Fra Fysikkens Verden

Nr. 4 – 1992
54. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

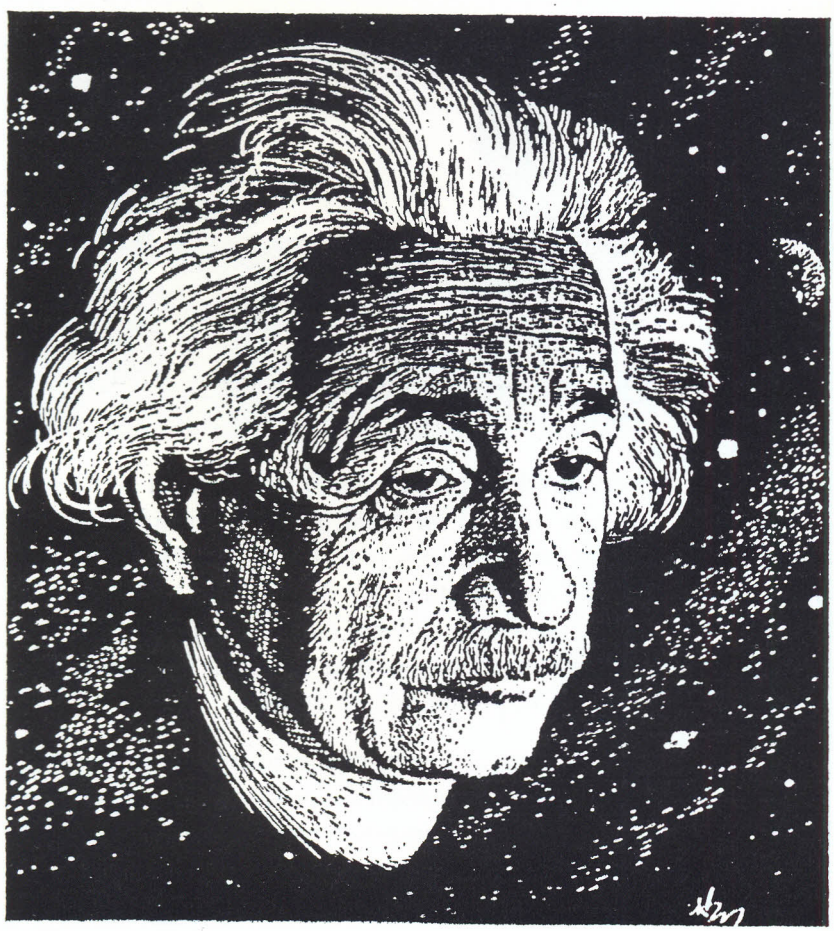
Sven Oluf Sørensen:
Goethes farvelære 87

Øyvind Grøn:
Relativistisk tid 93

Olav Steinsvoll:
Nøytronfysikkens utvikling 100

Fra Redaktørene 86
FFV Gratulerer 86
Bokomtaler 107
Nye Doktorer 109
Dr.ing. Lars Nils Bakken
Trim i FFV 109
Hva skjer 110
Nytt fra NFS 111
Priser til utdeling

ISSN-0015-9247



ALBERT EINSTEIN 1879 - 1955
(Se artikkel Relativistisk tid)

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

Den stadig økende arbeidsledigheten er kanskje det mest alvorlige symptom på den uheldige økonomiske og strukturelle utvikling vi har i landet vårt. Selv om ledigheten i første rekke rammer den ufaglærte delen av arbeidsstokken, har den også begynt å spise seg inn i akademikernes rekker. En nylig utkommet rapport fra NAVFs utredningsinstitutt (Utdanning og arbeidsmarked 1992) viser klare tall. Selv om akademikere kommer relativt heldig ut, er det ikke overraskende at det er de nyutdannede som bærer den største arbeidsledighetsbyrden.

Vi har lest rapporten for å finne ut hvordan sitasjonen er for fysikere, men desverre, rapporten har ikke høyere oppløsning enn kategorien realister. For realister sett under ett er situasjonen noe gunstigere enn for de fleste andre akademikere, men slett ikke tilfredsstillende.

Vi har derfor forsøkt å spore opp fysikere med eksamen avlagt de siste årene fra Fysisk institutt i Oslo. Og selv om vi ikke har funnet alle, merker vi en klar (og gledelig) tendens; fysikere unngår ledigheten.

Vi gjorde en lignende undersøkelse for vel 10 år siden. Den gang observerte vi en markert dreiing i yrkesprofilen etter eksamen. Mens over halvparten av fysikere begynte som lektorer i skolen før 1980, var det i 80-årene praktisk talt ingen som valgte videregående skole som arbeidsplass. Dette i seg selv var, og er i høyeste grad fremdeles, et stort problem. Situasjonen har bedret seg noe, nå går ca. 10% av kandidatene til skoleverket. Det nye nå er at nesten 30% fortsetter som stipendiater med sikte på doktorgrad. Med eller uten dr.scient. (eller dr.ing.) i lomma, fysikerne er fremdeles sterkt ettertraktet på arbeidsmarkedet.

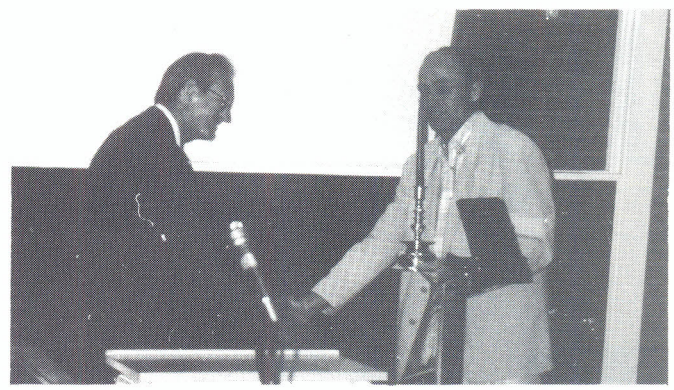
Det er med andre ord god bruk for de fysikere vi utdanner, undersøkelse eller ikke undersøkelse, det har vi forøvrig trodd hele tiden. Det er en gledelig tilgang på dyktige unge mennesker til faget, og kvinneandelen er økende. Imidlertid har fysikk ikke hatt den store økingen av antall studenter som enkelte andre fag har hatt. Bruker vi arbeidsmarkedet som indikator, ser det ut til at mange studenter burde revurdere sitt fagvalg for ikke å utdanne seg til arbeidsledighet. Derfor følgende appell til alle lærere og studenter: "Pass the word".

Forøvrig er det en stor glede for redaksjonen denne gangen å kunne ønske FFVs lesere en riktig **GOD JUL** pre festum!

∞

FFV Gratulerer

Æresmedlemmer av NFS hedret på Fysikermøtet i Stavanger



Eivind Osnes ble overrakt gave og diplom av NFS' president Thormod Henriksen. Osnes ble utnevnt til æresmedlem i 1991, men siden han da befant seg i USA, ble overrekkelsen av gave og diplom foretatt i år. Eivind Osnes har vært NFS' president i 11 år, i tillegg til at han har hatt flere andre tunge verv for norsk fysikk. Han har blant annet vært rådsmedlem i European Physical Society (EPS) og styremedlem i NORDITA.

Haakon Olsen ble utnevnt til æresmedlem av NFS for sin store innsats for norsk fysikk gjennom mange år, for sin lange tid som redaktør av Fra Fysikkens Verden, og som medlem av styret siden 1987. Haakon Olsen har i alle år vært en idéskaper og pådriver i det norske fysikkmiljøet, og har blant mye annet ledet NAVFs CERN-komité i en årrekke.

Samtidig som de to æresmedlemmene har engasjert seg sterkt i fellesanliggender for norsk fysikk, har de begge hele tiden hatt en imponerende vitenskapelig produksjon. FFVs redaksjon gratulerer!

∞

Goethes farvelære – Utvalg og kommentarer ved Torger Holtsmark

Sven Oluf Sørensen *

Siden renessansen, lever i den vesterlandske sivilisasjon to kulturer – en humanistisk, kunstnerisk og en teknisk, naturvitenskapelig. Disse to verdener var i antikken vevet intimt sammen, men er idag adskilt ved en avgrunn. Deres utøvere er helt fremmede for hverandre. I aftenlandenes åndsliv har det vært gjort mange forsøk på å bygge en bro mellom disse kulturer. Tankene går fra Leonardo da Vinci til våre dagers "computerstyrte" kunst. Et av de interessanteste, og samtidig mest heroiske, forsøk på å forene kunsten og naturvitenskapen er Johann Wolfgang von Goethes studier av farvefenomenenes natur.

Nylig er utkommet på forlaget Ad Notam et utvalg av Goethes farvelære, oversatt og kommentert av Torger Holtsmark. Boken er utgitt i samarbeid mellom Institutt for Farge, SHKS og Ad Notam forlag.

Goethes farvelære er inntil relativt nylig blitt kritisk mottatt av profesjonelle fysikere. Dette skyldes i stor utstrekning at Goethe i sitt verk fører en meget temperamentsfull polemikk mot den lys- og farvelære som Isaac Newton fremsatte i sin "Optics" fra 1704. Det er imidlertid ikke usannsynlig at motsetningen mellom Goethe og Newton inneholder mange skinnkonflikter. Det hersker, ikke minst blandt profesjonelle fysikere, en god del uklarhet om hva Goethes farvelære går ut på. Jeg vil derfor tillate meg først å komme med noen generelle betraktninger.

Hvis man gjennom et liv har forsøkt å beskjeftige seg med moderne naturvitenskap og fysikk, så må før eller senere dette spørsmålet melde seg: Hva har disse studier og grublerier egentlig gitt en av dypere forståelse av virkeligheten, av naturen, og av meg selv? Jeg vil forsøke å nærme meg dette spørsmålet på en enklere måte - kanskje litt mere direkte.

For en tid siden var jeg i et selskap hvor min borddame spurte meg: "Hvorfor er blå blått?" Jeg svarte at hvis hun for eks. mente hvorfor himmelen var blå, så kunne jeg gi en fysisk forklaring på det. Og jeg redegjorde på servietten for lyset som elektromagnetiske bølger, at sollyset når det går gjennom atmosfæren spres på luftmolekylene, og at denne spredning er omvendt proporsjonal med kvadratet av bølgelengden slik at det kortbølgede, blå lyset vil bli spredt mest og derfor fylle hele atmosfæren. Min borddame svarte at det var vel og bra, men "jeg ser ikke noe blått i formlene dine. Hvorfor er det blå blått? Hvorfor har jeg den helt spesielle sanseopplevelsen, persepsjonen, av blått? - Da måtte jeg kapitulere og si at det visste jeg ikke. Denne bevissthetsopplevelse av en spesiell farve er utenfor den moderne fysikks naturbeskrivelse. Men selve problemstillingen har stått sentralt i vitenskapelig og filosofisk debatt siden antikken.

Mange har forsøkt å løse problemet ved å lage et skarpt skille mellom det man kaller de objektive, primære og de subjektive, sekundære sansekvaliteter. Til de første hører tingenes utstrekning, form og bevegelse - ikke bare de materielle legemers - men også for eks. elektromagnetiske felter som er bærere av lysbølger. Disse primære sansekvaliteter er "målbare" og gjenstand for en eksakt, kvantitativ, matematisk behandling.

Til den annen, sekundære, sansekvalitet hører "uklare sjelelige" fornemmelser som farve, smak, duft, smerte etc. Man kan si det er de kvalitative egenskaper ved fenomenene. De primære sansekvaliteter er tenkt som egenskaper ved de "ytre", objektive årsaker til sanseformemmelsene, mens de sekundære er de "indre", rent subjektive virkninger av disse årsaker.

Med relevans til farvefenomenene kan man si: I den ytre verden er den elektromagnetiske bølgen. Denne fremkaller i øyet, derefter i synsnerven og til slutt i hjernecellene visse fysiske og fysiologiske prosesser. Men til tross for en meget avansert sansefysiologisk forskning, kan ikke moderne vitenskap si noe som helst om hvorledes disse materielle prosesser på en gåtefull måte transformeres over til farveopplevelsen "blått." Her er det på en måte en grenselinje, en barriere mellom en "ytre" verden som kan beskrives kvantita-

* Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

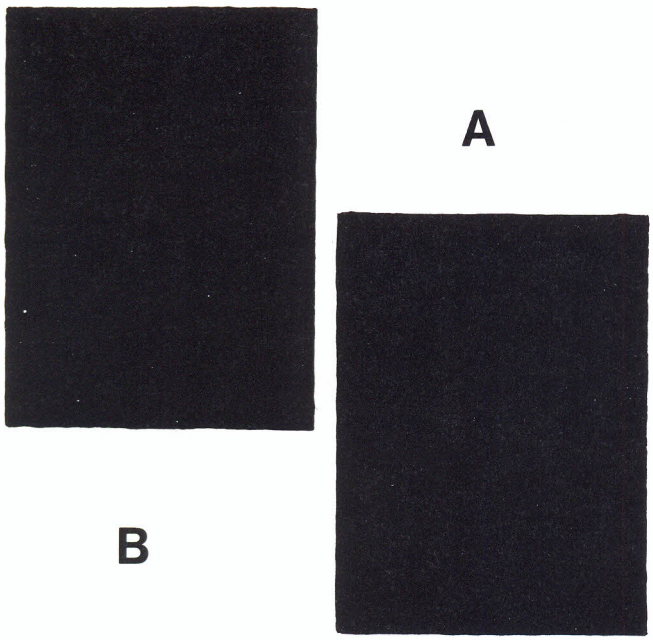


Fig.1. Til illustrasjon av forskjellen mellom Goethes og Newtons synspunkter på dannelsen av spektralfarvene. Se tekst.

tivt, matematisk, og en "indre" verden av "kvaliteter". - På den annen side må det være en vekselvirkning mellom disse to verdener. Den ene kan ikke eksistere uten den andre. Men da er det nærliggende å tenke at denne "indre verden" av subjektive sanseopplevelser som for eks. farver, til en viss grad også må tilhøre de ytre, objektive sanseopplevelser. Man skulle derfor kunne tenke seg at den ovenfor nevnte grenselinje kunne forskyves.

Mange mennesker oppfatter Goethes naturvitenskapelige arbeider, og spesielt hans farvelære, som et forsøk på å flytte denne grenselinje - kanskje fjerne den helt. Goethe forsøker å innkorporere kvalitet og fornemmelse i de primære sansekvaliteter. I en sterkt forenklet form kan man si, med fare for å være banal, at Goethe i sin farvelære forsøker å lage en vitenskap for det kvalitative.

