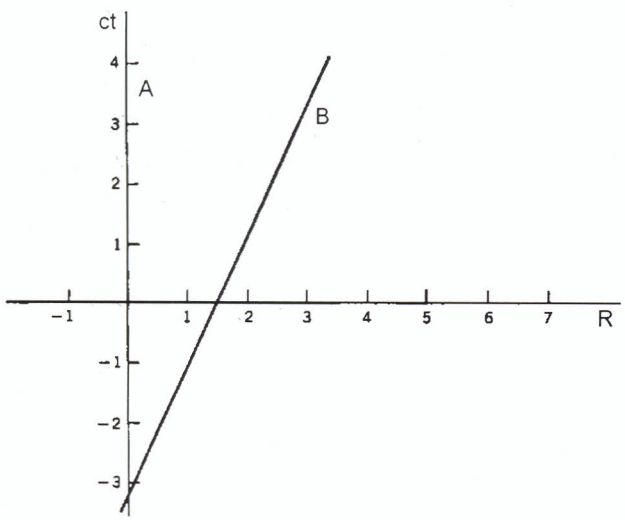
Beskrevet fra perrongen er fotonets bane en sikksakklinje. Avstanden mellom to refleksjoner er lengre enn den vertikale avstanden L observert i toget, og lyset har den samme farten c. Dermed tar det lengre tid mellom tikkene observert fra perrongen enn observert på toget. Jo raskere toget med klokken beveger seg, desto langsommere tikker den. Dette leder til følgende konklusjon: *Fotonklokken som beveger seg, går langsommere enn en tilsvarende klokke i ro.* Einstein viste at dette gjelder generelt uansett hvordan klokkene er konstruert.

*Høgskolen i Oslo, Avd. for ingeniørutdanning, og Fysisk inst., Universitetet i Oslo

Minkowskidiagram

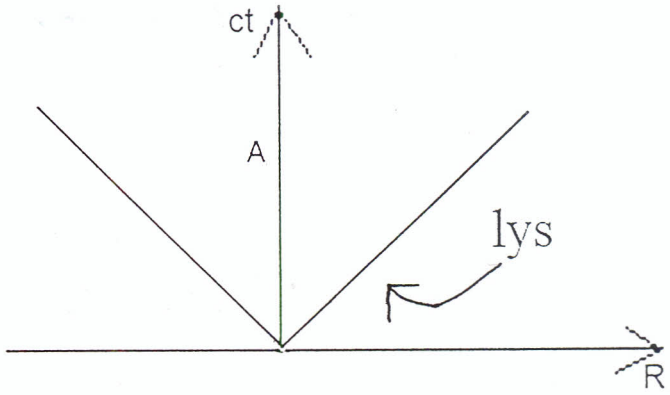
I et minkowskidiagram representerer "x-aksen" og "y-aksen" avstand henholdsvis i rom og tid. For at størrelsene langs aksene skal ha samme dimensjon, multipliseres tiden med lyshastigheten langs "y-aksen". Et *minkowskidiagram* er en grafisk fremstilling, med referanse til et "laboratoriesystem", av bevegelsen til partikler og av rommet definert ved samtidighet av observatører som følger partiklene. Ofte representeres rommet bare ved *en* retning. I så fall representerer papirplanet det firedimensjonale tid-rommet. Minkowskidiagrammer kalles derfor ofte for tidromdiagrammer.

Kurvene til partikler i et minkowskidiagram kalles *verdenslinjer*. For eksempel er ct-aksen verdenslinjen til en partikkel A i ro i laboratoriesystemet. En partikkel B som beveger seg i positiv R-retning med konstant fart, har en verdenslinje som går på skrå oppover, som vist i figur 1.



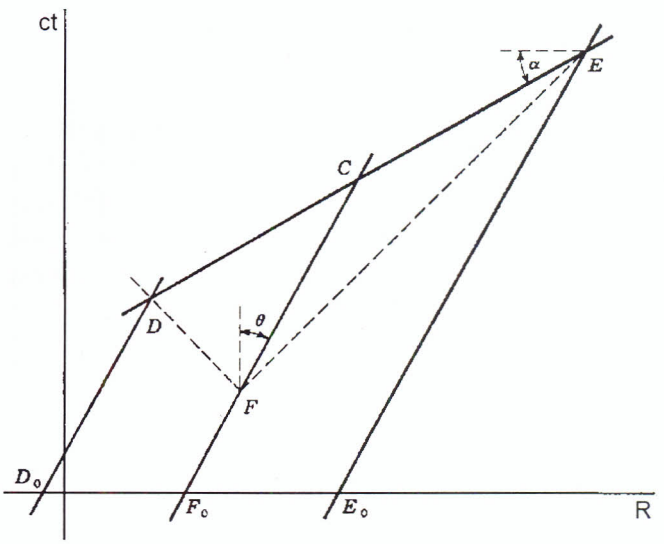
Figur 1. Minkowskidiagram der ct-aksen er verdenslinjen til en partikkel i ro, og den skrå linjen er verdenslinjen til en partikkel som beveger seg i positiv R-retning med konstant hastighet. Begge partiklene "beveger seg" også i tid-retningen. I vårt tilfelle er A verdenslinjen til en person i ro på perrongen omtalt i teksten, og B er verdenslinjen til en person på toget som passerer.

Vi lar nå A være en person i ro på perrongen og B personen i toget som slo på lyset som åpnet dørene. Nå skal vi tegne inn lyssignalene i minkowskidiagrammet. Signalenes posisjon langs R-aksen er gitt ved $R = ct$ og $R = -ct$, dvs. at verdenslinjene danner 45° med koordinataksene. Minkowskidiagrammet med verdenslinjen til A og lyssignalene, er vist i figur 2.



Figur 2. Minkowskidiagram med verdenslinjene til en observatør A i ro og til to lyssignaler som beveger seg i henholdsvis negativ og positiv R-retning.

La oss nå tegne inn verdenslinjene til de to dørene på toget som åpnes når signalene treffer dem, samt de to lyssignalene. Dette er vist i figur 3.



Figur 3. Minkowskidiagram med referanse til perrongen, dvs. R er posisjon på perrongen, og t er tiden målt med klokker i ro på perrongen. I diagrammet er F_0C verdenslinjen til observatøren midt i vognen. Punktet F er den hendelsen at han sender ut lyssignalet som skal åpne dørene. Verdenslinjene til lyssignalene bakover og forover er henholdsvis FD og FE, mens verdenslinjene til bakerste og forreste dør er henholdsvis D_0D og E_0E. Punktet D er den hendelsen at lyssignalet treffer den bakerste døren slik at den åpner seg, og E at signalet treffer den forreste døren som dermed åpnes. Som omtalt i teksten, skjer dette samtidig observert i vognen, dvs. linjen DE representerer samtidighet målt på toget. Med referanse til perrongen skjer imidlertid D før E, dvs. den bakerste døren åpnes før den forreste. Vinklene θ og α er like, dvs. jo raskere toget beveger seg, desto mer heller togets samtidighetslinje i perrongsystemet. Dette har betydning for å forstå figur 4.

Relativistiske universmodeller

Den eneste kraften som har betydning for universets ekspansjon er gravitasjon. Den beste gravitasjonsteorien vi har er Einsteins generelle relativitetsteori, og den må brukes for å beskrive universets ekspansjonsbevegelse.

Ifølge relativitetsteorien kan rommet være "krumt". Allerede Gauss visste hvordan man kan undersøke rommets geometri. Hvis rommet har positiv krumning, vil to lysstråler som sendes ut fra forskjellige steder i samme retning, avbøyes mot hverandre. Dette betyr at ved triangulering med lys over store avstander vil målingene vise at summen av vinklene i trekantene vil være større enn 180°. Tilsvarende vil summen av vinklene være mindre enn 180° dersom rommet er negativt krummet. Hvis vi bor i et univers der rommet er positivt krummet, analogt med en kuleflate i to dimensjoner, har universet endelig utstrekning. Universet sies da å være "lukket". Er rommet flatt eller negativt krummet, har universet uendelig utstrekning og er "åpent".