Goethes studier av farvenes natur strekker seg i tid fra ca. 1790 til hans død i 1832. Goethe tillegger selv disse arbeider en sentral plass i sitt liv, og uttaler:

"Jeg gjør meg slett ingen store tanker om noe av alt det jeg har ydet som poet. Det har levet fortreffelige diktere samtidig med meg. Det levet enda mere fortreffelige før meg, og efter meg vil det stadig komme nye. Men at jeg i mitt århundre er den eneste som vet det rette i farvelærens vanskelige vitenskap, det er jeg litt stolt av. Her har jeg en bevissthet om å ha ydet mer enn de fleste."

Hoveddelen av Goethes farvelære inneholdes i trebindsverket *"Zur Farbenlehre"* som utkom i årene 1808-1810 og inneholder en historisk, en didaktisk og en polemisk del. I Leopoldina-utgaven av Goethes naturvitenskapelige skrifter fyller det 925 tekstsider og 80 plansjer. Goethes øvrige avhandlinger og studier til farvelæren fyller 727 sider, og i *"Corpus der Goethezeichnungen"* finner man ytterlige 390 optisk-kromatiske skisser og konstruksjoner.

Av dette omfattende materiale har Holtsmark gjengitt bare et mindre utvalg som kan belyse verkets grunnleggende idéer. Han sier det er ment som et preludium som kanskje kan vekke lysten hos leseren til å gå videre på egen hånd. Holtsmark understreker Goethes ord om at farvelæren ikke kan tilegnes gjennom lesning, men må "gjøres". Boken er derfor forsynt med et forsøksutstyr av plansjer og farvefolier. Plansjene er delvis gjort efter mønster av Goethes opprinnelige, dels har Holtsmark selv konstruert dem for å understøtte forståelsen av teksten. Dessuten følger et prisme og en linse med boken slik at man egenhendig kan utføre de eksperimenter som Goethe beskriver. Dette letter i vesentlig grad tilegnelsen av stoffet, for ikke å snakke om den estetiske nytelse det er å reprodusere alle de forsøk som omtales. Holtsmarks plan-

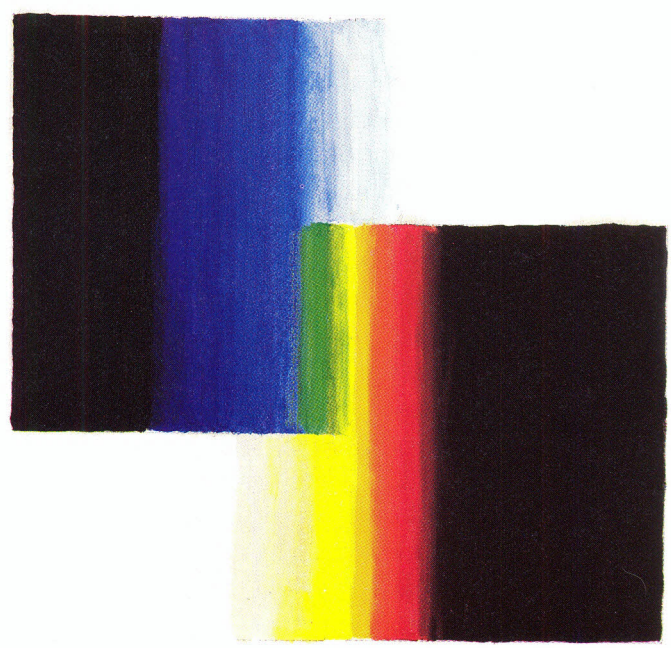


Fig.2. Figur 1 sett gjennom prisme som angitt i teksten.

sjemateriale er førsteklasses utført og meget instruktivt.

Goethes studier over farvenes natur ble utført for ca. 200 år siden, dvs. ca. 100 år før *Maxwells* og *Hertzs* elektromagnetiske teori for lysbølger, og ca. 150 år før den moderne kvanteteori for lyset. Det er derfor meget riktig og nødvendig at Holtsmark, med sin bakgrunn i moderne fysikk, på en rekke steder i teksten kommer med kommentarer og korrektiv til Goethes fremstilling.

Goethes *"Zur Farbenlehre"* starter med en historisk del. Denne regnes fremdeles som et ledende referanseverk for farveteorienes utvikling frem til ca. 1800. Av denne del har Holtsmark vesentlig tatt med "Forfatterens historie" (Konfession des Verfassers), som gir en meget interessant, og tidshistorisk sjarmerende fremstilling av hvorledes Goethe selv kom frem til sine studier av farvenes natur. Man erfarer da noe som de fleste opplever ved naturvitenskapelige studier: Hvis man skal forsøke å tilegne seg kunnskap om et emne, kan man lese om det i en lærebok. Da får man hele stoffet servert i en velfrisert og elegant form. Men man må huske på Albert Einsteins ord: "Søker du sannheten, så overlat elegansen til skreddere." Hvis man derfor går til originalavhandlingene om emnet får man en mere ekte, og i grunnen bedre pedagogisk fremstilling av stoffet. Men aller mest instruktivt er det å snakke med forskeren personlig, eller å lese dennes egen redegjørelse, for eks. i dagboksform, om hvorledes en vitenskapelig oppdagelse er fremkommet.

Den didaktiske del inneholder de sentrale idéer i Goethes farvelære. Farvefenomenene blir her diskutert fra fire grunnleggende aspekter, nemlig som "fysiologiske", "fysiske" og "kjemiske" farver og farvenes "estetisk-etiske" virkninger.

Holtsmark har gjengitt Goethes undersøkelser over de fysiologiske farver forholdsvis fullstendig. Dette emnet handler om farveopplevelsen som en virkning av synsorganets funksjoner, og omfatter fenomener som "farvede skygger", "efterbilleder", "patologiske" farver etc. Det er denne delen av Goethes farvelære som har høstet størst anerkjennelse hos det vitenskapelige "establishment", og har på mange punkter blitt sett på som grunnleggende for videre forskning. Blandt annet regnet den berømte sansefysiologen *Johs. Mueller* med *"loven om de spesifikke sanseenergier"*, seg som elev av Goethe. Holtsmark har forsynt Goethes tekst med meget omfattende og klargjørende kommentarer, og man kan ikke nok anbefale leseren å efterprøve de mange interessante forsøk over for eks. efterbilleder og farvede skygger.

Avsnittet i den didaktiske del om de fysiske farver handler om farvefenomenenes fysiske grunnlag. Dette representerer den mest kontroversielle del av Goethes farvelære, og forfatteren synes her å være på kollisjonskurs med Newton og hele den senere tids forskning i optikk og lyslære. Motsetningen mellom Goethe og Newtons teorier kan kanskje best illustreres ved deres synspunkter på sammenhengen mellom farvefenomenene og det hvite lys.

I *Newtons optikk* er den homogene, rene farve det primære element, mens det hvite lys er resultatet av den kompliserte prosess som oppstår når lys av alle spektrets farver samtidig faller på et øye. Dette synspunkt ble selvfølgelig enormt forsterket av *Maxwells og Hertz's elektromagnetiske teori* for lyset, hvor den monokromatiske farve beskrives matematisk som assosiert med en elektromagnetisk bølge med en bestemt frekvens og hastighet.

Goethes optikk virker ved første øyekast som det diametralt motsatte av Newtons. Goethe oppfatter det hvite lys som det enkle, det primære, og farvene som et "avledet" fenomen som oppstår når det hvite lyset sendes gjennom et materielt medium. Goethe opererer med det han kaller "urfenomenet", som er det fenomen som lar farvene tre frem av det hvite, "ikke sammensatte" lys.

Man kan illustrere forskjellen mellom Goethe og Newtons synspunkter på dannelsen av spektralfarvene ved å se på figur 1. Her har vi tegnet to sorte flater som ligger forskjøvet i forhold til hverandre slik at det oppstår en spalt. Hvis man iakttar dette bilde gjennom et prisme hvis brytende kanter er parallelle med spalten, og en av sideflatene parallell med papirets plan, vil man ved å forskyve prismet mot venstre se et farvebillede som i figur 2. Spalten forvandles til et vanlig *Newtons spektrum*, mens i den øvre og nedre del av figuren oppstår farverender. Newtons forklaring av disse farvefenomener er selvfølgelig velkjendte. Spaltens forvandling til et farvespektrum skyldes at lys av forskjellig bølgelengde brytes forskjellig gjennom prismet. Og dannelsen av randfarvene kan man best forstå ved å tenke seg de hvite områdene A og B i figur 1 som en tett sammenpakning av spalter. Det hvite lyset fra hver av disse spaltene vil, når de sees gjennom prismet, gi opphav til et Newtonsk spektrum. Når disse overlagres, vil randfarvene dannes.

I Goethes farvelære rettes derimot interessen mere mot randfenomenene. I Newtons teori er mørket bare "fravær av lys." I Goethes farvelære tar imidlertid mørket en aktiv del i farvenes tilblivelse helt likeverdig med det hvite lys. Goethes synspunkt er at de kalde farver oppstår når mørket modifiseres av lys. De blåfiolette farverendene i den øverste del av figur 2, mener Goethe oppstår ved at den høyre del av figuren, det hvite feltet A, under brytningsprosessen forskyves mot venstre i forhold til det sorte feltet. Goethe hadde en forestilling om at en mørk flate iakttatt gjennom et delvis gjennomskinnelig, lysende hvitt legeme fører til de kolde farvene. Himmelens blå farve oppstår ved at en mørk bakgrunn - verdensrommet - sees gjennom et opplyst, uklart medium som atmosfæren.

De rød-gule farverendene i den nederste del av figur

2, tenkte Goethe seg oppstår på tilsvarende måte. Ved brytningsprosessen i prismet vil det sorte feltet delvis komme til å formørke det hvite feltet B, og dette fører til de varme farvene. Soloppgangens farver forklarer Goethe ved at vi ser lyset fra solen gjennom et fordunklende, uklart medium - atmosfæren. Når solen er nærmest horisonten, vil solstrålene måtte passere gjennom en maksimal mengde av materie og derfor synes rød. Efter som vi ser solen stige gjennom gradvis tynnere luftskikt, beveger farven seg via orange og gult i retning av hvitt.

Fra Goethes behandling av "Fysiske farver" har Holtsmark valgt å gjengi avsnittene om de *katoptriske farver* (speiling) og *dioptriske farver* (spredning, brytning) med vesentlig vekt på de forsøk og betraktninger som begrunner Goethes "urfenomen". Holtsmarks kommentarer til disse emner er relativt omfattende, og representerer et meget verdifullt og høyst interessant vitenskapelig og vitenskaphistorisk bidrag til denne utgaven av Goethes farvelære. Dette skyldes i ikke liten grad Holtsmarks egne studier og eksperimenter over farvefenomenenes natur.

Holtsmark har utelatt Goethes behandling av de "Kjemiske farver" med den begrunnelse at den tids terminologi og forestillingsmåte ligger så fjernt fra våre dagers kjemi at kapitlet ville trenge en egen bearbeidelse for å bli allment tilgjengelig.

Kapitlet i den didaktiske delen om "farvenes estetisk-etiske virkning" representerer fra Goethes side bl.a. et forsøk på en vitenskap om maleriet. Det var faktisk dette problem som først førte Goethe inn på hans studier over farvefenomenene. På sin italienske reise hadde han beskjeftiget seg meget med farveproblemet i den hensikt å oppspore de lovmessigheter som ytrer seg i den bildende kunst. Efter hjemkomsten fra Italia, besluttet han seg til å studere saken nærmere med vitenskapelige hjelpemidler som prismer og linser. I kapitlet "Forfatterens historie" har Goethe meget levende skildret dette utgangspunktet for sine livslange studier av farvefenomenenes natur.

Det er ingen grunn til å stikke under en stol at Goethes farvelære gjennom årene har møtt en meget sterk kritikk fra det vitenskapelige establishment. Særlig har Goethes polemikk mot Newton bidratt til å skape en reservasjon hos profesjonelle fysikere mot Goethes forestillinger. Dette er selvfølgelig blitt ytterligere forsterket ved at den moderne fysikks verdensbilde i sin helhet er basert på Newtons idéer og teorier. En vanlig måte å forsøke å "redde Goethe" på, er å si at Newtons farvelære har ført til den moderne optiske teknologi, mens Goethes arbeider er for kunstmalere. Med hensyn til det siste, er det en kjensgjerning at en rekke malere som *Delacroix, Turner* og i vårt århundrede bl.a. *Kandinsky, Klee og de tyske ekspresjonistene*, har studert og blitt påvirket av Goethes farvelære. I Norge kan man for eks. av maleren *Thorvald Erichsens* etterlatte notater tydelig se at han har studert Goethes farvelære. - Ikke minst har imidlertid Holtsmarks egne vitenskapelige arbeider og forelesninger over Goethes farvelære vakt stor interesse blant utøvende bildende kunstnere, på Universitetet og blant lærere og elever på Statens håndverks- og kunstindustriskole i Oslo. Det vil i den forbindelse være riktig å minne om dikteren *André Bjerkes* mangeårige beskjeftigelse med Goethes farvelære.

La meg allikevel få komme med en kommentar til formelen *"Newton for brillemakere og Goethe for kunstmalere."*

Jeg tror de fleste vil mene at den siste virkelig store epoken i den vesterlandske kunsthistorie er *impresjonismen* representert ved navn som Monet, Renoir, Pissarro, Sisley osv., hvor en helt ny farveskala, og fremfor alt selve lyset, ble fremherskende i maleriet. Men disse malere studerte og diskuterte også farveteorier.

Neo-impresjonister som Seurat og Signac, ville direkte "konstruere" vitenskapelig baserte malerier. En av deres idéer var å utvikle en "pointillisme" som gikk ut på at maleren i stedet for brede penselstrøk setter farven på lerretet i form av små prikker, slik at farvene blandes for øyet når man ser bildet på en viss avstand. Derved oppnåes en maksimal lysvirkning. Men disse malere var inspirert av *Ostwalds farveteorier*. Og fra disse går det en direkte linje til *Hermann v. Helmholtz* som igjen bygger på Newtons optikk.

Et meget interessant aspekt ved denne fremstilling av Goethes farvelære er Holtsmarks bestrebelser på å vise at Goethe så for seg en vitenskap om verden som et "bilde" i videste forstand, selv om dette for Goethe var en noe vag idé. Dette er vel et sentralt og fundamentalt trekk ved Goethes generelle naturoppfatning som, sterkt forenklet, kan uttrykkes ved å si at for å forstå et differensielt sammensatt system, må det betraktes som en helhet. Man skal selvfølgelig være ytterst forsiktig med å trekke anstrengende analogier, men man kan ikke unngå ved lesning av Holtsmarks synspunkter og kommentarer å la tankene gå til dyptgripende idéer innen moderne atomteorier.