Enten rommet har positiv, null eller negativ krumning, startet ekspansjonen ifølge relativitetsteorien fra en Big Bang-eksplosjon med uendelig stor energitetthet. I et univers der rommet har positiv krumning, kan man oppfatte Big Bang som et startpunkt uten utstrekning. (En annen ting er at vi vet at en slik punkthendelse med uendelig stor energitetthet ikke kan svare til forholdene slik de virkelig var. Kvantefluktuasjoner av krumningen har vært viktige helt i starten, og selv om energitettheten har vært stor, var den ikke uendelig stor. Men foreløpig har vi ikke noen alminnelig akseptert kvantegravitasjonsteori til å beskrive forholdene før den såkalte Planck-tiden, $t_P = 10^{-43}$ s etter et tenkt startøyeblikk.)

Men hvordan skal Big Bang oppfattes i et flatt rom eller i et rom med negativ krumning? Slike rom har uendelig utstrekning. Må man da konkludere med at Big Bang også hadde uendelig utstrekning? Er det korrekt å si at Big Bang skjedde overalt?

Milnes universmodell

For å svare på disse spørsmålene skal vi se på den enkleste relativistiske universmodellen, kalt Milnes universmodell etter den britiske kosmologen Edward Arthur Milne (1896–1950). I 1933 presenterte han en modell av et ekspanderende univers, som var en løsning av Einsteins feltlikninger for et tomt rom. I denne modellen er ekspansjonshastigheten konstant siden der ikke er noen gravitasjon som påvirker ekspansjonen. En nærmere analyse av modellen viste at den rett og slett var en forkledd utgave av det flate tidrommet i den spesielle relativitetsteorien, kalt Minkowski-tidrommet.

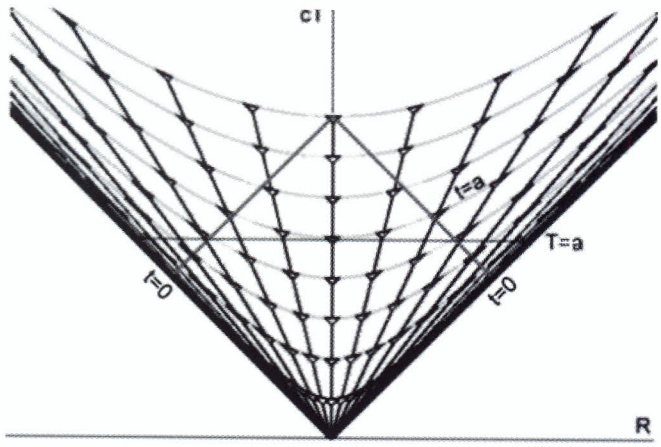
Wolfgang Rindler påpekte[1,3] at i stedet for å tenke på universet som tomt, kan vi fylle det med "testpartikler" som ikke påvirker hverandre med gravitasjon. Vi kan tenke oss at hver av testpartiklene bærer med seg en klokke som viser tiden t, kalt kosmisk tid, som er gått siden Big Bang-eksplosjonen. I denne kosmiske gassen har hver enkelt partikkel konstant fart, men det ble sendt ut partikler med alle hastigheter fra null til lyshastigheten ved Big Bang. I Milnes universmodell antas det at ved samme kosmiske tid er tettheten til gassen uavhengig av posisjonen.

Siden partiklene beveger seg med konstant fart, er avstanden mellom to partikler lik hastighetsforskjellen mellom dem ganger den kosmiske tiden. Det betyr at enhver partikkel vil bevege seg vekk fra en tilfeldig valgt "origopartikkel" med en hastighet som er proporsjonal med avstanden til origopartikkelen. Dette er Hubbles lov som beskriver universets ekspansjon.

Minkowskidiagram for Milnes universmodell

Figur 4 viser et minkowskidiagram med verdenslinjer og en samtidighetslinje i radiell retning for noen av partiklene i Milnes universmodell, med referanse til en tilfeldig partikkel som er valgt som "origopartikkel". Tiden målt med denne partikkelens klokke er betegnet med T, og avstanden fra denne partikkelen målt ved en tid $T = konstant$, er betegnet med R. Dette betyr at vi tenker oss et referansesystem som ikke deltar i ekspansjonen, der alle referansepunktene er i ro i forhold til origopartikkelen. Klokker i ro i dette referansesystemet går alle likt med origopartikkelens klokke, og viser altså tiden T. Klokkene til partiklene som deltar i den kosmiske ekspansjonen, viser derimot den kosmiske tiden t.

Legg merke til forskjellen på de to samtidighetskurvene. Dette er den samme forskjellen i samtidighet som vi hadde i toget og på perrongen; og vi så i figur 3 at samtidighetslinjen til toget hellet i forhold til perrongens samtidighetslinje. Hyperbelen består av alle de lokale samtidighetslinjene til partiklene langs en radiell akse. Siden partik-



Figur 4. Minkowskidiagram som refererer til det medbevegende inertialsystemet for en vilkårlig valgt origopartikkel. I dette systemet viser alle klokkene samme tid T som origopartikkelens klokke. Koordinaten R er avstanden fra origopartikkelen målt ved $T = konstant$. Den loddrette tidsaksen er origopartikkelens verdenslinje og R-aksen dens samtidighetslinje i radiell retning. Viften av linjer fra Big Bang-hendelsen ved $T = 0$, er verdenslinjer til noen av partiklene i Milne-universet. Den horisontale linjen $T = a$, er en samtidighetslinje i origopartikkelens inertialsystem. Kurvene $t = a$ er hyperbler. De representerer kosmisk samtidighet, dvs. at klokkene på de ulike partiklene med forskjellige hastigheter, alle viser samme tid etter Big Bang. De svarer til samtidighet på toget i figur 3, mens $T = a$ svarer til samtidighet på perrongen. Hyperblene ligger tettere og tettere ned mot de to linjene fra Big Bang-hendelsen som danner 45° med aksene, og hyperblene har mindre verdi for a desto nærmere de er disse linjene. I grensen der de faller sammen med linjene, er $t = 0$. Figuren inneholder også to linjer som møtes på cT-aksen. Dette er verdenslinjer til fotoner som kan observeres på origopartikkelen. Vi ser at de kommer helt fra linjene som representerer $t = 0$. Det betyr at i Milnes universmodell kan en observatør se helt tilbake til Big Bang-hendelsen.

lene beveger seg raskere desto større avstand de har fra origopartikkelen, heller samtidighetskurven mer desto større denne avstanden er.

Det som kalles universets utstrekning, er avstanden fra en tilfeldig observatør (med cT-aksen som verdenslinje i figur 4) til universets fjerneste punkt målt ved en bestemt kosmisk tid, dvs. avstanden målt langs hyperbelen $t = a$. (Likningen $t = a$ svarer til hyperbellikningen $c^2T^2 - R^2 = c^2a^2$ i R, T-koordinatsystemet.) Siden hyperbelen har uendelig stor lengde, har universet uendelig utstrekning. Dette gjelder for alle hyperblene like inn til Big Bang-punktet nederst på diagrammet. Det betyr at universet hadde uendelig stor utstrekning selv umiddelbart etter Big Bang.

Ikke desto mindre viser diagrammet at Big Bang var en punkthendelse. Alle partiklene ble sendt ut fra samme sted og ved samme tidspunkt. Dette stedet var da hele universet. Umiddelbart etter Big Bang-hendelsen hadde selv partikler som var meget nær origopartikkelen, en hastighet i forhold til den omtrent lik lyshastigheten.

Hvis toget passerer perrongen med praktisk talt lyshastighet, tar det meget lang tid før lyssignalet som beveger seg forover tar igjen den forreste døren. Referert til perrongen vil da avstanden mellom posisjonene der dørene ble åpnet, være meget stor. I det grensetilfellet at toget går med lyshastigheten, blir avstanden uendelig stor. I åpne universmodeller går man helt til denne grensen.

Men observert ved samtidighet i origopartikkelens inertialsystem, $T = a$, har universet endelig utstrekning. Minkowskidiagrammet viser til og med at utstrekningen nærmer seg null når vi ser på hendelser nær Big Bang, $a \approx 0$. I dette referansesystemet er avstandene mellom partiklene i Milne-universet lorentzkontrakterte med større kontraksjon desto fjernere par av partikler som betraktes.

I Milnes universmodell har rommet uendelig utstrekning, og tettheten av den kosmiske gassen er konstant ved samme kosmiske tid, $t = a$. Det er altså uendelig mye materie i dette universet. Sett fra inertialsystemet til den vilkårlige origopartikkelen virker dette merkelig, for ved samtidighet i dette systemet, $T = a$, har jo universet endelig utstrekning, ja, det hadde til og med ganske liten utstrekning da det var ungt. Løsningen på dette tilsynelatende paradokset er den følgende: Ved økende kosmisk tid avtar tettheten til gassen på grunn av ekspansjonen. Det betyr at tettheten var større ved tidligere tidspunkter. Av minkowskidiagrammet ser vi at den horisontale linjen som representerer samtidighet i origopartikkelens inertialsystem, svarer til tidligere kosmisk tid jo større avstanden R er. Det betyr at ved konstant T øker tettheten av den kosmiske gassen med voksende R. Hvis man regner ut den totale massen i universet ved konstant T, finner man at den er uendelig stor, i overensstemmelse med resultatet ved konstant kosmisk tid, der det er innlysende.

Big Bang i et åpent univers

Resultatene som er funnet ved å betrakte Milne-universet, er typiske for alle de åpne Friedmann-modellene. Til tross for at universet har uendelig

utstrekning ved en bestemt kosmisk tid, uansett hvor nær starthendelsen dette tidspunktet er, så kan Big Bang oppfattes som en punkthendelse. Dette innsees ved å betrakte universets utvidelse i referansesystemet til en vilkårlig valgt "origopartikkel" som deltar i ekspansjonen, som vist i figur 4. Ved samtidighet i dette referansesystemet har universet til enhver tid utstrekningen cT. Men i ulike posisjoner svarer samtidighet i dette referansesystemet ikke til en bestemt tid etter Big Bang målt med klokkene som deltar i den kosmiske ekspansjonen. Disse klokkene har større fart bort fra origopartikkelen jo større avstand de har fra den, og desto langsommere går de. Derfor svarer konstant kosmisk tid til senere tidspunkter i origopartikkelens inertialsystem i alle andre posisjoner enn ved referansepartikkelen. Jo større avstanden er, desto senere tidspunkt T svarer en bestemt kosmisk tid $t = a$ til. Og ved senere tidspunkter er avstandene til partiklene blitt større.

Avstanden L målt ved konstant T (samtidighet i origopartikkelens referansesystem) mellom to nabogalakser som beveger seg vekk fra origopartikkelen, er en lorentzkontraktert avstand, mens avstanden L_0 mellom galaksene målt ved en bestemt kosmisk tid (samtidighet i galaksenes hvilesystem) er "hvileavstanden" mellom dem, dvs. $L_0 = L/\sqrt{1 - v^2/c^2}$. I de åpne Big Bang-modellene for universet er avstanden L mellom galaksene i et hvilket som helst par av nabogalakser, målt i en vilkårlig origopartikkels referansesystem, endelig. Siden hastigheten til galakseparet går mot c når man nærmer seg universets grense i origopartikkelens system, blir summen av alle hvileavstandene uendelig. Det er dette som menes når man sier at "et åpent univers har uendelig utstrekning", til tross for at man kan oppfatte Big Bang som en punkthendelse i en endelig fortid.

Hvis Big Bang oppfattes som en punkthendelse, må man imidlertid skjelne mellom Big Bang og universet. Et åpent univers har uendelig utstrekning og har alltid hatt det like fra universet oppsto ved Big Bang-hendelsen. Men å si at selve Big Bang – en punkthendelse – hadde uendelig utstrekning, har liten mening. Hvis Big Bang var en punkthendelse, hadde Big Bang ingen utstrekning verken i tid eller rom.

En annen sak er at denne oppfatningen av Big Bang neppe er realistisk. Mer plausibelt er det at Big Bang oppsto fra en kvantefluktuasjon med varighet lik plancktiden, ca. 10^{-43} s, og utstrekning lik plancklengden, ca. 10^{-35} m, som førte universet rett inn i en inflasjonsfase dominert av vakuumenergi, der frastøtende gravitasjon forårsaket en voldsom, akselerert ekspansjon.[4] Dersom Big Bang *var* denne eksplosive inflasjonsperioden, som ifølge de forente teoriene for de fundamentale kreftene hadde en varighet på omtrent 10^{-33} s, så vil det være korrekt å si at *hvis universet er åpent, hadde Big Bang uendelig utstrekning.*

Referanser

1. V. Rindler: *Finite foliations of open FRW universes and the point-like Big Bang.* Physics Letters, **A276**, 52–58 (2000)
2. Ø. Grøn: *Relativistisk tid.* Fra Fysikkens Verden, **54** nr. 4, 93–100 (1992)
3. V. Rindler: *Essential Relativity, 2nd ed.* Springer Verlag (1977) s. 204–207.
4. Ø. Grøn: *Relativistiske universmodeller.* Fra Fysikkens Verden, **56** nr. 3, 75–83 (1994)

∞

Debatt

Se opp for prosjektgjengen!

Sekstiåtterne er et begrep. Snart blir kanskje nittisjuerne det samme, om enn på et annet område: matematikkferdigheter og -forståelse, med videre knytning til fysikkferdigheter og -forståelse.

Først ristet vi matematikklærere på vår skole på våre hoder over prøveresultatene i førsteklassene. Så begynte rykter om hoderisting på andre "gymnas" å nå oss. Og etter hvert begynner beskrivelser fra grunnskolen å komme inn fra mange kanter, oppsummert i et hjertesukk fra en rådgiver på en ungdomsskole: "I undervisningen går det fra prosjekt til prosjekt, og resultatet for matematikken er katastrofalt!"

Det ante oss jo at det ikke bare var oss eller våre. De som nå går i første klasse er de første som har hatt reform97-undervisning i sine tre ungdomsskoleår.

Samtidig har en stigende uro fra Realfag-Norge over synkende studenttall, og delvis også over synkende allmennferdigheter, beveget departementet til et skriv som nå (mars 2001) er ute på høring. Der foreslås for matematikkens del en utvidelse av det

obligatoriske til tre timer i annen klasse i allmennfaglig studieretning, i tillegg til de fem i første klasse.

Det departementet glemmer/nekter å ta opp, er faginnholdet og fagkravene, på alle trinn i utdanningsstystemet. Det samme skjedde ved den nærmest voldsomme utviding av obligatorisk antall matemtikk-vekttall på lærerhøyskolene for noen år siden: de ble ikke fulgt opp av økte innholdskrav. På min mest nærliggende av disse høyskoler ble det endatil presisert fra ledelsen i matematikkseksjonen: studentene skulle ikke lære noe nytt (mer) av matematikk!

Å prøve å løse kommende mangel på ingeniører og realister (og lærere med matematikkkunnskaper) ved å tvinge de mest matematikksvake på allmennfaglig studieretning til enda ett års matematikk, viser enten mangel på innsikt eller stor vilje til å lukke øynene. Departementet gjemmer seg bak stortingsvedtak for et tiår siden om hva som skal gi allmenn studiekompetanse. Denne vegringen mot å stille spesielle kunnskapskrav der det trengs, for eksempel i fysikk og matematikk, vil jeg tro en del lesere av FFV har fortvilt over i årevis.