I de siste par hundre år har naturvitenskapen, og selvfølgelig særlig fysikken, vært preget av en sterk "reduksjonisme", dvs. at man har forsøkt å forstå naturfenomene ved å "atomisere" dem. Den materielle verdens struktur, såvel den livløse som den levende, tilbakeforer man til et samspill mellom mindre og mindre byggestener - molekyler, atomer, atomkjerner,

protoner, nøytroner, kvarker osv. Men man har en anelse om at det mistes noe meget vesentlig under denne oppløsningsprosessen. Nå viser det seg at den moderne atomteori, kvanteteorien, som er konstruert for matematisk å beregne disse elementærpartiklers struktur og vekselvirkninger, inneholder trekk som har karakter av en helhetsbeskrivelse ("holisme", "non-locality"). I beskrivelsen av atomære prosesser må den makroskopiske apparatur, instrumentkonfigurasjon og selve måleprosessen tas med i den komplette behandling av fenomenet. Problematikken er antydet i tittelen på fysikeren Werner Heisenbergs selvbiografi "Helhet og del." Og ord som "holisme", "finalitet" etc. er idag nesten blitt moteord blant naturfilosofer.

I tillegg til sine tallrike kommentarer i teksten avslutter Holtsmark denne utgaven av Goethes farvelære med noen bredere kommentarer til bestemte deler av stoffet. Disse, som delvis er inspirert av Holtsmarks egne omfattende eksperimenter over farvefenomenenes fysikk, er meget interessante og nyttige for forståelsen av emnet.

Holtsmark starter med noen betraktninger over farvesirklenes kulturhistorie. Han viser hvorledes Goethes konsepsjon av farvefenomenene har flere likhetspunkter med Platons idéer enn med Leonardo og renessansens forestillinger, som i mange deler henger igjen i middelalderens teologiske tradisjon. Man minnes Goethes egne ord: "Jeder sei auf seine Art ein Grieche."

Helt sentralt i Goethes farvelære, ikke minst med hensyn til det tilsynelatende motsetningsforhold til Newtons synspunkter, står den delen som omfatter de fysiske farver. Goethe har i sitt verk gått kritisk gjennom flere av de grunnleggende eksperimenter i Newtons "Optics" og tolket dem ut fra sin egen oppfatning av fenomenene. Det er her det anbefales leseren å selv gå gjennom de forsøk som er beskrevet ved hjelp av det vedlagte plansjematerialet og det optiske utstyret. Man vil da på en meget instruktiv måte bli ført inn i Goethes tankeverden. Holtsmark gir i sine kommentarer en kort innføring i lysbrytning og optisk billeddannelse som letter forståelsen av forsøkene. Denne fremstilling er helt objektiv og er på enkelte punkter kritisk innstilt til såvel Goethes som Newtons tolkninger av fenomenene. - Goethes ordvalg i den polemiske del kan på enkelte punkter være meget skarp, og det er sannsynlig at dette forhold har bidratt til å gjøre forskjellige fysikere reservert til hans farvelære. Holtsmarks redegjørelse og kommentarer gjør det nærliggende å mene at denne polemikk til en viss grad har karakteren av en skinnkonflikt, et inntrykk som bekreftes ved at Goethe etterhvert distanserte seg fra den polemiske tonen, og bestemte at denne del ikke skulle gjelde som del av hans samlede verk.

Sentralt i Goethes farvelære står hans understreking av farvens subjektiv - objektive dobbeltnatur, noe som kommer til uttrykk i hans stadige veksling mellom subjektive og objektive eksperimenter. Disse forhold søker Holtsmark å belyse i sine sluttkommentarer ved en kortfattet oversikt over fenomen som nimbus, lyskrans, glorie og halo.

Det spørsmål som til slutt må melde seg ved lesning av dette arbeid er: Hvilken verdi har Goethes farvelære idag, spesielt for moderne naturvitenskap? Min erfaring er at det her er et meget bredt spektrum av oppfatninger.

Det finnes mange som hevder at Goethes farvelære er helt verdiløs - at den bare har vakt interesse fordi den er fremsatt av en stor dikter. Og at den må sees som et "uhell" i Goethes liv i klasse med den unge Wolfgangs kvinnfolkshistorier.

Da må jeg tilstå at det er vanskelig å forstå hvorledes en av de største personligheter i den menneskelige kulturs historie kunne ofre en meget vesentlig del av sitt liv på noe som skulle være et tomt tankespinn. Så har også Goethes farvelære i store kretser, ikke minst blant ledende fysikere som Born[1] Heisenberg[2], Heitler[3], Weizsaecker[4] m.fl. vakt den aller største interesse, og er omtalt i meget positive vendinger i deres arbeider.

Tillat meg derfor, på bakgrunn av disse to motsatte vurderinger av Goethes farvelære å komme med noen personlige synspunkter.

I de sivilisasjoner som for 4 - 5000 år siden levet i orienten hadde mennesket en naturoppfatning som var fullstendig ikledd mytologiske billedformer. Deres naturlover var resultatet av antropomorfe guders beslutninger.

Med de greske naturfilosofer ca. et halvt årtusen før Kr. skaptes noe helt nytt i aftenlandenes kulturhistorie. Man kan nesten være fristet til å tro at en ny bevissthetsform førte mennesket til å søke bak den umiddelbare naturiakttagelse til de dypere årsaker til fenomenene. Man kan kalle disse første grekeres primitive naturlover med himmelsfærer, episykler, spekulative materiebegreper og tvilsomme bevegelseslover for naive og hjelpeløse, men man kan ikke fraskrive dem denne gigantiske åndsbedrift: De skapte naturvitenskapen. Og igrunnen har naturvitenskapen kjørt i det samme sporet siden den gang, med stadig økende hurtighet og presisjon - og muligens med skjebnesvangre følger for den menneskelige sivilisasjon.

Det ville være et understatement å si at det moderne verdensbillede er et imponerende byggverk. De

faktiske forhold er vel at det er dette byggverk som er det tyvende århundredes kultur. Av dette forhold er det mange som er blitt ledet til å tro at naturvitenskapen idag nærmer seg en altomfattende, endelig beskrivelse av naturen. La oss imidlertid høre hva de største pionerene i fysikken sier:

Isaac Newton uttaler: "Jeg er som en liten gutt som har lekt ved havstranden og moret meg med av og til å ha plukket opp en pen sten eller et vakkert sneglehus - mens sannhetens store osean lå uutforsket foran meg." *Albert Einstein* taler et sted om at "vitenskapen bare kan løfte litt på det slør som skjuler universet, hvis opphøyede struktur vi bare aner et svakt gjenskinn av, og hvis dypeste hemmeligheter er utilgjengelig for menneskene." *Werner Heisenberg* sier: "All vår naturvitenskapelige erkjennelse svever over et uendelig dyp av det irrasjonelle."

Slike uttalelser kan suppleres med utallige lignende som synes klart å hevde at man ennå er uendelig langt fra en tilfredsstillende beskrivelse av verden omkring oss. Den kausal - kvantitative naturvitenskap som moderne fysikk representerer, gir ikke noget fullstendig billede av den virkelighet vi tilhører. Den kan beskrive et enkelt aspekt av universet på en måte som en projeksjon av verden i et "plan" som utelukkende behandler fenomenene kvantitativt og kausalt (eller kvantemekanisk semikausalt). Disse forhold gjør det legitimt å spekulere på om det i fremtiden vil kunne oppstå nye former for naturvitenskap, kanskje i forbindelse med hittil slumrende bevissthetsformer hos mennesket.

I moderne forskning i fysikk merker man seg en stadig intensere diskusjon om forholdet mellom en naturvitenskapelig beskrivelse av verden og menneskets "bevissthet." I særlig grad trekker man inn den moderne atomteori, "kvantemekanikkens", relevans til problemet. Det synes å herske alminnelig enighet om at selve bevissthetsopplevelsen, for eks. i form av følelsen for en bestemt farve, er fullstendig utenfor fysikkens skjemaer for naturlover. Ingen kan i en fysikkbok støte på en størrelse som måler "følelsen av blått" hos et menneske. Mange mener at dette for alltid vil være utenfor en kvantitativ behandling. Allikevel er jo for eks. en spektralfarve intimt knyttet til en elektromagnetisk bølges frekvens, og derfor igrunnen et reelt, objektivt fenomen som skulle kunne bli gjenstand for en vitenskapelig undersøkelse. Farven er en ingrediens av virkeligheten og tilhører derfor til en viss grad den "ytre verden".

Det er innen denne kontekst at jeg tror man må forsøke å plassere Goethes farvelære. Begrepet bevissthet er selvfølgelig et uendelig komplisert og vanskelig fenomen. Men persepsjonen av farve er en bevissthetsopplevelse i en sterkt forenklet form og er derfor enklere å diskutere. Synet av farver er vel den mest dagligdagse av alle opplevelser. Men man tenker aldri på at denne observasjon faktisk er et transcendent fenomen.

Det er ingen tvil om, og vel naturlig, at Goethes studier av farvefenomene virker fremmedartede på en moderne fysiker. Goethes farvelære kan sikkert synes helt primitiv hvis den sammenlignes med den moderne kvantemekaniske beskrivelse av optiske fenomener. Men hvis man virkelig fordyper seg i Goethes studier, finner man gradvis ut at her spørres det på en annen måte. Problemstillingen er delvis en annen - den peker ut over den konvensjonelle rom-tid-beskrivelse av lysfenomenene som den moderne fysikk representerer.

Den matematisk - fysiske beskrivelse av naturen tar ofte utgangspunkt i bestemte aksiomer. I den klassiske mekanikk kan man for eks. tenke på Newtons grunnlover. I Goethes naturoppfatning kan man til en viss grad si at idéen om "urfenomenet" spiller en tilsvarende rolle. I sin farvelære forsøker Goethe å operere med farvene slik vi umiddelbart iakttar dem, dvs. utelukkende med deres kvalitative egenskaper. Basert på urfenomenet lykkes det ham å gi en logisk sammenhengende fenomenologisk fremstilling av farvene og deres innbyrdes vekselvirkning.

Med fare for å banalisere kunne man i en uhyre forenklet sprogbruk kanskje tenke seg at Goethes naturoppfatning forholder seg til de siste to-tre tusen års vitenskapelige paradigmer som disse igjen forholder seg til de før-greske, mytologiske verdensbilder. Man kan ikke fri seg fra følelsen av at man i Goethes idéer aner et enormt "potensial."

Vi nordmenn er filosofisk sett et meget konservativt folk. Virkelig revolusjonerende nye idéer i religion, vitenskap og kunst har sjelden dukket opp hos oss. Vi har vel gjennom historien hatt vår fulle hyre med å samle føden og holde kulda ute. Det er derfor av meget stor betydning i vårt kulturliv at vi får en litteratur som Holtsmarks utgave av Goethes farvelære. Vi har selvfølgelig bare rukket å kommentere spredte trekk ved dette meget verdifulle og imponerende arbeid. Og jeg tror med sikkerhet at svært mange, såvel naturvitenskapsfolk som kunstnere, vil få meget igjen av å fordype seg i den problematikk som verket representerer.

Det er vel et alminnelig anerkjent vitenskapsfilosofisk synspunkt at for beskrivelsen av et fenomenkompleks kan man lansere et uendelig spektrum av teorier. Selvfølgelig vil bare et meget begrenset antall av disse være av interesse på grunn

av at de besidder en overlegen evne til kvantitativ beskrivelse av naturprosesser og prediksjon av nye fenomen. Men man må alltid ha det for øye at enhver teori bare har et begrenset gyldighetsområde. Newtons mekanikk er ikke tilstrekkelig for beskrivelsen av meget store kosmologiske rom-tid fenomen. Og både Newtons mekanikk og Maxwells elektrodynamikk er ikke gyldige ved beskrivelsen av atomære prosesser. - Fra vitenskapsteoretisk synspunkt er Goethes farvelære et meget interessant og tankevekkende eksempel på en stringent, logisk oppbygget naturbeskrivelse. På visse områder er den selvfølgelig totalt underlegen den moderne fysikks teori for optiske fenomen. På andre erfaringsområder derimot, peker den utover våre etablerte forestillinger om fysikalske prosesser, og beskriver fenomen som ikke behandles av Newtons teorier. Disse forhold legitimerer at man i moderne fysikk bør interessere seg for Goethes idéer.

Ikke minst tror jeg at aktive billedkunstnere kan finne inspirasjon i de tanker som Goethes farvelære inneholder til direkte nye uttrykksformer. - Tidligere tiders malere hadde en årelang, grundig skolering i billedkunstens og farvefenomenenes problematikk. Denne er idag muligens svekket ved de moderne kunstneres tendens til historieløshet og sterke vekt på individuell personlighetsutfoldelse. Man skulle av og til tro at de bestreber seg på å leve efter Goethes ord:

"Grau, teurer Freund, ist alle Theorie."

Men da skal man merke seg at det er ikke Faust som uttaler disse ord:

Det er Mefisto.

Referanser

1. M. Born: Die Naturwissenschaften, **50, Heft 2,** 29 (1963)
2. W. Heisenberg: *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft.* Verlag S. Hirzel, 58 (1944)
3. W. Heitler: *Mennesket og den naturvidenskapelige erkjennelse.* Servolibris (1963)
4. C.F. von Weizaecker, *i E. Heimendahl: Licht und Farbe.* Verlag Walter de Gruyter, Berlin (1961)

∞

RELATIVISTISK TID

Øyvind Grøn *

Det relativistiske samtidighetsbegrepet undervises nå i den videregående skole. Begrepet er sentralt i den spesielle relativitetsteorien. Med utgangspunkt i Michelson-Morley eksperimentet vises her hvordan Einstein løste en tilsynelatende konflikt mellom relativitetsteoriens to postulater ved å foreskrive hvordan klokker i ulike posisjoner kan synkroniseres. Dette leder til den relativistiske kinematikk med bl.a. den hastighetsavhengige tidsforlengelsen og det berømte "tvillingparadokset" som konsekvenser. Den generelle relativitetsteorien innebærer en tilsvarende posisjonsavhengig gravitasjonell tidsforlengelse. Vi skal her se hvordan Einstein resonnerte for å forklare denne effekten, og hvilken betydning den har for en fullstendig oppklaring av "tvillingparadokset".

Innledning

Einsteins spesielle relativitetsteori er basert på to postulater: (1) Ethvert ikke-akselerert referansesystem kan betraktes som i ro (relativitetsprinsippet). (2) Lyshastigheten i vakuum er isotrop og uavhengig av hastigheten til lyskilden. Ifølge den Galileiske kinematikk er disse postulatene i strid med hverandre fordi lyshastigheten i forover- og bakoverretning ikke kan være like for to observatører som beveger seg i forhold til hverandre. Observasjoner av mekaniske fenomen (f.eks. pendelsvingninger) av elektromag-

*Oslo Ingeniørhøgskole, Cort Adelers gt. 30, Oslo.

Forelesning på etterutdanningskurs for lektorer holdt ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, november 1991.

netiske fenomen (induksjon), og optiske målinger (Michelson-Morley eksperimentet, 1887) ga alle resultater i overensstemmelse med postulatene (1) og (2).