Noen har vel trodd at man får tak i flere studenter ved å legge terskelen lavt. Jeg tror det har straffet seg. Det har ført til at en del av de aktuelle elevene har kvalifisert seg mindre i løpet av skoletiden, mens en del egentlig u-aktuelle driver strykprosenten opp i størrelser som forstyrrer nattesøvnen for flere universitets- og høyskolelærere (men kanskje ikke for departementsfolk?).

Og dette var altså situasjonen før prosjektene overtok. Herved er dere advart.

Ingerid Hiis Helstrup

∞

Fra Fysikkens Historie

Kjernefysikk i Norge – Arven fra Johan Holtsmark og Roald Tangen

I FFV nr. 1 2001 hadde vi en artikkel med denne overskriften skrevet av Haakon Olsen og Roland Wittje, Institutt for fysikk, NTNU, hvor dette bildet skulle ha vært med. Ved en redaksjonell feil ble bildet dessverre utelatt. Redaksjonen beklager.

Figur 1. Bygging av Van de Graaff-akseleratoren ved NTH i 1951. Nummer 3 fra høyre er Thv. Reed, instrumentmaker ved NTH fra 1910. (Privat foto, 13-9-1951, HAO.)

∞

Bokomtaler

Arild Stubhaug: Det var mine tankers djervhet. Matematikeren Sophus Lie. Aschehoug, 2000. ISBN 82-03-22297-8, (624 sider) 398 kr.

Matematikerkjempen Sophus Lie

1800-tallet var århundret da nasjonalismen fikk skikkelige levevilkår i Norges land. Da ble det gjevt å være norsk nordmann fra Norge. Det var ikke bare innenfor kunst og politikk norske begavelser utfoldet seg. Matematikken, den mest abstrakte av vitenskaper, kan vise til to genier av virkelig verdensformat. Den tragiske skjebnen til den unge døde Niels Henrik Abel fra aller første del av århundret er vel kjent av de fleste. Almuen vet nok mindre om livet til Sophus Lie.

Arild Stubhaug har nå publisert en mektig biografi om vår andre store matematiker. Fra før har Stubhaug levert et solid verk om Abel, og denne nye boka om Lie er ikke ringere handverk. "Det var mine tankers djervhet" er tittelen på boka. Den har Stubhaug hentet fra et brev Lie skrev til Bjørnstjerne Bjørnson da dikterhøvdingen ville ha Lie tilbake fra professorstillingen i Tyskland. Det er et monumentalt og uttømmende arbeid Stubhaug har utført. Boka representerer et maurflittig samler- og granskningsarbeid. Knapt noen detalj av det som skjedde i vennekrets, familie og vitenskapsmiljø omkring Sophus Lie er utelatt. Det er både driv og spenst i fortellingen når Stubhaug legger ut om levevilkår og dagligliv for embetsstanden i landet på 1800-tallet.

For Sophus Lie var sønn av presten på Nordfjordeid der han ble født i 1842. Siden kom han til å elske den ville, norske naturen, og sine kjempekrefter benyttet han sommerstid til strabasiøse fotturer i fjellheimen. Familien flyttet til Moss i 1851, og mora døde da Sophus bare var ni år.

Jeg kan styre min begeistring over at Stubhaug innleder den omfangsrike boka med et slags oversiktskapittel der vesentlige deler av det senere stoffet blir presset sammen til tjue sider. Når presangene er lagt under juletreet i god tid før den store kvelden, er det ikke snilt å åpne pakkene for de forventningsfulle barna, selv om de er aldri så spente.

Sophus Lie var ingen ensidig begavelse, og han oppnådde en særdeles god artium og kunne vise til utmerkede resultater i sitt studium i realfagene. Likevel tok det tid før han ble klar over at det var som matematiker han virkelig hadde overlegne evner.

Men i 1868 visste han hvor kallet lå, og i 1870 var han i utlandet med reisestipend. Her møtte han matematikeren Felix Klein. Det ble opptakten til et langvarig samarbeid og vennskap. Det var på denne turen han havnet i den fransk-tyske krig og ble fengslet som spion. Heldigvis slapp han helskinnet fra den livsfarlige anklagen. Tilbake i Kristiania ble han først universitetsstipendiat og allerede i 1872 utnevnt til professor i matematikk av Stortinget.

Verket til Stubhaug er grundig kulturhistorie. Vi fastholder at denne biografien ikke er teksten for den matematikk-interesserte som ønsker en lett tilgjengelig innføring i den matematikken Sophus Lie utviklet. Vi får nøye oss med å si at noe av det viktigste Lie bedrev var å finne metoder til å løse såkalte differensiallikninger. Dette er likninger hvor ikke bare ukjente størrelser inngår, men også *forandringer* av de ukjente inngår i sammenhengen. Lie greidde å benytte symmetri fra geometri og gruppeteori til å løse problemer angående differensiallikningene.

Fundamentale arbeider strømmet nå fra pennen til Lie. Det var en slik visjonær fantasi og orginalitet i disse idene at Lie raskt fikk verdensry. Det vitenskapelige miljøet i Kristiania føltes snart for trangt for den matematiske giganten. I 1886 fikk Lie professorat i Leipzig og dro dit med hele familien. Til denne tyske byen strømmet så matematiske begavelser for å sitte ved Lie sine føtter og lære av han.

Stubhaug har litt av hvert å fortelle fra den akademiske striden både hjemme og ute. Det var kamp om pengemidler, og det var krangel om hva slags forskning som burde støttes. Om Lie rent fysisk var en usedvanlig kraftkar, var ikke nervesystemet ganske perfekt. Han kunne bli overspent, søvnløs og irritabel. Han fikk et skikkelig nervesammenbrudd, og etter det gjennomgikk han nærmest en personlighetsforandring. Han var langt fra trivelig og var ikke lett å ha med å gjøre. På slutten av livet rotet han seg opp i uverdig strid om prioritet til grunnleggende matematiske ideer. Han var ikke særlig nådig og overbærende når han følte at andre urettmessig ikke gav han den ære og forrang han uten tvil hadde krav på.

Men han var en lærer som elsket sitt fag. Da han endelig behersket det tyske språket, holdt han sine forelesninger uten notater, og ordene strømmet med humor og kraft. I forskjellige avisinnlegg sa han

klart fra hvordan undervisningen her hjemme burde organiseres og vektlegges. Han hadde ingen tro på tillært pedagogikk. En ypperlig lærer er nærmest å likne med en misjonær som med glød utbrer sitt glade budskap.

Etter 12 år i utlandet hadde naturelskeren fått nok av det tyske slettelandskapet. Han ble kallet hjem til ærefullt professorat i Kristiania. Men det viste seg da at han var en livsfarlig syk mann. Det ble snart klart at han led av ondartet anemi. Det var den gang en uhelbredelig blodsykdom. Den 18. februar 1899 døde Sophus Lie.

Men lyset fra hans matematiske arbeid sloknet ikke. Det nye århundret som nå opprant så to store fysikkrevolusjoner. Einsteins generelle relativitetsteori for tyngdefenomener og kvantemekanikken for atomenes mikrokosmos forandret verdensbildet totalt. Redskap til arbeidet med disse matematisk vanskelige teoriene foreligger. Der gir matematikken til Sophus Lie avgjørende bidrag.

Når en ny pengeseddel skal trykkes, bør det være en selvfølge hvilken personlighet som skal avbildes. Vi håper at i en fjern framtid vil det kulturelle nivået hos folket være slik at hendelser fra siste halvdel av 1800-tallet blir omtalt på følgende vis: "Dette hendte i Sophus Lie sin tid."