For å oppnå en konsistent kinematikk med disse postulatene som utgangspunkt, måtte Einstein vise hvordan man skal synkronisere klokker på ulike steder, når man tar hensyn til at lysets hastighet ikke er uendelig stor, og aksepterer at energi og materie ikke kan bevege seg fortere enn lyset. En konsekvens av Einsteins synkroniserings-konvensjon (som kan realiseres på mange måter, med eller uten utveksling av lyssignaler), er at observatører som beveger seg i forhold til hverandre, ikke er enige om hvilke hendelser som er samtidige, når hendelsene skjer på ulike steder. Dette omtales som *samtidighetens relativitet.*

En mye omtalt konsekvens av den relativistiske kinematikken, er at klokker som beveger seg raskt, går langsommere enn klokker i ro. Dette leder til relativitetsteoriens mest omtalte "paradoks": "tvillingparadokset". (Over tre hundre artikler er skrevet om dette "paradokset" (også kalt "klokkeparadokset" eller "tidparadokset"), hvorav to av Steingrim Skavlem i Fra Fysikkens Verden bind 21 (1959) s. 336 og bind 22 (1960) s. 13.)

Etter å ha gitt en innføring i den relativistiske kinematikk, vil jeg gi en kort omtale av den såkalte "gravitasjonelle tidsforlengelse", som er en konsekvens av den generelle relativitetsteorien. Vi skal i artikkelens siste avsnitt se hvordan denne effekten er en vesentlig ingrediens når den reisende tvilling, som ifølge relativitetsprinsippet kan oppfatte seg selv som i ro, skal forklare den observasjon at han er *yngre* enn broren når de møtes igjen.

Michelson-Morley eksperimentet

M-M visste følgende om lysets hastighet: Den avhenger bare av det mediet som lyset brer seg i, ikke av hastigheten til lyskilden. Dette tyder på at lyshastigheten har samme egenskaper som hastigheten til f.eks. lydbølger. Lydbølgene har samme hastighet i luft uansett hvor fort lydkilden beveger seg. Derimot vil lydbølgenes hastighet i forhold til meg avhenge av min bevegelse. Hvis jeg f.eks. sitter i et fly som beveger seg med lydens hastighet, vil lyden fra motoren ikke bre seg forover i forhold til meg, men den vil bre seg bakover med en hastighet lik to ganger lydhastigheten.

M-M var interessert i å undersøke om lysets bevegelse hadde samme egenskaper. De kan ha tenkt slik: Vi vet at jorden beveger seg rundt solen. Dersom lyset oppfører seg som lydbølger, vil lys som sendes forover langs jordens bevegelsesretning ha mindre hastighet i forhold til oss enn det som f.eks. sendes ut til siden. Dette kan vi undersøke ved å sende lys ut fra en lampe og la det reflekteres til utgangspunktet fra et speil B i jordens bevegelsesretning, og et annet C normalt på jordens bevegelsesretning (se fig. 1A).

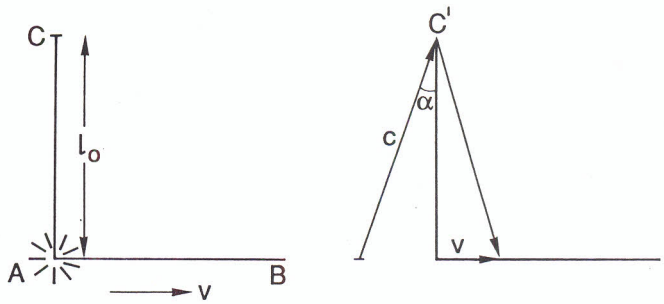


Fig.1. Prinsippskisse for Michelson-Morley eksperimentet.
A. Apparaturen beveger seg i retning AB med hastighet v. l_0 er avstanden fra senderen til de to reflektorene B og C, slik den måles i laboratoriet.
B. Beregning av reisetid for lys som beveger seg på tvers av apparaturens bevegelsesretning.

Tiden lyset bruker fra A til B er gitt ved:
$ct_{B1} = l_0 + vt_{B1}$,
som gir $t_{B1} = l_0/(c - v)$.

Tiden lyset bruker tilbake er gitt ved:
$ct_{B2} = l_0 - vt_{B2}$,
som gir $t_{B2} = l_0/(c + v)$.

Tiden lyset bruker frem og tilbake er:

$$t_B = t_{B1} + t_{B2} = (2l_0/c)(1 - v^2/c^2)^{-1} \qquad (1)$$

I løpet av den tiden lyset bruker fra A til C, $(1/2)t_c$, har C flyttet seg til C'. Lyset har hastigheten c rettet fra A til C'. Lengden av denne strekningen er gitt ved (se fig. 1B):

$$\frac{1}{4}c^2t_c^2 = \frac{1}{4}v^2t_c^2 + l_0^2 \qquad (2)$$

som gir

$$t_c = (2l_0/c)(1 - v^2/c^2)^{-1/2} \qquad (3)$$

t_C er tiden lyset bruker frem og tilbake i en retning som er på tvers i forhold til jordens bevegelsesretning rundt sola. Vi ser at $t_C < t_B$.

Dersom lyset hadde oppført seg som lydbølger, skulle M-M ha observert tidsforskjellen $t_B - t_C$ for de to veiene. Men de observerte at $t_C = t_B$. Dette

er senere bekreftet utallige ganger, og resultatet av forsøket er et ugjendrivelig faktum.

Og hva betyr så dette? Jo, lyset har oppført seg slik en geværkule ville gjøre når jeg skyter. Uansett min fart vil den ha samme hastighet i forhold til meg. På samme måten viser M-M's forsøk at lyset har hatt samme hastighet i forhold til lyskilden i begge retninger. Sett fra lyskilden er jo C i avstanden l_0 hele tiden, og det samme er B, og lyset brukte samme tid langs begge veiene.

Dermed har vi, for den tradisjonelle fysikk, følgende selvmotsigelse: Lysets hastighet i vakuum er konstant, bare avhengig av egenskapene til vakuum; og lysets hastighet i vakuum er konstant i forhold til meg uansett hvor raskt jeg beveger meg.

I sin bok "Relativitetsteoriens ABC" har Bertrand Russel beskrevet dette problemet på følgende måte: "Når en flue berører overflaten på et stillestående vann, danner det seg krusninger som beveger seg utover i stadig større sirkler. Sirklenes sentrum er hele tiden det punktet som ble berørt av fluen. Hvis fluen flytter seg over vannflaten, forblir den ikke i sentrum av krusningene. Men hvis krusningene var lysbølger, og fluen en dyktig fysiker, ville den finne at den alltid befant seg i sentrum av krusningene uansett hvordan den beveget seg. Imens ville en dyktig fysiker som satt ved bredden av dammen, finne at det ikke er fluen som er i sentrum som ved de vanlige krusningene, men det punktet i dammen som fluen berørte. Og hvis en annen flue hadde berørt vannet på samme sted og samme tid, ville den også finne at den forble i sentrum av krusningene, selv om den fjernet seg langt fra den første fluen. Dette er en nøyaktig analogi til Michelson-Morleys eksperiment. Dammen svarer til eteren, fluen svarer til jorden, kontakten mellom fluen og dammen svarer til lyssignalet som Michelson og Morley sendte ut, og krusningene svarer til lysbølgene."

Synkronisering av klokker og samtidighetens relativitet

I den spesielle relativitetsteorien, som Einstein fremsatte i 1905, har dette problemet en naturlig, men likevel uventet løsning. Einstein påpekte at alle operativt gjennomførbare definisjoner av samtidighet for hendelser som ikke skjer samme sted, leder til et merkelig resultat. Han viste at hendelser som er samtidige i ett referansesystem, ikke nødvendigvis er samtidige i et annet system. Vi skal nå se hvordan denne "samtidighetens relativitet" henger sammen med hvordan man synkroniserer klokker i ulike posisjoner.

Einsteins synkroniseringsprosedyre kan realiseres på mange forskjellige måter, som alle gir samme resultat. I ramme 1 beskrives synkronisering av to klokker, A og B, henholdsvis bakerst og forrest på et tog som beveger seg med hastighet v forbi en perrong.

RAMME 1

Et lyssignal sendes fra A til B, reflekteres, og kommer tilbake til A. Einstein *definerer* refleksjons-tidspunktet t_B ved å si at lyset bruker like lang tid frem og tilbake. Hvis lyset sendes ut ved t_1 og mottas ved t_2, er da

$$t_A = t_B = \frac{1}{2}(t_1 + t_2) \qquad (4)$$

En synkroniserings-prosedyre som er enklere å beskrive, men som gir samme resultat, er å plassere senderen midt mellom A og B. Lyssignalene mottas da samtidig ved A og B observert fra toget. Men en observatør på perrongen vil si at den bakerste klokken mottar lyset tidligere enn den forreste. La oss regne ut tidsforskjellen. Observert fra perrongen har toget lengden l. Lyset som går bakover treffer A etter en tid t'_A gitt ved at A beveger seg vt'_A forover og lyset ct'_A bakover til de møtes. (Se fig. 2.)
Av figuren fås

$$l/2 = vt'_A + ct'_A,$$
$$t'_A = (l/2)(c+v)^{-1} \qquad (5)$$

$$l/2 = ct'_B - vt'_B,$$
$$t'_B = (l/2)(c-v)^{-1} \qquad (6)$$

Vi ser at $t'_A < t'_B$. Dvs. observert fra perrongen skjer A før B. Tidsforskjellen er

$$t'_B - t'_A = (lv/c^2)(1 - v^2/c^2)^{-1} \qquad (7)$$

I grensen $c \to \infty$ fås $t'_B = t'_A$. Dvs. hvis man kunne synkronisere klokker med signaler som går uendelig raskt, ville observatører på toget og på perrongen være enige om at hendelsene A og B er samtidige. Da ville man kunne etablere en absolutt samtidighet. I den før-relativistiske fysikk ble det stilltiende antatt at dette kunne gjøres.

I ramme 1 har vi sett at dersom to hendelser bakerst og forrest i et tog med hastighet v og lengde l er samtidige, observert av togets passasjerer, så vil personer på perrongen si at den bakerste hendelsen skjer en tid $\Delta t = (lv/c^2)(1 - v^2/c^2)^{-1}$ før den bakerste. Dette er det kvantitative uttrykk for *samtidighetens relativitet.*

Einstein innså følgende sammenheng: *Relativitetsprinsippet* i mekanikken, som ble formulert allerede av Galilei, innebærer at man ikke kan avgjøre om ens laboratorium er i ro eller har konstant fart, ved å gjøre mekaniske eksperimenter. Einstein påpekte at dette også gjelder for elektromagnetiske og optiske eksperimenter, slik som Michelson-Morley eksperimentet. *Enhver ikke-akselerert observatør kan betrakte seg og sitt laboratorium som i ro.*

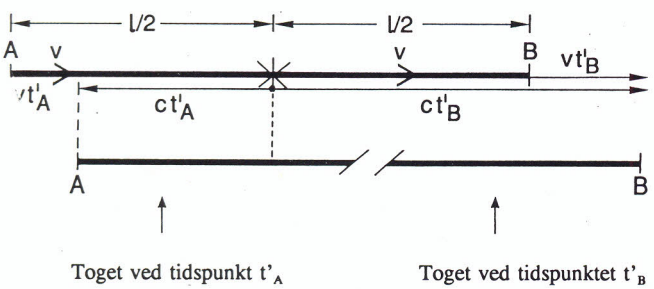


Fig.2. Synkronisering av to klokker A og B, bakerst og forrest i et tog, ved hjelp av et lyssignal sendt ut fra midten av toget. Øverst er posisjonene til A og B ved sendertidspunktet. Nederst til venstre er posisjonen til A når A mottar signalet, og til høyre posisjonen til B når B mottar signalet.

På den annen side var lysets bølge-egenskaper eksperimentelt påvist i Youngs interferens-eksperimenter, og man oppfattet det slik at lysbølgene forplantet seg gjennom eteren. Lyshastigheten var påvist å være uavhengig av hastigheten til lyskilden. Denne observerte egenskapen ved lyset, samt relativitetsprinsippet, bygget Einstein den spesielle relativitetsteorien på. Han påpekte straks at prinsippet om lyshastighetens konstans og relativitetsprinsippet tilsynelatende er i strid med hverandre, og at det oppstår problemer slik dem Russel ga en metaforisk beskrivelse av.

Deretter påpekte Einstein nødvendigheten av å definere samtidighet for hendelser på ulike steder på en operativ måte. Han viste at dersom materie og energi ikke kan forflytte seg med uendelig stor hastighet, så kommer man ikke utenom samtidighetens relativitet, slik den er beskrevet ovenfor.

Selvmotsigelsen i Russels flue – vannbølge problem løses nå på følgende måte: Fluen observerer at i suksessive øyeblikk (samtidighet i et referansesystem som følger fluen) brer sirkulære bølger seg ut med fluen selv i sentrum av dem. Observatøren på land observerer at ved suksessive øyeblikk (samtidighet i observatørens referansesystem) brer bølgene seg ut fra det punktet der fluen berørte vannet, og fluen er slett ikke i sentrum av bølgene. Men fluen og observatøren opererer med forskjellige sett av samtidige hendelser. Det som svarer til et øyeblikksbilde observert av fluen, svarer til en bilde-serie av de ulike delene av bølgen tatt ved forskjellige tidspunkter, observert fra land. Det finnes altså ikke noen "bestemt bølge" som representerer et samtidighetsbilde både observert av fluen og fra land. Så når fluen og landobservatøren snakker om at de observerer bølger, så er det ikke de samme bølgene de snakker om.

Slik er det også med lys. Betrakt to observatører som beveger seg i forhold til hverandre. I det de passerer hverandre, sendes det ut en sfærisk lysbølge fra passeringspunktet. Ved målinger av lyshastigheten vil begge observatørene finne at lyset brer seg med like stor hastighet i alle retninger.

Begge observatørene vil altså finne at de hele tiden er i sentrum av lysbølgen. Årsaken til at dette virkelig er mulig, er at man opererer med forskjellige samtidigheter. Det den ene observatøren kaller "lysbølgen", vil den andre si er en rekke øyeblikksbilder av de forskjellige delene av bølgen tatt ved ulike tidspunkter.

På grunn av samtidighetens relativitet, vil to observatører som beveger seg i forhold til hverandre danne seg forskjellige øyeblikksbilder av et fysisk system som er i bevegelse eller som endres i tidens løp.

Lengdekontraksjon

La oss gå tilbake til beskrivelsen av M-M eksperimentet. I fig. 1 er jordlaboratoriet beskrevet av en tenkt observatør O' som ikke deltar i jordens bevegelse. Denne observatøren ser laboratoriet bevege seg i AB-retningen med hastighet v. I beregningene av t_B ble det antatt at avstandene $AB = AC = l_0$, dvs. at avstanden mellom speilene i jordens bevegelsesretning er lik avstanden normalt på bevegelsesretningen. Dette er en naturlig antagelse bare dersom lengden til et legeme er uavhengig av den farten det beveger seg med. Denne antagelsen førte til $t_B > t_C$ i strid med målingene til Michelson og Morley.

Hvis lengde påvirkes av hastighet, vil den observerte avstanden AB' i O'-systemet være forskjellig fra l_0. La oss kalle denne avstanden for l. Dvs.

$$t_B = (2l/c)(1 - v^2/c^2)^{-1} \qquad (8)$$

Avstanden normalt på bevegelsesretningen påvirkes ikke av farten. Den er den samme som når laboratoriet er i ro og kalles derfor hvilelengden l_0. Dvs. likning (3) gjelder uforandret. Måleresultatet $t_B = t_C$, sammen med likningene (3) og (8) gir

$$l = l_0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \qquad (9)$$

Dvs. lengden forkortes i bevegelsesretningen. Dette kalles *Lorentz-kontraksjonen.*

Vi skal nå se hvilken sammenheng dette har med samtidighetens relativitet. Da trenger vi en presis definisjon av hva som menes med lengden til en stav i bevegelse. Einstein ga følgende *definisjon*:
En stav beveger seg med hastighet v langs x-aksen i et koordinatsystem K. *Lengden til staven, målt i K, er differansen mellom koordinatene til stavens endepunkter, målt ved samtidighet i K.*

La oss betrakte togvogn en som ble beskrevet ovenfor, hvor K er perrongen. Lengden til staven, målt i K, er avstanden mellom to merker som vognens ender A og B lager på perrongen ved at krittstykker skytes samtidig mot perrongen. Men observert fra toget, passerer perrongen forbi, og det bakerste krittet skytes ut før det forreste. Dette er illustrert i fig. 3.

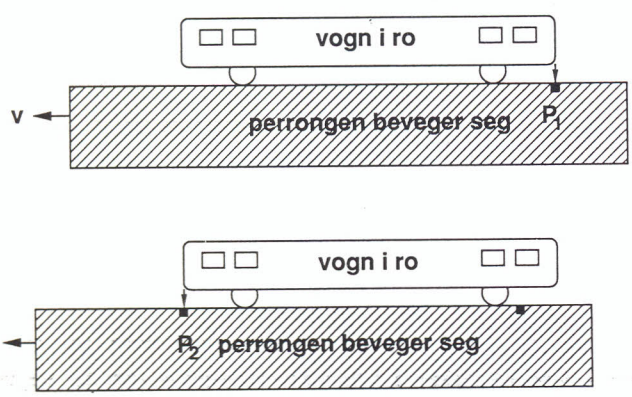


Fig.3. Måling av lengden til en vogn som passerer forbi en perrong. Figuren illustrerer situasjonen slik den beskrives av passasjerer i vognen.

P_1 og P_2 er hendelsene at krittene treffer perrongen og avsetter merker. Observert fra perrongen skjer P_1 og P_2 samtidig, og vognens lengde l målt fra perrongen er avstanden mellom merkene. Observert fra vognen skjer P_1 før P_2, og avstanden mellom merkene på perrongen blir mindre enn vognens lengde. Dvs. observatøren på perrongen, som ser vognen bevege seg, måler en kortere lengde for vognen enn observatører som sitter i vognen.

RAMME 2

Den enkleste måten å beskrive dette matematisk på, er å anvende *Lorentz-transformasjonen.* En hendelse som har koordinatene (x,t) i perrong-systemet, har koordinatene (x',t') i vogn-systemet, der

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}\ ,\ t' = \frac{t - \frac{v}{2c}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad (10)$$

P_1 og P_2 skjer ved $x_1 = l, x_2 = 0, t_1 = t_2 = 0$, der l er vognens lengde målt fra perrongen. Observert fra vognen har hendelsene koordinatene

$$x_1' = \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}\ ,\ x_2' = 0,$$
$$t_1' = -\frac{\frac{v}{c^2}l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}\ ,\ t_2' = 0 \qquad (11)$$

Det at de skjer ved forskjellige tidspunkter, har ingenting å si nå, siden observatøren i vognen ser at den er i ro. Avstanden mellom x_1' og x_2' er vognens hvilelengde l_0. Dermed får vi

$$l_0 = l(1 - v^2/c^2)^{-1/2} \qquad (12)$$

som er ekvivalent med likning (9).

Relativistisk tidsforlengelse

Med utgangspunkt i Michelson-Morley-eksperimentet kan vi konstruere en foton-klokke. Den består av lys som reflekteres mellom speil festet i vognens gulv og tak. Høyden er l_0. Klokken "tikker" hver gang fotonet treffer ett av speilene.

Observert fra vognen går fotonet vertikalt, og tiden mellom to "tikk" er

$$\Delta\tau = l_0/c \qquad (13)$$

Siden klokken er i ro forhold til vogn-observatøren, kalles τ *egentiden* til vogn-observatøren.

Observert fra perrongen er situasjonen som vist i fig. 1B. Mens lyset er på vei fra gulvet til taket, flytter speilet i taket seg til C' på grunn av vognens bevegelse. Dermed blir det lenger vei l_1 å gå for lyset. Siden lyset stadig går med hastigheten c, tar det lenger tid for lyset å passere mellom speilene observert fra perrongen enn observert fra vognen.

Figur 1B viser at

$$\sin\alpha = v/c, \cos\alpha = l_0/l_1 \qquad (14)$$

som gir

$$l_1 = \frac{l_0}{\cos\alpha} = \frac{l_0}{\sqrt{1-\sin^2\alpha}} = \frac{l_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \qquad (15)$$

Tiden mellom to "tikk" for vognens fotonklokke, observert fra perrongen, er

$$\begin{aligned}\Delta t = l_1/c &= (l_0/c)(1-v^2/c^2)^{-1/2} \\ &= \Delta\tau(1-v^2/c^2)^{-1/2} \qquad (16)\end{aligned}$$

Klokken går langsommere observert av en person som ser den bevege seg enn observert av en person som følger klokken.

Resultatet som her er utledet ved å betrakte en foton-klokke, gjelder for alle typer klokker ifølge den spesielle relativitetsteorien. F.eks. eldes en person som beveger seg raskt langsommere enn en person som er i ro. Dette leder til relativitetsteoriens mest kjente paradoks.

Tvillingparadokset

Hvis min tvillingbror reiser til den nærmeste stjernen, Alfa Centauri, som er 4 lysår borte, med en hastighet $v = 0,8c$, så bruker han $\Delta t = 10$ år på reisen, målt av meg. Jeg er 10 år eldre når vi møtes igjen. Ifølge likning (16) for den relativistiske tidsforlengelsen, er han bare blitt $\Delta\tau = \sqrt{1-v^2/c^2}\Delta t = 6$ år eldre. Men ifølge relativitetsprinsippet, skulle min bror ha rett til å oppfatte seg selv som i ro og meg selv som reisende. Da skulle jeg være seks år eldre når vi møtes og han 10 år eldre. Hva skjer? Og hvordan kan to tvillinger komme frem til samme forutsigelse av hvor mye eldre de blir når de møtes igjen?

For å komme til klarhet i disse spørsmålene, må nok en effekt tas i betraktning. Vi skal da bevege oss ut av den spesielle relativitetsteoriens område og inn på et område der den generelle relativitetsteorien kommer til anvendelse.

Posisjonsavhengig tidforlengelse i tyngdefelt

En heuristisk utledning av hvordan tyngdefelter virker på tidsforløpets hastighet ble gitt av Einstein flere år før han hadde ferdig den generelle relativitetsteorien (i 1916). Vi skal nå følge Einsteins tankegang.

Betrakt en klokke på en roterende skive. Den har en hastighet $v = r\omega$, og viser en tid τ. Skiven er i ro i et laboratorium der det er klokker som viser tiden t. På grunn av den relativistiske tidsforlengelsen, som er beskrevet i likning (16), er

$$\Delta\tau = \Delta t\sqrt{1-\frac{r^2\omega^2}{c^2}} \qquad (17)$$

Klokkene på skiven har større hastighet desto lenger vekk fra rotasjonsaksen de er, og jo langsommere går de.

Vi skal nå beskrive situasjonen slik en observatør på den roterende skiven oppfatter den. Fra dette synspunktet observeres klokkene å være i ro. Det at klokkene lenger vekk fra sentrum av skiven går langsommere enn de som er nær sentrum, er en realitet også observert fra skiven. Men siden alle klokkene er i ro, kan dette ikke lenger forklares som en virkning av den relativistiske tidforlengelsen.

Einstein argumenterte for at denne tidforlengelsen er en gravitasjonsvirkning. Observert fra skiven er det et "tyngdefelt" rettet ut fra aksen. "Tyngdeakselerasjonen" i dette feltet er det som til vanlig kalles sentrifugalakselerasjonen. Den har størrelsen

$$g = \frac{v^2}{r} = r\omega^2 \qquad (18)$$

Når vi setter tyngdepotensialet lik null i skivens sentrum, er tyngdepotensialet i avstanden r

$$\Phi = -\int_0^r g\,dr = -\omega^2\int_0^r r\,dr = -\frac{1}{2}r^2\omega^2 \qquad (19)$$

Av likningene (17) og (19) fås

$$\Delta\tau = \Delta\tau_0\sqrt{1+2\Phi/c^2} \qquad (20)$$

der τ_0 er tiden målt med en klokke ved skivens sentrum, dvs. ved tyngdepotensialets nullnivå. Denne likningen forteller hvordan tidsforløpets hastighet avhenger av posisjonen i skivens sentrifugalfelt.

Einstein konstruerte en relativistisk gravitasjonsteori, den generelle relativitetsteorien, med utgangspunkt i bl.a. et ekvivalensprinsipp. Dette prinsippet sier at et "tyngdefelt" som skyldes referansesystemets rotasjon eller akselerasjon, har samme fysiske virkninger som et tyngdefelt forårsaket av en ansamling av masse. Vi kan derfor droppe anførselstegnet på de tyngdefeltene som tidligere ble kalt treghetsfelter. Virkningen av et tyngdefelt er uavhengig av dets årsak (så lenge vi betrakter lokale eksperimenter hvor tidevannskrefter er uten betydning).

Posisjonsavhengigheten til tidsforløpets hastighet

opptrer for alle typer tyngdefelt. Tyngdepotensialet avtar nedover i et tyngdefelt. Ifølge likning (20), vil en klokke i et tyngdefelt der Φ er negativ, gå langsommere enn en klokke i tyngdefeltets nullnivå. *Tiden går langsommere lengre nede i et tyngdefelt.* Observert nedenfra finner man at tiden går raskere lenger oppe.

Tvillingparadoksets løsning

Tvillingparadokset ble presentert ovenfor. Jeg var hjemme og Broderen reiste til Alfa Centauri og tilbake med hastighet $v = 0,8c$, og brukte 10 år på reisen målt av meg. Jeg ventes da å være 10 år eldre når vi møtes igjen, mens Broderen bare skulle være 6 år eldre pga. den relativistiske tidsforlengelsen.

På den annen side, kan Broderen oppfatte seg selv som i ro og meg som reisende ifølge relativitetsprinsippet. Men da burde jo jeg være yngre enn ham når vi møtes.

Vi skal nå se at det er nødvendig å ta hensyn til den relativistiske tidsforlengelsen i et tyngdefelt for å løse dette problemet.

Broderen observerer at Jorden og Alfa Centauri beveger seg med hastighet $v = 0,8c$. Siden hvileavstanden mellom disse legemene er $s_0 = 4$ lysår, observerer Broderen en Lorentz kontraktert avstand $s = s_o\sqrt{1 - v^2/c^2} = 2,4$ lysår, og han eldes med $t = s/v = 3$ år mens Alfa Centauri beveger seg mot ham. Broderen eldes altså med 6 år i løpet av min reise. Dette er i overensstemmelse med hva en beregning i mitt referansesystem ga.

Det gjenstår å gi Broderens beskrivelse av hvor meget jeg eldes under reisen. Broderen observerer at jeg beveger meg avgårde med hastighet $v = 0,8c$ i en tid $\Delta t_1 = 3$ år målt med hans egen klokke. Han vil da si at jeg eldes med $\Delta\tau_1 = 2\Delta t_1\sqrt{1 - v^2/c^2} = 3,6$ år i løpet av ut- og tilbakereisen.

Her er periodene med akselerasjon når Broderen reiser ut, snur og bremser ned igjen hjemme, neglisjert. Hvis akselerasjonen går mot uendelig, går varighetene av disse akselerasjonene mot null målt av meg. Men kanskje ikke målt av Broderen?

Når Broderen akselereres, vil han oppleve et tyngdefelt. (En stein han slipper vil da akselerere i forhold til ham.) Da kommer den gravitasjonelle tidsforlengelsen inn i bildet. Denne avhenger av forskjell i gravitasjonspotensial, dvs. av avstanden mellom Broderen og meg. Ved utreisen og ankomsten er denne avstanden forsvinnende liten hvis akselerasjonen er stor nok, slik at disse periodene kan da neglisjeres. Men ved vendepunktet er avstanden stor. Når Broderen snur, akselererer han mot meg, og da opplever han et tyngdefelt som er rettet vekk fra meg. Jeg er høyere oppe i dette tyngdefeltet enn han selv. Pga. den gravitasjonelle tidsforlengelsen, vil Broderen da finne at tiden går langsommere der han befinner seg enn der jeg er. Broderen vil m.a.o. finne at jeg eldes raskere enn ham i det tyngdefeltet som opptrer mens han snur. Selv om denne perioden kan gjøres meget kort ved å gi Broderen en stor akselerasjon, kan den ikke neglisjeres når Broderen skal beregne hvor mye eldre jeg blir, siden jeg eldes raskere desto sterkere tyngdefeltet er.

For å kunne gi en eksakt beskrivelse av hvor mye jeg eldes fra Broderen sitt synspunkt, vil vi anta at han har konstant akselerasjon. Ved å bruke den generelle relativitetsteorien, kan man vise at i dette tilfellet skal likning (20) erstattes av

$$\Delta\tau = (1 + \Phi/c^2)\Delta\tau_0 \qquad (21)$$

Når Broderen snur og et øyeblikk får hastighet null, observerer han en avstand til meg lik hvileavstanden $s_0 = 4$ lysår. Da er gravitasjonspotensialet i min posisjon $\Phi = gs_0$, siden gravitasjonsfeltet som Broderen erfarer er homogent, og han velger nullnivå i sin egen posisjon.