Henning Knutsen

∞

Audun Holme: Matematikkens historie. Fra Babylon til mordet på Hypatia. Fagbokforlaget, 2001. ISBN 82-7674-678-0, (336 sider) 348 kr.

Matematikken i oldtiden

Det er viktig, men vanskelig å popularisere vitenskap. Folkeopplysning er forutsetningen for kulturell framgang. Matematikkfaget er bygget som en pyramide. Stein legges på stein. Fundamentet må hvile trygt om ikke hele bygningen skal svikte. På opplagte aksiomer og antatte postulater reiser den logiske strukturen av teoremer seg i høyden. Men det går ingen kongeveg til toppen av pyramiden. Det er nødvendig å ta hvert enkelt trinn for å nå opp. Å tilegne seg matematikk er en møysommelig arbeidsprosess.

Professor Audun Holme ved Universitetet i Bergen har nå skrevet ei bok om matematikkhistorie som noen og hver kan ha stor glede av. Boka heter rett og slett "Matematikkens historie", og den omhandler tiden fram til middelalderen når det gjelder Europa. Matematikken hos kineserne, inderne og maya-folket blir også utførlig behandlet, selv om deres virksomhet til dels tilhører ei noe senere tid.

Holme viser at han har stor pedagogisk innsikt. Han stabler ikke matematiske setninger i haug i forrykende tempo. Han blander nemlig de matematiske utlegningene med stadige innslag av allmenn historie fra denne fjerne tidsepoken. Det gir fortellingen dybde, perspektiv og farge. Aktørene blir ikke bare støvtørre regnemaskiner, men levende mennesker i glede og sorg.

Boka er faktisk så velskrevet at den kan leses for det kulturelle innslaget alene. Leseren kan tillate seg å ta lett på matematikken og lese raskt, men overfladisk for spenningens skyld. Det er i alle fall behagelig at leseren får tid til mental hvile mellom de matematiske slagene. Men trolig vinner leseren mest ved å ta seg god tid til å studere matematikken grundig. Da bør det leses med penn i hand, og små regninger må utføres. Derfor er dette en tekst en stadig skal vende tilbake til for å oppnå den vellyst som følger med innsikt.

Det kommer klart fram at ikke bare naturvitenskap og verdensbilde utvikles ved prøving og feiling. Dette gjelder også det logiske språk vi benytter til telling og måling. Matematisk kunnskap er en helt vesentlig forutsetning for ingeniørkunst og astronomi. Men det er et sørgelig faktum at mektige byggverk og skjønn kunst sjelden ble fortært av tidens tann. De ble ødelagt av rå krigere som brente og herjet der de for fram.

Her er mye interessant stoff om hvordan arkeologer har funnet fram gammel matematisk kunnskap blant brente leirtavler og ruiner. Vi følger språkforskernes slit med å avsløre skrifttegn og matematiske symboler. Vi lærer at den pytagoreiske læresetningen var velkjent av de gamle babylonere mer enn tusen år før Pytagoras. Disse folkene kjente også formelen for volumet av en rett avkortet pyramide med kvadratisk grunnflate. Egypternes metode for å gange og dele benyttet et to-tallssystem slik som våre moderne datamaskiner gjør.

De gamle indere innførte begrepet 'null', og de regnet med negative tall. De aksepterte også irrasjonale tall slik som for eksempel kvadratrøtter. Her snublet jo grekerne og prøvde å skjule skandalen når de innså at kvadratroten av 2 ikke kan representeres som en brøk. Inderne innførte også posisjonssystemet med grunntall 10. En skal bare prøve seg på multiplikasjon, for ikke å snakke om divisjon med romertall, for å fatte betydningen av in-

dernes enkle notasjon. Skrivemateriale som pergament og papyrus var meget kostbart, så regnemetoden var viktig rent økonomisk.

Det vil sikkert være nytt for de fleste at en ved å regne på fingrene, ikke behøver å lære hele den vanlige multiplikasjonstabellen, men kan greie seg godt med de 10 produktene av tallene mellom 2 og 5. Holme forteller at disse inderne hadde en sans for humor som minner om spøken fra Dusteforbundet: "Når en mann koker ett egg på 5 minutter, hvor lang tid trenger da 3 mann på å koke 5 egg?"

Omtrent halvparten av boka er viet matematikken hos de gamle grekere. Her møter vi kravet om bevis for matematiske utsagn. Indirekte bevis var en metode som ble benyttet: En antar det motsatte av det en ønsker å vise, og viser så at det medfører en motsigelse. Epimenides fra Kreta ertet folk med utsagnet: "Alle fra Kreta lyver alltid." Zenon påstod at Akilles aldri kunne nå igjen ei skilpadde i kappløp. For skilpadda har hele tiden krøpet litt lengre.

Holme forteller også om opphavet til de tre store klassiske problemene: hvordan benytte kun passer og linjal til å løse sirkelens kvadratur, kubens fordobling og vinkelens tredeling. Det tok flere tusen år før en måtte akseptere at det er prinsipielt umulig å løse disse problemene.

Den allsidige Aristoteles virket som lærer for Alexander den store som erobret så mye av den kjente verden. Aristoteles grunnla den formelle logikk i form av såkalte syllogismer. Litt spøkefullt kan vi si at slutningene følger omtrent følgende mønster:

1) Ingen hund har 2 haler.
2) En hund har en hale mer enn ingen hund.
Konklusjon: En hund har tre haler.

Arkimedes var oldtidens største matematiker. Holme skildrer utførlig dette geniet som fant loven for oppdrift og oppfant diverse maskiner til bruk i krig og fred. Men selv var han mest betatt av teoretiske betraktninger. På grava hans ble det avbildet en sylinder som er omskrevet om ei kule. Forholdet mellom volumene av disse legemene og forholdet mellom overflatene av disse legemene er begge 3:2.

Eratostenes fant omkretsen på jorda, og Apollonius studerte snittene mellom en dobbeltkjegle og et plan. I 1800 år ble disse kurvene betraktet som ganske unyttige. Bare matematikerne hadde respekt for dem. Men disse kurvene viste seg å være nøkkelen til de mest betydningsfulle naturlover. Det bør tjene som en skikkelig advarsel for dem som mener at all forskning skal være matnyttig.

Holme avslutter boka med de kristnes mord på den kvinnelige matematiker Hypatia. Så senket kristendommens mørke av overtro og uvitenhet seg over Europa. Livet var ikke lenger menneskets mål; døden var hovedsaken. Det gikk tusen år før middelalderens religiøse vannvidd mistet makten og fornuften kunne ånde fritt.

Henning Knutsen

∞

Jens Bang: Streiftog i Niels Bohrs tanker. Hernovs forlag, Danmark, 1999. ISBN 87-590-2427-5 (88 sider).

Niels Bohrs tanker

I sin artikkel "The scientist and the statesmen: Niels Bohr's political crusade during World War II, har Finn Aaserud beskrevet Niels Bohrs avhengighet av, alltid og til alle tider på døgnet, å kunne vekselvirke med en hjelper. Hjelperen fungerte som en resonansbunn for Bohr når han verbalt utviklet sine ideer, og hjelperen hjalp til med å få ordene ned på papir. Denne prosessen kunne vare dag etter dag og kunne være en utmattende prøvelse. Men respekten for Bohr var så stor at det å bli utvalgt til å være hans hjelper for en periode, ble ansett som en stor ære. Denne ære ble også den danske fysikeren Jens Bang til del. Den nærhet til Niels Bohrs person og tanker som Jens Bang fikk som hans hjelper, har han gitt videre i sin sjarmerende og gjennomreflekterte bok "Streiftog i Niels Bohrs tanker".

Jens Bangs fremstilling er så avgjort hans eget streiftog. Han har en original og overraskende vinkling av sin diskusjon som gjør at boken er spennende lesning også for de som er fortrolige med Bohrs analyser og tanker.