Tyngdefeltet som Broderen opplever, varer den tiden det tar å endre hastigheten med $2v$. Siden akselerasjonen er konstant, tar dette tiden (målt med Broderens klokke)

$$\Delta\tau_0 = 2v/g \qquad (22)$$

Ifølge Broderen, tar det tiden

$$\begin{aligned}\Delta\tau_2 &= (1 + gs_0/c^2)\Delta\tau_0 \\ &= (1/g + s_0/c^2)2v \end{aligned} \qquad (23)$$

målt med min klokke. For at beskrivelsen skal bli eksakt, (vi så jo bort fra start- og ankomstakselerasjonsperioden) må vi ta grensen når $g \to \infty$. Det gir

$$\lim_{g\to\infty} \Delta\tau_2 = 2s_0v/c^2 \qquad (24)$$

Innsetting av $s_0 = 4$ lysår og $v = 0,8c$, gir

$$\lim_{g\to\infty} \Delta\tau_2 = 6{,}4 \text{ år.}$$

Broderen vil altså si at jeg blir

$$\Delta\tau = \Delta\tau_1 + \lim_{g\to\infty} \Delta\tau_2 = 3,6 + 6,4 = 10 \text{ år}$$

eldre i løpet av reisen. Dette er i overensstemmelse med mine egne forventninger.

To kommentarer kan ha interesse. For det første: I grensen $g \to \infty$ kan jeg se bort fra Broderens akselerasjonsperiode når han snur, uten å gjøre noen feil. Men Broderen kan ikke neglisjere denne perioden når han skal forutsi hvor gammel jeg blir i løpet av reisen.

For det andre: Når jeg skal forklare at Broderen snur, så henviser jeg til rakettkraften som virker på ham. Men fra Broderen sitt synspunkt er alt helt annerledes. Han betrakter seg selv som i ro hele tiden, mens jeg beveger meg. Og når jeg snur, så skyldes det at jeg faller fritt i det gravitasjonsfeltet han opplever en kort tid, og som jeg befinner meg høyt oppe i.

I relativitetsteorien er det slik at hvordan vi forklarer et fenomen, det avhenger av den bevegelsen vi har.

∞

Litteratur

1. Landau og Rumer: *Hva er relativitet?* Cappelens Realbøker nr. 9, Oslo (1964).
2. Martin Gardner: *Relativitet for millioner.* Cappelens Realbøker nr. 16, Oslo (1964).
3. George Gamow: *Gravitasjon.* Cappelens Realbøker nr. 28, Oslo (1966).
4. Herman Bondi: *Relativitet og sunn fornuft.* Cappelens Realbøker nr. 37, Oslo (1966).
5. Bertrand Russel: *Relativitetsteoriens ABC.* Gyldendals Fakkelbøker nr. 31, Oslo (1965).
6. Albert Einstein: *Relativitetsteorien.* Gyldendals Fakkelbøker nr. 139, Oslo (1968).

Nøytronfysikkens begynnelse og utvikling

Olav Steinsvoll *

Vi har i en foregående artikkel (FFV nr. 3, 1992), fortalt om hvilke tanker, teorier og eksperimenter som førte fram til nøytronets oppdagelse ved J. Chadwick i 1932. Nøytronet var da påvist som en fri elementær-partikkel og som en mulig del av atomkjernen sammen med protonet. Nøytronets andre egenskaper kunne en foreløpig bare gjette seg til, se figur 1. Men det skulle bli gjort flere viktige oppdagelser innafor dette feltet i 1932, og vi kan med rette si at dette var gjennombrudds-året for moderne kjernefysikk. Det vi ville kalle nøytronfysikk fikk en nølende start i åra som fulgte og skulle kulminere med at den første atomreaktoren gikk kritisk i USA i 1942, altså for 50 år sida.

I januar 1932 var det kommet en artikkel av *H.C. Urey* der identifiseringen av den tunge hydrogenisotopen ble omtalt. Den forekommer i en mengde på 2 promille i naturlig hydrogen. Ved fraksjonert destillasjon av flytende hydrogen, hadde en fått tak i tilstrekkelige mengder slik at atomspektret av denne hydrogen-fraksjonen kunne analyseres. Ved siden av en rød hovedlinje kunne en observere en svak ekstralinje. Dette kunne bare forklares dersom det ble antatt at det var tungt hydrogen tilstede som ga en bølgelengdeforskyvning av linja for disse atomene. En måned seinere, etter nøytronets oppdagelse, kunne altså den tunge hydrogen-kjernen beskrives som en sammensetning av et nøytron og et proton, en *døyterium*-partikkel. Generaliseringen til alle elementene og deres isotoper lå nå åpen. Den ble gjort av *W. Heisenberg* i en artikkelserie utover høsten samme året. Der finner en også de første tanker om en feltavhengig "kjernekraft" mellom partiklene i kjernen. Uavhengig av Heisenberg kom russeren *D. Ivanenko* med de samme tanker.

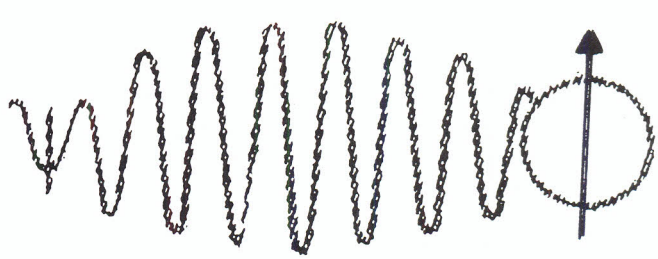


Fig.1. En "logo" for nøytronet. Det er på samme tid en nøytral partikkel, en magnet og et bølgefenomen med både materie- og magnetnatur.

*Institutt for energiteknikk, Kjeller.

Kjernefysikk med akseleratorer

I slutten av 20-åra og begynnelsen av 30-åra, hadde fysikere ved noen kjente laboratorier begynt å konstruere akseleratorer av ulike slag. Den første "Van de Graaf'en" kom i sving i 1931 og den første syklotronen i 1932. Disse maskinene var riktignok primitive i begynnelsen, men de egget både fysikernes og vanlige folks fantasi ved at de fikk oppnavnet "atomknusere".

De første resultatene av slik "knusing" kom fra en elektrostatisk høyspenningsmaskin bygd av fysikerne *Cockroft og Walton*, også de ved Cavendish-laboratoriet i Cambridge, se figur 2. De akselererte protoner til forskjellige høye energier og skjøt dem mot en prøve med litium-kjerner. Resultatet var to α-partikler som kom ut i stor fart. Teoretikerne var samtidig travelt opptatt av å beregne virkningstversnitt for inntrengning av ladde partikler i kjernene ved ulike partikkelenergier. Allerede dette første eksperimentet ga ytterligere bevis for *tunnel-effekten* som var forutsagt av *G. Gamow* noen år før.

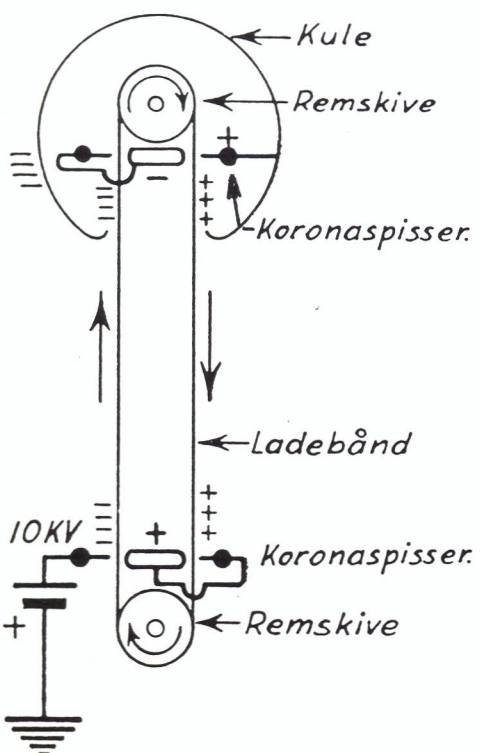


Fig.2. Prinsippskisse for en Van de Graaff elektrostatisk partikkel-akselerator. Ei godt isolert metallkule kan lades til høy negativ spenning i forhold til jord ved hjelp av et gummibånd som løper mellom jord og kula. Negative partikler, f.eks. elektroner fra en glødetråd, kan akselereres i et evakuert rør i feltet mellom kula og jord. Kula kan også lades til høg positiv spenning for å akselerere positive partikler ved å reversere polariteten av 10 kV påsprøytings-spenninga nederst til venstre.

På høstparten i 1932 kom videre en artikkel med et fotografi av banen til et positron i et tåkekammer. Akseleratorer og følsomme detektorer var nå blitt fysikernes verktøy, og de gikk løs på oppgavene med stor energi. Laboratoriene i England og USA skulle heller ikke komme til å mangle mannskap. I 1933 kom *Hitler* til makten i Tyskland. Dette førte til bølger av landsforvisninger og flukt av vitenskapsmenn fra Tyskland og andre europeiske land i de følgende åra. Antall publikasjoner innafor kjernefysikk "eksploderte", og bit for bit av kunnskap ble lagt på plass.

Men det manglet foreløpig en vital komponent i teoretikernes beregninger, nemlig en skikkelig forståelse av kjernekreftene. Etter tidens framherskende teori gjaldt det å få fram flest mulig vekselvirkningskurver for sammenstøt mellom kjerner og protoner og andre ladde partikler. Chadwicks nøytron var nok viktig for å forklare kjernenes oppbygning og masse, men det ble fort glemt som mulig prosjektil for å få fram kjerne-omvandlinger og dermed muligheter til å studere kjernenes struktur. Som nøytral partikkel kunne nøytroner i motsetning til protoner lett trenge inn i kjernene uten å bli frastøtt av det elektriske feltet.

Starten på nøytronfysikken

En nøytronkilde burde derfor være det billigste hjelpemiddel til å komme i gang med forsking innafor kjernefysikk. Kilden kunne lett lages av et radiumpreparat og metallet beryllium. Det var *Enrico Fermi* i Rom som brøt med paradigmet som holdt kjernefysikerne ellers i verden i sitt grep. På vårparten 1934 var han i gang med det vi ville kalle *nøytronfysikk med "termiske" nøytroner*. Dette er nøytroner som er bremset ned fra store hastigheter ved en serie sammenstøt med hydrogen- eller døyterium-kjerner i f.eks. parafin eller vann. De har lave hastigheter som svarer til molekyhastighetene i luft ved romtemperatur. På kort tid la Fermi fram en mengde viktige resultater. Det viste seg at nesten alle elementer ble kunstig radioaktive ved beskyting med termiske nøytroner.

Samme året la han også fram en ny teori for utsendelsen av betapartikler fra kjerner der han bygde på Paulis nøytrino-hypotese. Teorien forklarte det kontinuerlige betaspektrum som Chadwick og Geiger hadde observert i 1914. Den ga også hint om at nøytronet og protonet måtte være ulike tilstander av en og samme partikkel, *nukleonet*. Litt seinere i 1934 framhevet to russere, *I. Tamm og D. Ivanenko*, med henvisning til Fermis teori, at en foruten den elektromagnetiske vekselvirkning måtte skille mellom to typer

krefter i kjernen, nemlig *den sterke og den svake vekselvirkning*.

I 1935 foreslo japaneren *H. Yukawa* at den sterke tiltrekkende krafta mellom nukleonene kunne forklares ved å anta utveksling av "mellomvekts"-partikler, *mesoner* med hvilemasse 100 - 200 MeV. Partikler i dette masseområdet ble litt etter sett i kosmisk stråling. Fire vekselvirkninger, *gravitasjon, elektromagnetisk-, sterk- og svak vekselvirkning*, var nå på plass i fysikernes verktøykasse og flere gåtefulle fenomener fikk en rasjonell forklaring.

Nøytronets egenskaper

Fermi hadde altså bevist at det var lurt å gjøre nøytronfysikk, men nøytronkildene basert på naturlig radioaktivitet var ganske svake. Partikkelakseleratorene var nå blitt ganske avanserte, og det ble funnet at de kunne brukes som kilde for hurtige ladde partikler som kunne produsere nøytroner ved bombardement av passende prøver. Det ble f.eks. funnet at en ved å sende akselererte døyterium-ioner mot tungtvanns-is kunne produsere nøytronflukser som langt overgikk radium-beryllium kildene. De nye kildenes evne til å lage nøytroner måtte nå måles i kilogram radium-beryllium ekvivalenter! Høyspenningskilder som ga opp til 250 kV var allerede tilgjengelige fra industrien som produserte røntgenapparater. En trengte altså i tillegg en ionekilde og et akselerasjonsrør med vakuum. Dermed kunne en få en total nøytronintensitet på over 10^6 per sekund.

En kunne etterhvert bestemme enda flere av nøytronets egenskaper ganske nøyaktig. *J. Chadwick* hadde allerede regnet seg fram til en god verdi på *nøytronets masse*. Men det lå snubletråder i terrenget: Var nøytronets masse større eller mindre enn protonets masse? I 1932 var Chadwicks verdi på nøytronets masse $m_n = 1,0067$ amu, mens den anerkjente verdi på protonets masse på den tid var $m_p = 1,00778$ amu, altså $m_n < m_p$. I noen år vinglet en fram og tilbake i dette spørsmålet, og først i 1936 var det klart at nøytronet var litt tyngre enn protonet, $m_n = 1,00858$ amu, og $m_n - m_p = 8 \cdot 10^{-4}$ amu. (De moderne verdiene er $m_n = 1,00898$ og $m_p = 1,00759$ amu.) Det var derfor muligheter for at det frie nøytronet var radioaktivt og kunne omdannes til et proton og et elektron siden nøytronet veide omlag 2,5 elektronmasser mer enn protonet. Levetida til nøytronet ble i 1952 målt til omlag 12 minutter. Den lille massedifferansen forklarte også hvorfor nøytronet var stabilt i en kjerne: Nøytronet tjener ikke nok energi ved en omvandling til å overkomme den sterke krafta mellom nukleonene i kjernen. (Hadde nøytronet vært noen prosent tyngre, ville bare de aller letteste kjernene vært stabile, og liv ville vært umulig i vårt univers!)

Allerede høsten 1932 hadde *W. Heisenberg* i tre artikler filosofert over egenskapene til den nye partikkelen, nøytronet. Han antok at det måtte ha kvantemekanisk *spinn* $1/2$ slik som det allerede var kjent for protonet. For det positive protonets vedkommende, var det videre lett å forestille seg at det da også hadde et *magnetisk moment*: det var en ladningsfordeling av endelig størrelse i rotasjon. En fant seinere at protonets moment var $\mu_p = 2,7934\mu_M$. Det var verre å tenke seg at nøytronet uten ladning hadde et magnetisk moment. I 1948 ble nøytronets moment målt til $\mu_n = -1,9135\mu_M$. Det negative fortegnet betyr at nøytronet oppfører seg som om det er en negativ ladning som roterer: Summen av negative og positive ladninger på nøytronet er null, men ladningene er ikke jamt fordelt. En populær forklaring er at nøytronet har et "magebelte" av negative π-mesoner som sirkler om en sentral positiv ladning.