Mange vil fremdeles tenke på den teoretiske fysikk, slik den fremsto for noe over hundre år siden, som en vakker og harmonisk bygning som forsto naturen som en deterministisk prosess. Bang påviser at denne bygningen sto på et svakt fundament. Han viser at det dypt sett er denne bygning, som vi omtaler som klassisk fysikk, som er uforståelig, og ikke, som vi overflatisk er vant til å tenke, at det er Bohrs ideer og kvantemekanikken som er uforståelig. Selve utfordringen for den klassiske fysikk er stoffets stabilitet. Bang gir en fin diskusjon av hva det deterministiske går ut på i Newtons

beskrivelse av bevegelse: Vi kan regne ut legemenes posisjoner og hastigheter i "det neste øyeblikk" når vi kjenner posisjon og hastighet i "dette øyeblikk". Forutsetningen er at endringene er infinitesimalt små. Bang diskuterer som et eksempel utviklingen av et planetsystem som blir perturbert av et legeme som passerer gjennom systemet. Perturbasjonen kan beregnes med Newtons mekanikk, men hva "der ikke er chance for, er at systemet vender tilbake til sin tidligere tilstand. I hvert fall ikke, når krefterne er konservative". Denne påpekning av at stoffets stabilitet er utenfor rekkevidden av den klassiske fysikk, er meget fortjenestefull. Bang avslutter kapittelet "Den klassiske fysikk" med å stille spørsmålet om Laplaces demon vil kunne gi tilstrekkelig informasjon om randbetingelser til at ethvert klassisk fenomen kan gies en deterministisk beskrivelse og viser at det er fenomener i den klassiske fysikk som blir et nederlag for den samme Laplaces demon: bevegelsen av en blyant som balanserer på sin spiss. Det finnes systemer hvor demonen, selv med de mest nøyaktige data, ikke er i stand til å forutsi systemets oppførsel. Denne diskusjonen har direkte relevans for dagens diskusjon av uforutsigbarheten av klimaendringer, hvor enkelte debattanter, på sviktende grunnlag, bringer Heisenbergs uskarphetsrelasjoner inn i diskusjonen.

I sin diskusjon av Plancks bidrag til kvantefysikken, skriver Bang at Planck skal ha hevdet "at elektromagnetisk stråling alltid forekom i porsjoner, kvanter eller fotoner, hvis energi netop var forbundet med frekvensen..." Det Planck hevdet var at vekselvirkningen mellom stråling og stoff skjedde i porsjoner eller kvanter. Det var først Einstein som så selve strålingsfeltet som kvanter.

Bang hevder at "I 1925 kom så kvantemekanikkens endelige versjon". Etter mitt skjønn har vi ennå ikke sett den.

Diskusjonene mellom Bohr og Einstein om kvantemekanikkens erkjennelsesmessige utfordringer dreier seg om en partikkels eller et kvants "hvilken vei" i et interferensapparat som viser eller ikke viser interferensfenomenet etter de randbetingelser som velges. Einstein utfordret uskarphetsrelasjonene, og derved kvantemekanikkens prinsipielt statistiske karakter, ved å foreslå subtile tankeeksperimenter. Bohr vinner disse diskusjonene. Det sentrale i Bohrs filosofi, knyttet til Einsteins foreslåtte tankeeksperimenter, er ifølge Bang "at det ikke dreiet seg om at underbygge kvantemekanikken med nogle forsøgsresultater eller generelle fakta. Det har alene drejet seg om dens *konsistens*, dens *logiske sammenheng*". I denne sammenheng kom Bohrs komplementaritetsbegrep til å stå sentralt. Bang fremhever i kapittelet "Komplementaritet" at Bohr engang sa at "det er ikke fysikkens opgave at finde ud af, hvordan verden egentlig var, men at finde ud af, hvordan vi kunne tale om den". På grunn av en vedvarende misforståelse vil jeg sitere dette fra Bangs diskusjon: "Bohr fremhevede ofte, at der ikke i kvantmekanikken er noen henvisning til vekselvirkningen med fysikeren som person, hans rolle er kun at vælge mellom forskjellige måleapparater."

På side 41 skriver Bang: "Jo nøyaktigere vi ønsker at bestemme partikkelens posisjon, jo mindre bølgelengde må lyset have, men det betyder desværre , i følge Plancks lov, at energiporsjonerne, fotonerne, bliver tilsvarende større, så forstyrrelsen også bliver det." Kan Bang her ha begått samme feil som Heisenberg gjorde i sin første artikkel om uskarphetsrelasjonene?

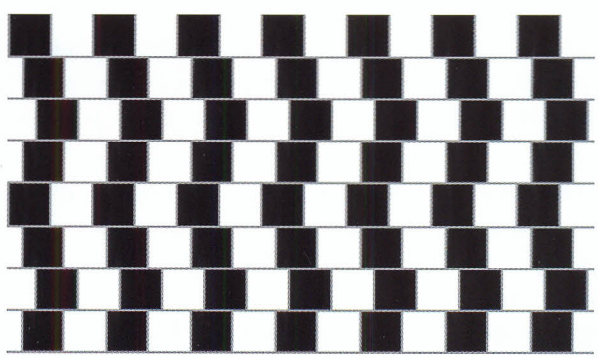
I neste omgang utfordrer Einstein, Podolsky og Rosen, i den berømte EPR-artikkelen, kvantemekanikken som fullstendig naturbeskrivelse. Bang diskuterer Bohrs svar som ikke tilfredsstilte Einstein, og som noen til denne dag heller ikke har slått seg til ro med.

Bang inkluderer til slutt den banebrytende nye måten å se kvantemekanikken på som Aage Bohr og Ole Ulfbeck har presentert i sitt arbeid "Primary manifestation of symmetry. Origin of quantal indeterminacy", fra 1995.

Vi takker Jens Bang for det spennende steiftog i Niels Bohrs tanker han har tatt oss med på.

Kristoffer Gjötterud

∞



Are the horizontal lines parallel or do they slope?

Nye Doktorer

John Ove Fjærestad

Sivilingeniør John Ove Fjærestad har disputert for graden dr.ing. ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) med avhandlingen *Strongly correlated electrons in low dimensions.*

Avhandlingens første del omhandler teoretiske studier av såkalte ikke-fermivæsker, som er metaller hvor vekselvirkningene mellom elektronene har en sterk innvirkning på de elektiske egenskapene. Det mest kjente eksemplet på ikke-fermivæskeoppførsel finner man i den metalliske fasen til høytemperatursuperledere. Disse kompliserte materialene, som består av lag av todimensjonale elektronsystemer, er ennå dårlig forstått. Fjærestad har studert egenskapene til en teoretisk modell for et todimensjonalt elektronsystem som viser ikke-fermivæskeoppførsel. Han har også analysert hvor sensitiv den såkalte "interlayer pair tunneling"-teorien for høytemperatursuperledning er for visse modifikasjoner.

I avhandlingens andre del har Fjærestad beregnet energinivåer i en bestemt type halvleder-kvanteprikker (*quantum dots*) hvor elektronene kun kan bevege seg innenfor et lite sirkulært område med typisk diameter 1/10 000 mm, noe som fører til klart separerte energinivåer. Fjærestad presenterer beregninger av de laveste energinivåer i ultrasmå og ultrastore kvanteprikker, og viser hvordan man kan beregne de laveste energinivåene i kvanteprikker av realistisk størrelse.

Arbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTNU, med professorene Asle Sudbø og Koung-An Chao som hovedveiledere. Fjærestad er nå 'post doc' ved Brown University i Providence, Rhode Island, USA.

∞

Elin Melby

Cand.scient. Elin Melby forsvarte 18. desember 2000 avhandlingen *Thermodynamic and elctromagnetic properties of rare earth nuclei* for dr.scient.-graden ved Universitetet i Oslo.