I 1925 hadde tyskeren *W. Elsasser* publisert en artikkel der han framholdt at ifølge de Broglies tanker om ekvivalens mellom bølger og partikler, burde elektroner bli spredd fra én-krystaller på samme måte som røntgenstråler. Eksperimentet ble utført uavhengig av *Davisson* og *Germer* i 1928. De fant diffraksjonsmaksima av elektroner ved de forventede vinklene. Dette var altså en enestående bekreftelse på at materien hadde bølgenatur. I 1936 var Elsasser frampå igjen, denne gang med å foreslå et eksperiment for å se om også nøytroner kunne avbøyes fra én-krystaller. Forsøket ble gjennomført samme året av *D.P. Mitchell og P.N. Powers* ved at nøytroner ble Bragg-spredd fra store én-krystaller av magnesium-oksid, se figur 3.

I 1937 visste en altså nøyaktig *massen* til nøytronet, at det kunne tillegges en *bølgelengde* og at det hadde et *spinn*, se figur 1. Disse egenskapene pekte i retning av at en kunne bruke nøytroner til diffraksjonsformål og struktur-undersøkelser på samme måte som røntgenstråler og elektronstråler. Dessuten kunne de nye radioaktive isotopene brukes til merking av kjemiske forbindelser på tilsvarende måte som når zoologene henger radiosendere på ulver for å se hvor de befinner seg i terrenget! En manglet likevel på dette tidspunktet enda kraftigere nøytronkilder enn dem som akseleratorene kunne skaffe. Utviklingen skulle likevel ta en ny og uventet retning.

Nøytroner utløser fisjon av uran

I åra 1935 - 38 ble en nøytrongenerator bygd opp av

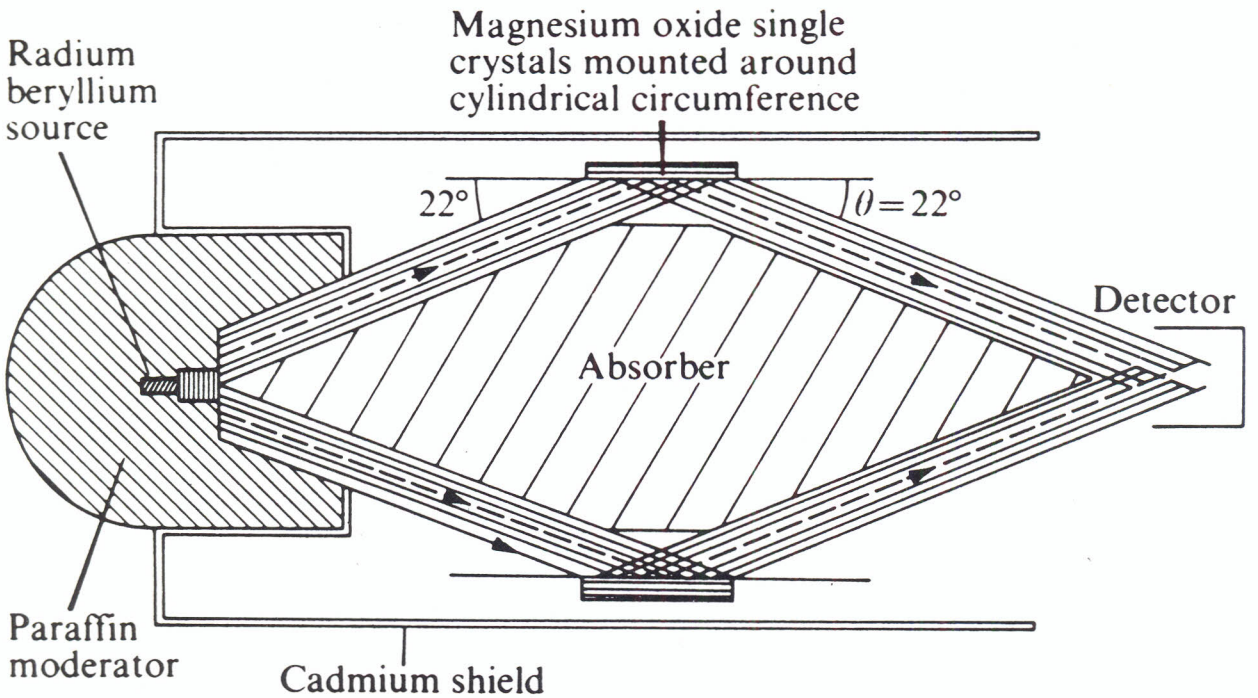


Fig.3. Mitchell og Powers apparatoppstilling for å vise nøytrondiffraksjon i én-krystaller av magnesiumoksid. Nøytronkilden til venstre sender ut hurtige nøytroner i alle retninger inn i en moderator av parafin. Ut av parafinen kommer langsomme nøytroner. Ved hjelp av stråleavgrensere og retningsenheter, blir en del av nøytronene plukket ut og sendt inn mot krystallplan i magnesiumoksid under en glansvinkel på 22 grader. Det viser seg at nøytronene da blir reflektert som fra et speil og gir signaler når de treffer en nøytrondetektor på høyre side av oppstillinga. Innretningen har sylindrisk symmetri.

Lise Meitner ved Kaiser Wilhelm Institut für Chemie i Berlin. Den var av døyterium-typen omtalt ovenfor. Hun begynte så med nøytronfysikk sammen med *Otto Hahn og Fritz Strassmann.* Sommeren 1938 måtte Meitner flykte over hals og hode fra Tyskland via Danmark til Sverige pga. Hitlers innmarsj i Østerrike og stadig økende jødeforfølgelse. Arbeidet i denne tyske radiokjemi-gruppa førte til at Hahn og Strassmann i desember 1938 oppdaget *fisjon* av det tyngste kjente elementet uran, ved innvirkning av nøytroner. Et virkelig "tordenbrak" hadde bokstavelig talt skjedd innafor kjernefysikken! Istedetfor å lede til transuraner (elementer med masse større enn uran) hadde nøytronabsorpsjonen ført til at kjernen i uran delte seg i to deler, og de to kjemikerne kunne finne nye atomer av lettere elementer i prøva etter eksperimentet. Ingen teoretikere hadde forutsagt dette, men når det først var påvist eksperimentelt, kunne de lett regne ut at enorme energimengder måtte bli frigjort. Energiutbyttet ved kjemiske reaksjoner er rundt 1 eV per atom, mens det her måtte dreie seg om 100 MeV.

I 1938 fikk *Enrico Fermi Nobelprisen i fysikk.* Han og hans nærmeste familie var i lengre tid blitt trakassert av det fascistiske styret i Italia pga. at kona var jøde. De fikk utreisetillatelse til Nobelfesten og benyttet anledningen til å hoppe av til USA der en professorstilling sto og ventet. Han sluttet seg til en stor gruppe landflyktige atomforskere som etterhvert hadde kommet til landet. Vi kan nevne navn som *A. Einstein, V. F. Weisskopf, L. Szilard, E. Teller, E. Wigner* og mange flere. Alle disse skulle få stor betydning da USA satset på å utvikle *atombomben.*

På vårparten 1939 viste gruppa til Joliot og Curie at fisjonen av urankjernen ved opptak av ett nøytron ble fulgt av utsendelse av mer enn to nøytroner med stor hastighet. Resultatet ble publisert selv om fysikerne i USA ba dem om "atomtaushet" pga. den spente internasjonale situasjonen. En multiplikasjon av nøytroner var altså mulig under gunstige omstendigheter og dermed en kjedereaksjon med frigivelse av enorme energimengder hvis dette skjedde i noen kilo stoff. De forferdelige konsekvensene av dette scenario gikk raskt opp for kjernefysikerne. Naturlig uran har flere isotoper. De viktigste er $^{238}_{92}U$ (99,3%) og $^{235}_{92}U$ (0,7%). På grunnlag av en dråpemodell regnet *N. Bohr og J.A. Wheeler* ut at det var den sjeldne isotopen av elementet som hadde tilbøyelighet til å spaltes etter nøytronabsorpsjon. Den andre isotopen slukte nøytroner uten å gi noe energibidrag. Bomber kunne derfor bare lages av den sjeldne isotopen i ren tilstand. De tekniske mulighetene for å virkeliggjøre dette så ut til å ligge langt inn i framtida, og fysikerne ble litt beroliget.

Den 2. verdenskrig bryter ut

Den 1. september 1939 senket mørket seg over Europa da tyske tropper overfalt Polen på Hitlers befaling. Samtidig ble gardinene rullet ned i alle laboratorier som bedrev kjernefysisk forsking rundt om i verden. All slik forsking ble plutselig militære hemmeligheter, og de ulike forskingsgruppene ble uten kommunikasjon med hverandre. Joliot satt isolert i Paris, og i Tyskland begynte tyske fysikere (Heisenberg og Bothe m.fl.) med sitt " Uranium Verein ". I England var naturligvis Chadwick aktiv og drev nøytronfysikk ved syklotronen i Liverpool. I USA startet flere uavhengige grupper intensiv forsking. Disse gruppene ble sommeren 1942 forent i det berømte "Manhattan-prosjektet" under militær kommando.

Atombomben spøkte naturligvis i bakgrunnen, og det var viktig å vise eksperimentelt at det var mulig å få til en kontrollert kjedereaksjon med naturlig uran, en "atomovn". Den første grafitt-modererte reaktoren gikk allerede kritisk i desember 1942 under tribunen til en stadion i Chicago, under E. Fermis ledelse, se figur 4. I år er det derfor 50 år sida den første kontrollerte kjedereaksjon ble satt i gang av mennesker. Chicago-eksperimentet endte som kjent med utviklingen av atombombene som ble brukt i krigen mot Japan sommeren 1945.

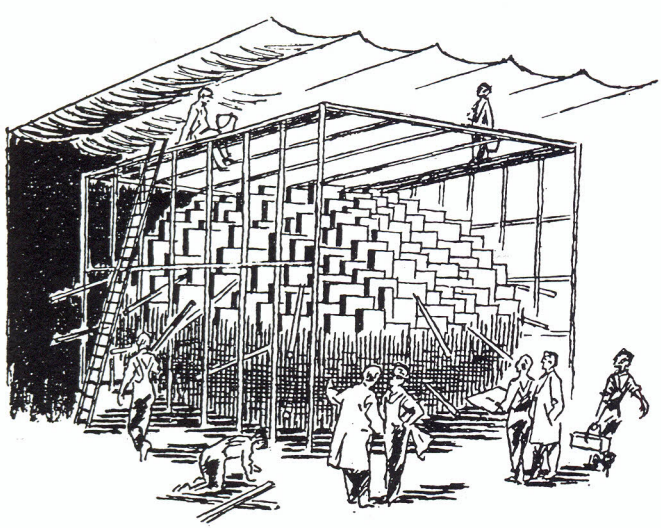


Fig.4. Oppbyggingen av den første grafittmodererte reaktoren med naturlig uran som brennstoff. Biter av uran ble plassert i et tredimensjonalt periodisk mønster med blokker av grafitt som moderator mellom bitene. Reaktoren hadde bare naturlig kjøling, men den skulle naturligvis bare utvikle minimal effekt. Legg merke til de to mennene på stillaset som sitter klar med bøtter fylt av sterkt nøytronabsorberende materiale. De utgjorde en del av "sikkerhetskretsen" i tilfelle reaktoren skulle løpe løpsk. Reaktoren ble kalt "atomic pile" (atomstabel) etter konstruksjonsmåten. (Tegnet etter samtidige skildringer.)

Ny start for nøytronfysikken

I løpet av krigsåra ble det frie *nøytronets egenskaper og utnyttelsesmuligheter* videre utforsket av fysikerne. Det var på samme tid en elektrisk nøytral elementærpartikkel med radioaktiv halveringstid 12 minutter, et bølgefenomen, en liten magnet, og det kunne utløse store energimengder ved fisjon av tunge kjerner. Under den annen verdenskrig var det bare den siste egenskapen som var av interesse; utnyttelsen av de andre egenskapene måtte vente.

I de første etterkrigsåra var det bare stormaktene som hadde viten og teknologi til å bygge reaktorer. Det var først og fremst store anlegg for produksjon av plutonium for bombeformål. Det hadde nemlig vist seg at uran 238 etter nøytronabsorpsjon forvandlet seg til det nye elementet *plutonium* ($^{239}_{94}Pu$) som hadde samme tilbøyelighet som uran 235 til å spaltes ved nøytronabsorpsjon. Etterhvert bygde en også virkelige kjernekraftverk med elektrisitets-produksjon. Men det ble også bygd mindre reaktorer for utprøving av materialer under sterk strålebelastning og for produksjon av radioaktive isotoper for industrielle og medisinske formål. I noen av dem ble det åpnet hull i skjermen rundt reaktoren slik at nøytroner kunne slippe ut til bruk for fysikerne. Utviklingen av alt dette skjedde under store sikkerhets-foranstaltninger hos stormaktene.

Fysikerne *E. Wollan* (av norsk avstamming) og *C.G. Shull* la i åra 1946 til 1948 grunnlaget for bruken av nøytronspredning innafor kondenserte fasers fysikk med eksperimentene sine ved grafittreaktoren "X-pile" ved Oak Ridge laboratoriet i Tennessee. De første pulverspredningsdiagrammene for $NaCl$ og KCl ble målt og viste at *pulvermetoden var fullt brukbar for nøytroner.* Shull og J.S. Smart viste i 1949 ved nøytronspredning at MnO var en såkalt antiferromagnet, helt i samsvar med L. Néels teori fra året før. Dette var begynnelsen på bruken av nøytroner i studiet av *magnetiske strukturer.*

Sprengningen av atom-monopolet

Utviklingen innen dette feltet i det lille landet Norge skulle føre til en sprengning av stormaktenes monopol. Etter oppdagelsen av nøytronet og døytronet i 1932, oppfordret professor *L. Tronstad* ved NTH, Norsk Hydro til å ta opp tungtvannsproduksjon ved sin vannspaltingsfabrikk på Rjukan. Sabotasjeangrepene på Rjukan-fabrikken er velkjent norsk krigshistorie. I 1948 hadde derfor Norge atskillige tonn med ganske rent tungtvann (D_2O). *Gunnar Randers og Odd Dahl* begynte derfor å tumle med planene om en norsk reaktor basert på tungtvann og naturlig uran.

En parallell utvikling hadde funnet sted i Nederland der den teoretiske fysikeren *W.J. de Haas* i 1939 hadde overbevist myndighetene om at uran ville bli et viktig materiale i framtida og fått dem til å kjøpe inn 10 tonn uranoksid. Under krigen ble pulveret gjemt bort i Leiden i noen store kasser merket "talkum". Etter krigen ble de norske planene kjent i Nederland, og fysikeren *H.A. Kramers* ble i 1950 sendt til Oslo for å ta kontakt med nordmennene og tilby samarbeid på grunnlag av det norske tungtvannet og det nederlandske uranet. Samarbeidet resulterte i at *den første norske forskingsreaktoren*, JEEP I, (250 kW) gikk kritisk i august 1951 og kom i vanlig drift i 1952. Det er grunn til å nevne at *T. Riste* i femtiåra gjorde sine pionér-eksperimenter i å bruke nøytroner til *kritisk og uelastisk magnetisk spredning* ved denne reaktoren. Nøytronfysikken i Norge kan derfor feire 40-års jubileum i år.