I doktorarbeidet bestemmes nivåtettheten og γ-styrkefunksjonen fra førstegenerasjons γ-spektra for de sjeldne jordartkjernene ^{161,162}Dy, ^{166,167}Er og ^{171,172}Yb. Kjernene ble dannet med lavt spinn og eksitasjonsenergi fra null og opp til nøytronbindingsenergien ved hjelp av reaksjonene (^{3}He,α) og (^{3}He,^{3}He'). Nivåtettheten og γ-styrkefunksjonen gir viktig informasjon om kjernens indre struktur.

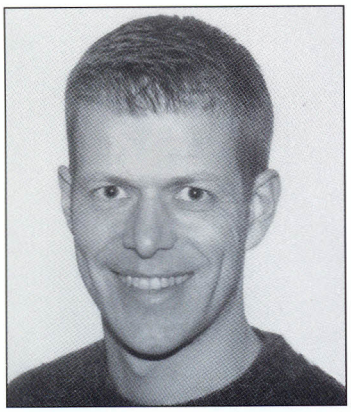
Nivåtettheten er utgangspunktet for å bestemme termodynamiske egenskaper som entropi, temperatur og varmekapasitet i kjernen. Disse størrelsene er bestemt i doktoravhandlingen, og de viser tegn på en faseovergang i kjernematerien fra en fase der parkorrelasjonen mellom nukleonene er svært sterke, til en normal fase ved en temperatur på 0,5 MeV i de studerte kjernene.

Gamma-styrkefunksjonen er et mål på de midlere elektromagnetiske egenskapene til en eksitert kjerne, og er av fundamental betydning for forståelsen av kjernereaksjoner som involverer γ-stråling. En resonans, som er assosiert med den såkalte pygmeresonansen, viser seg rundt 3 MeV i γ-energi i γ-styrkefunksjonene til alle de studerte kjernene.

Doktorarbeidet er en del av et stort prosjekt ved Syklotronlaboratoriet ved Universitetet i Oslo, der både forskningsgruppen ved syklotronen og internasjonale samarbeidspartnere deltar. Veileder har vært professor John Rekstad. Elin Melby er nå forsker i Telenor Forskning og Utvikling.

∞

Kårstein Måseide



Sivilingeniør Kårstein Måseide forsvarte 30. mars 2001 sin avhandling *Tumour oxygenation – experimental and theoretical studies* for graden dr.philos. ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo. Arbeidet er utført ved Gruppe for strålingsbiologi og tumorfysiologi, Avdeling for biofysikk, Det Norske Radiumhospital.

Avhandlingen er et studium av oksygeneringsforholdene i kreftsvulster. Det er kjent at mange svulster har områder med lite oksygen, noe som kan føre til at svulstene blir mer motstandsdyktige mot stråleterapi, samt at de kan utvikle seg til å bli mer ondartede. Måseide har utviklet en ny metode for å måle oksygenkonsentrasjonen i små blodårer, og har vist at oksygentilførselen til vevet kan variere betydelig mellom mikroområder i en og samme kreftsvulst. Den nye teknikken kan benyttes til å tilveiebringe detaljert informasjon om mekanismene som fører til oksygenmangel i kreftsvulster.

Måseide har ved hjelp av andre teknikker også kunnet påvise at en stor del av kreftvevet kun har lite oksygen i kortvarige perioder, noe som trolig skyldes variasjoner i blodstrømmen til kreftvevet. Varigheten av oksygenmangelen vil ha konsekvenser for hvilken behandling som vil være mest effektiv.

Arbeidet har vært finansiert av Den Norske Kreftforening og Det Norske Radiumhospital. Måseide begynner nå et ettårig forskningopphold ved Ontario Cancer Institute i Toronto, Canada, for deretter å fortsette sitt forskningsarbeid ved Det Norske Radiumhospital.

∞

Jørgen Nyhus

Sivilingeniør Jørgen Nyhus disputerte for graden dr.ing. ved NTNU 19. januar 2001, med avhandlingen *Resonant Ultrasonic System Design, and Measurements of Critical Behaviour and Flux-line Elasticity in High Temperature Superconductors.*

Jørgen Nyhus har i sitt doktorgradsarbeide utviklet et ultralydsystem med meget høy oppløsning. Han har konstruert flere ulike måleoppsett for elastiske og magnetiske målinger ved temperaturer fra 3 til 300 K og i magnetfelt fra 0 til 5 T. Det teoretiske grunnlaget for ultralydmetoden er også blitt ytterligere utdypet gjennom arbeidet, med hovedvekt på problemstillinger som fremkommer for prøver tynnere enn 1 mm. Målinger er blitt gjort på ulike superledende materialer med hovedvekt på krystaller av $La_{1,85}Sr_{0,15}CuO_4$. Hovedvekten av arbeidet har vært rettet mot såkalt kritisk oppførsel til superledere. I tillegg til bl.a. å detektere slik oppførsel i elastiske konstanter, også hvor dette tidligere ikke er blitt observert, har målingene påvist dynamisk oppførsel nær den superledende overgangstemperaturen T_c. Målinger av elastiske egenskaper til magnetiske flukslinjegittere i $La_{1,85}Sr_{0,15}CuO_4$ er også blitt utført.

Doktorarbeidet ble utført ved Institutt for fysikk, NTNU, med professor Kristian Fossheim som veileder. Jørgen Nyhus er nå ansatt som seniorforsker ved Bionor AS i Skien.

∞

Trim i FFV

FFVT 2/01

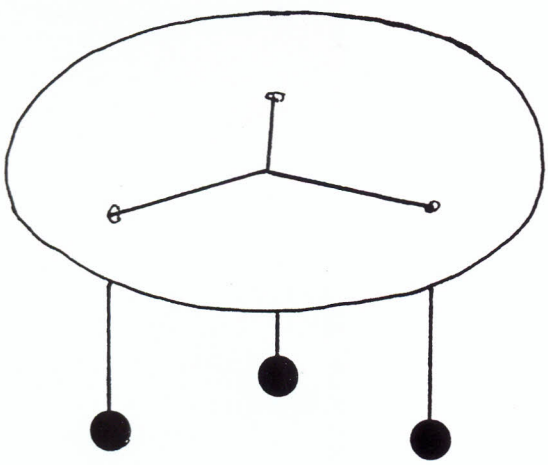
a) To like stålkuler har samme temperatur. Kule A hviler på et horisontalt varmeisolerende underlag, mens B henger i en tynn isolerende tråd. Like store varmemengder tilføres begge. Vil kulene ha samme temperatur etterpå? (Fra fysikkolympiaden 1967.)

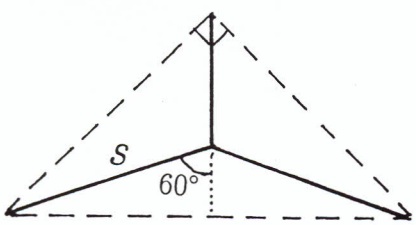
b) Finn de positive heltallene x og y i "årets likning"

$$y^2 - x! = 2001.$$

Løsning FFVT 1/01

En bordplate har tre hull som danner en rettvinklet trekant der katetene er 1 meter. Under hvert hull henger tre like tunge vekter. Tauene som holder vektene går friksjonsløst gjennom hullene og er knyttet sammen på oversiden (se figuren).





Det første spørsmålet var: *Hvorfor plasserer knuten seg slik at minst mulig tau blir synlig over bordplata?* Den potensielle energi til de tre vektene (relativt til bordplata) er lik produktet av massen av en vekt og total taulengde mellom vektene og bordplata, med et minustegn foran. Vektene innstiller seg slik at den potensielle energi er minst mulig, som vil si at total taulengde under bordet er maksimal. Taulengden *over* bordflata blir derfor minimal.

Det andre spørsmålet var: *Hva er totallengden L av tau over bordplata?* På knuten virker samme kraft i hvert av de tre tauene. Skal knuten være i ro må resultanten av disse tre kreftene være null, og det er bare mulig om det er 120° mellom kraftretningene (tauretningene). Dette gjelder for enhver plassering av hullene. Når hullene er plassert i en likesidet rettvinklet trekant kan en lett beregne taulengdene. La den største taulengden mellom knute og hull være s, og la alle lengder være målt i meter. Figuren viser at da vil hypotenusen være

$$\sqrt{2} = 2s \sin 60° = s\sqrt{3},$$

slik at $s = \sqrt{2/3}$. Den korteste taulengden på oversiden av bordet er $\frac{1}{2}\sqrt{2} - \frac{1}{2}s$. Ved å legge de andre taulengdene, hver av størrelse s, til dette blir total taulengde L over bordet lik $\frac{1}{2}\sqrt{2} + \frac{3}{2}s$, dvs.

$$L = \tfrac{1}{2}\left(\sqrt{2} + \sqrt{6}\right) = 1,932\ m.$$

∞

Hvor fort kjører råkjørerne?

Når vi blir forbikjørt av noen som har det usedvanlig travelt, kan vi lure på hvor fort de kjører. Her er en enkel metode til å bestemme råkjørernes hastighet, som også kan egne seg for fysikkundervisning.

Utgangspunktet er at vi blir forbikjørt av en som holder jevnt større hastighet. Vi må ha et speedometer som viser vår hastighet, men ellers trenges ingen hjelpemidler.

Start å telle med 'null' idet råkjøreren passerer. Kjør med jevn hastighet og tell jevnt til råkjøreren passerer et markant punkt. Du må huske tallet du da er kommet til, T_1. Tell videre som før inntil du selv passerer samme punkt. Tallet du da har kalles T_2. Råkjørerens midlere hastighet er da gitt ved:

$$v(\text{råkjører}) = v(\text{egen}) \cdot T_2/T_1$$

Tellehastigheten spiller ingen rolle bare den er jevn. Med en tellehastighet på ca. ett tall pr. sekund bør vi kunne følge råkjøreren med øynene i 20–30 sekunder før han passerer referansepunktet for at usikkerheten ikke skal bli for stor. *God tur!*

Arnt Inge Vistnes

∞

C-BLAD

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

Retningslinjer for forfattere

Fra Fysikkens Verden utgis av Norsk Fysisk Selskap og sendes til alle medlemmer. Disse er vanligvis utdannet fra universiteter og høgskoler med fysikk i sine fagkretser. Men andre kan også abonnere på bladet, og blant disse er elever og biblioteker ved videregående skoler. Bladet gis ut fire ganger i året, i mars, juni, oktober og desember. Tidsfristene for stoff er hhv. 1. februar, 1. mai, 1. september og 1. november. Opplaget er f.t. 1900.

FORMÅLET MED FFV er å gi informasjon til alle med interesse for fysikk, og tidsskriftet ønsker å bygge bro mellom forskere, fysikklærere, studenter og andre interesserte. Ikke minst ønsker FFV å være til hjelp for elever og lærere i vieregående skoler og andre undervisnigsinstitusjoner. Dette krever at artikler og annet stoff er skrevet på en lett og forståelig måte på norsk uten unødig bruk av spesielle faguttrykk og matematikk. Faguttrykk som må brukes må defineres, og matematikken bør være forståelig for vanlige fysikkstudenter. En mindre eksakt verbal form er oftest å foretrekke, men det må brukes standard begreper og enheter. Husk at artiklene i FFV primært skal gi oversikt og informasjon til dem som er utenfor det aktuelle fagfeltet. Artikler som bare kan leses med utbytte av en snever faggruppe, har ingen plass i bladet. Alt stoff blir vurdert redaksjonelt, og redasjonen forbeholder seg rett til å foreta mindre endringer.

MANUSKRIPTER leveres fortrinnsvis på diskett eller som e-post, med papirutskrift i tillegg. Diskettene må merkes med hvilket operativsystem/tekstbehandlingsprogram som er brukt. Manus kan også leveres maskinskrevet med dobbelt linjeavstand.

ARTIKLER bør ikke være lengre enn 6 sider med trykt tekst. Større avsnitt i teksten bør markeres med undertitler. Referanser kreves ikke, men det er ønskelig med en liste over lett tilgjengelig tilleggstoff.

SMÅSTYKKER: bokomtaler, skolestoff, møtereferater, nekrologer etc. mottas gjerne, men de bør ikke være lengre enn 1–2 sider.

DOKTOROMTALER trykkes gjerne, men bør begrenses til ca 0,5 sider inkludert bilde.

ILLUSTRASJONER er en svært viktig del av en artikkel. Legg derfor mye omtanke i figurene og bruk norsk teksting. Figurene vil som regel bli trykket i svart/hvitt. Bare i helt spesielle tilfeller kan figurer trykkes i farger, av økonomiske grunner. Figurene bør helst være i omtrent dobbelt format, og de må ikke være rastrerte. Alle figurer og bilder må merkes tydelig.

Det skal refereres til figurer og tabeller i teksten, og ønsket plassering bør markeres. Hvis forfatterne selv ikke har laget figurene, skal opprinnelsen oppgis. Forfatterne må selv innhente tillatelse til bruk av slike illustrasjoner.

FORSIDEBILDER velges som regel i tilknytning til en artikkel. De må være teknisk gode og kan trykkes i farger.

KORREKTUR: Forfatterne får tilsendt korrektur som må returneres snarest, og det må ikke gjøres unødige endringer i korrekturene.

GRAFISK PRODUSKJON OG TRYKK: OSLO SATS, REPRO & MONTASJE A/S

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

President:
Professor Steinar Stapnes
Fysisk inst., Univ. Oslo.
E-post: steinar.stapnes@fys.uio.no

Visepresident:
Professor Kristian Fossheim
Inst. for fysikk, NTNU, Trondheim.

Styremedlemmer:
Førsteaman. Cecilia Futsæther
Inst. for tekniske fag, NLH, Ås.
Førsteaman. Jan Petter Hansen
Fysisk inst., Univ. Bergen.
Førsteaman. Anders Isnes
ILS, Univ. Oslo.

Selskapets sekretær:
Rådgiver Heidi Bruvoll
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.
Tlf.: 22 85 64 26, Fax.: 22 85 64 22
E-post: heidi.bruvoll@fys.uio.no
Postgiro: 0802 5883889
Bankgiro: 5102.05.42806

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:
Professor Øivin Holter
Professor Finn Ingebretsen
Fysisk inst., Univ. Oslo.

Redaksjonssekretær:
Overingeniør Karl Måseide
Fysisk inst., Univ. Oslo.

Redaksjonskomité:
Professor Noralv Bjørnå
Inst. for fysikk, Univ. Tromsø.
Professor Anne Grete Frodesen
Fysisk inst., Univ. Bergen.
Lektor Ingerid Hiis Helstrup
Langhaugen skole, Bergen.
Professor Per Chr. Hemmer
Inst. for fysikk, NTNU, Trondheim.
Professor Egil Leer,
Inst. for teor. astrofysikk, Univ. Oslo.

Ekspedisjonens adresse:
Fra Fysikkens Verden
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.
Tlf.: 22 85 64 28
Fax.: 22 85 56 71 / 22 85 64 22
E-post:
oivin.holter@fys.uio.no
finn.ingebretsen@fys.uio.no
karl.maseide@fys.uio.no
Postgiro: 0532 1448307
Bankgiro: 6094.05.40227

Fra Fysikkens Verden kommer ut 4 g. årlig.
Abonnement kan tegnes fra ekspedisjonen.
Årsabonnement 120 kr. (Studenter 60 kr.)
Løssalg 40 kr. pr. nummer.