Reaktoren var åpen for fri forsking innen reaktor teknologi og nøytronfysikk, fysikere fra hele verden strømmet til Kjeller, og stormaktenes eneherredømme var brutt. I 1955 innså de at de måtte slutte med hemmelighets-kremmeriet, og den første konferansen under mottoet "Atoms for peace" fant sted i Genève.

Moderne nøytronfysikk

Fra 1948 er nøytroner fra spesialbygde forskingsreaktorer blitt et stadig viktigere hjelpemiddel for å løse problemer innafor kondenserte fasers fysikk. Nye, stadig kraftigere forskingsreaktorer er blitt bygd etterhvert som erfaringene om dem og bruken av nøytronene har øket. I de såkalte høyfluks-reaktorene med termisk ytelse oppunder 100 MW, benyttes kompaktutgaver av reaktorkjernen der energitettheten er svært høy for å få tilsvarende høy nøytronfluks. En har mestret materialproblemene som dette fører med seg uten å gå på akkord med sikkerhetskravene. Den høye nøytronfluksen blir tatt godt vare på ved spesielle geometriske løsninger i kanalene. Brenslet i disse reaktorene består av høgt anriket uran 235, og det er dette som kan skape problemer ved oppbevaring og i gjenvinnings-prosessene.

En har optimalisert nøytronspektret for ulike forskingsformål ved å bygge inn oppvarmete eller nedkjølte nøytron-moderator enheter. Nøytronstrålene kan ledes langt bort fra selve reaktoren i lederør slik at en kan minske bakgrunnen fra gammastråling og hurtige nøytroner. Nøytron-diffraktometre og -spektrometre er stadig blitt forbedret både når det gjelder oppløsningsevne og evne til å ta vare på alle informasjonene som ligger i skya av spredde nøytroner fra prøva. Ringen er også på sett og vis blitt sluttet i og med at en igjen har begynt å bruke akselerator-produserte nøytroner innen nøytronfysikken. De kraftigste moderne akseleratorene produserer pulsformede partikkel-skurer som igjen utløser pulser av nøytroner fra kilden. I dette tilfellet må en nytte flygetids-oppstillinger for å samle opp og tyde nøytron-spredningsexperimentene.

Hva vil framtida bringe?

Akseleratorbaserte pulsede nøytronkilder trenger nesten store kraftverk for å drive akseleratoren, og de er derfor en god del dyrere både i anlegg og drift, enn de kontinuerlig virkende reaktorene. Nøytronspektret som de produserer, passer heller ikke for f.eks. nøytronaktiverings-analyse eller for bestråling av silisium-krystaller eller isotop-produksjon. Det første er en metode til å måle minimale mengder forurensinger i rent stoff; det andre er en viktig måte å lage basismateriale for halvleder-produksjon på. (Ved nøytron-bestråling av Si, absorberes noen nøytroner i Si-kjerner og endrer dem til P-kjerner). Dette er viktige industrielle anvendelser av de kontinuerlig virkende forskingsreaktorene. Pengene som kommer inn fra slikt nøytronbestrålings-arbeid subsidierer grunnforsking ved disse reaktorene. Reaktorene stiller nok med atskillige fortrinn framfor de pulsede nøytronkildene både faglig og økonomisk. Akseleratorkildene har også sine avfallsproblemer siden den sterke nøytronfluksen aktiverer vegger og skjermingsmateriale i instrumentene.

I det siste tiåret har det tidvis vært sterke "tørkeperioder" for nøytronforskingen i verden. Mange mindre forskingsreaktorer er blitt stengt pga. alder og pengemangel, og flere større reaktorer som ble stengt for å utføre vedlikehold og ombygninger, er i årevis blitt forhindret i å starte opp igjen pga. sterke pressgrupper. I den samme tidsperioden er det blitt ytterligere bevist hvor nyttig nøytronspredning kan være innafor stadig nye forskingsområder, slik som polymer- og kolloid-kjemi, metaller, legeringer og keramer, biologi og medisin. Reaktorene er derfor etterhvert kommet i gang igjen. En har også sett et voksende vekselspill mellom forsking der en nytter synkrotron-stråling og nøytroner. Slike undersøkelser utfyller hverandre i stor grad.

For å kunne bruke nøytroner på den mest effektive måten, har det i internasjonal sammenheng dannet seg et hierarki av reaktorer: *lavfluks-reaktorer* for høyere undervisning og lettere forskingsoppgaver og bestråling, *mellomfluks-reaktorer* for vanskeligere problemer og forberedelse av eksperimenter ved høyfluksreaktorer, figur 5, og til slutt noen få internasjonalt drevne *høyfluks-reaktorer* der spissforskingen foregår.

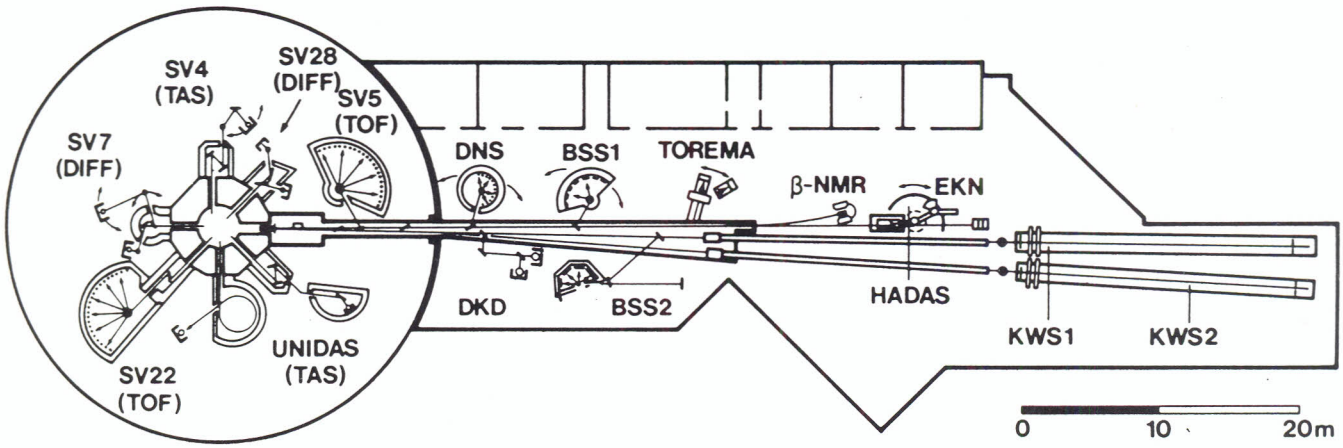


Fig.5. Apparatoppstillinga rundt en typisk mellomfluks-reaktor (23 MW reaktoren FRJ-2 ved Jülich, nær Aachen, Tyskland). Tett inntil tungbetongskjermen rundt den kompakte reaktorkjernen står diffraktometre (DIFF), flygetids-spektrometre (TOF) og treakse-spektrometre (TAS). Tre svakt bøyde lederør i samband med en kald moderator, fører nøytroner ut gjennom veggen i stålhuset til bruk ved to småvinkel-diffraktometre (KWS) og andre instrumenter. Det totale antall instrumenter rundt reaktoren er 16. 16 universiteter, 10 forskingsinstitutter og en hel del industriforetak i Ruhrområdet er brukere av alt utstyret.

Reaktoren, JEEP II, på IFE, Kjeller, som snart er 25 år, er nå kommet i første kategori fordi stadig kraftigere reaktorer er blitt bygd ute i verden. Reaktoren yter 2 MW og arbeider ved lav temperatur (50 grader) og atmosfæretrykk. Uranet er svakt anriket. Alle i fysikkavdelinga på Kjeller har i årenes løp hatt stort utbytte av å kunne starte opp forskingsprosjekter og utvikle metoder ved vår hjemlige reaktor for seinere å kunne fullføre prosjektene ved høyfluks-reaktorene i Brookhaven og i Oak Ridge, USA. Der har vi hatt anledning til å treffe og arbeide sammen med verdenskjente vitenskapsmenn.

I USA har en nå planer om en ny super-reaktor, *The Advanced Neutron Source* (ANS), som skal komme i gang ved år 2000 ved Oak Ridge laboratoriet. På dette tidspunktet vil en måtte stenge av de gamle høyfluks-reaktorene fra seksti-åra pga. alder og utviklinga innen teknologien. ANS får en nøytronfluks på $9 \cdot 10^{15}$ $n\ cm^{-2}s^{-1}$ ved en effekt på 350 MW. Brenslet vil bli uran, $^{235}_{92}U$, 93 % anriket. Alle slags nyutviklete nøytron-diffraktometre og -spektrometre er planlagt i flere store eksperimental-haller rundt reaktoren.

Etterhvert har det europeiske forskingsmiljøet innen området tatt store skritt framover ved bygging av en stor høyfluks-reaktor i Grenoble, og like ved siden av kommer snart den kraftige europeiske synkrotron-strålingskilden ESRF, i gang. Det norske miljøet har i de siste åra derfor vendt ansiktet mot Europa når vanskelige forskingsproblemer skal løses. Jeg vil særlig framheve det gode samarbeidet som er oppnådd med nøytronfysikerne i vårt naboland Danmark, der de har en god mellomfluksreaktor ved Forskningscenter Risø nær Roskilde. Risø ligger bare en ferjereise fra Oslo. Utstyret rundt reaktoren er av internasjonal toppklasse og blir stadig forbedret.

Innen Fysikkavdelinga på IFE hadde vi en usikker periode i noen år i begynnelsen av åtti-åra, men en kunne planlegge på lengre sikt etter at posten "Grunnforskning i fysikk" (ved IFE) kom inn i statsbudsjettet. Vi er derfor kommet et godt stykke videre med våre moderniseringer idet de gamle instrumentene nå styres lokalt av PC-er, som igjen er knyttet til et datanettverk. Den tilårskomne NORD 1 er blitt "pensjonert" etter 20 års virksomhet. Vi setter også store håp til to nye instrumenter, et moderne SANS diffraktometer og et nytt pulver-diffraktometer, PUS, begge hovedsaklig finansiert fra NAVF. Den gamle reaktoren JEEP II "holder koken", tjener bra med penger på bestrålingsoppdrag, og vil nok kunne kjøres i minst 10 år til. Nye, yngre krefter med entusiasme og pågangsmot tar etterhvert over i fysikkavdelinga - så nøytronfysikken i Norge er nok "liv laga".

∞

Litteratur

Historikk:

1. O. Steinsvoll: *60 år siden nøytronet ble oppdaget.* FFV Nr. 3, 70 (1992)

2. J. Six: *La decouverte du neutron.* CNRS, Paris, (1987)

3. B. Weiss: *Lise Meitners Maschine.* Kultur und Technik, Nr. 3, München, (1992)

4. H. DeWolf Smyth: *Atomic Energy for Military Purposes.* Princeton University Press, (1945)

5. C. Dahlerup Koch: *Kampen om atombomben.* Steen Hasselbalchs forlag, København, (1962)

6. E. Andersen: *Atomreaktoren 25 år.* IFA-NYTT Nr. 4, 8 (1967)

7. Jomar Brun: *Brennpunkt Vemork, 1940 – 1945.* Universitetsforlaget, (1985)

8. J.A. Goedkoop: *Kjellers impact in the Netherlands.* Forelesning på IFE, Kjeller (Trykt versjon hos biblioteket), 18. august (1992)

9. O. Steinsvoll: *25 år siden Institutt for Atomenergi ble opprettet.* FFV Nr. 3, 72 (1973)

10. Astrid Forland: *Atomer for krig eller fred? Etableringa av Institutt for Atomenergi 1945 - 48.* Institutt for forsvarsstudier, Rapport Nr. 2, (1988)

Nøytronfysikk:

1. D.J. Hughes: *Pile neutron research.* Addison - Wesley, (1953)

2. G.E. Bacon: *Neutron Diffraction.* Clarendon Press, Oxford, (1962)

3. C.G. Shull: *Physics with early neutrons.* Proc. Conf. Neutron Scattering, Gatlinburg, Tenn. (CONF – 760601 ORNL) (1976)

4. E. Andersen: *Hva er en kritisk reaktor?* FFV Nr. 2, 21 (1964)

5. O. Steinsvoll: *Polariserte langsomme nøytroner og deres bruk innen de faste stoffers fysikk.* FFV Nr. 4, 78 (1964)

6. O. Steinsvoll: *Dynamikk i faste stoffer undersøkt ved termiske nøytroner.* FFV Nr. 1, 22 (1974)

7. O. Steinsvoll: *Magnetisme – nye modeller og faglige kontroverser.* FFV Nr. 3, 68 (1988)

8. O. Steinsvoll: *SANS – Småvinkel nøytronspredning.* FFV Nr. 3, 63 (1988)

9. O. Steinsvoll: *Småvinkelspredning av nøytroner i biologisk forsking.* FFV Nr. 1, 18 (1991)

Bokomtaler

Timothy Ferris: Mælkevejens Krønike. Gyldendal Nordisk Forlag, (416 sider) kr 368.

Astrofysikkens historie; mer spennende enn noen kriminalroman.

Den vesentlige betydningen av vitenskapen er konsentrert i de to spørsmålene: Hvem er vi, og hvor er vi? Naturvitenskapen iakttar og eksperimenterer. Dernest prøver den å finne regelmessigheter i observasjonene. Den gjetter så på hvilke spilleregler naturen virker etter. Disse lovene må kunne forutsi hva som vil skje. Da kan en se om teorien har noe for seg, eller om den må forkastes.

Få ekte forskere arbeider for å oppnå kortsiktig økonomisk gevinst. Målet er ikke å fylle magen, men å pirre hjernen. Vitenskap er ikke forretning, men underholdning. En bedriver vitenskap fordi det er morsomt. Ingen vet hva den som våger seg ut i det ukjente vil finne der ingen har vært før. Michael Faraday demonstrerte en gang sine fundamentale oppdagelser innenfor elektrisitetslæren med strømspoler og magneter. Han skal da ha fått spørsmålet: "Hva skal nå dette benyttes til?" Han svarte: "Hva benytter en et nyfødt barn til?"

En ung amerikansk astrofysiker har nå våget å gi seg i kast med det nesten umulige. Timothy Ferris har villet skrive et bredt utsyn over det mest vesentlige av astronomiens historie. Men mange er de som har bidratt til vårt verdensbilde. Likevel gir faktisk boken "Mælkevejens Krønike" en vakker og gyldig oversikt over veien fram til dagens oppfatning av hvordan universet oppsto, utvikler seg, er strukturert og vil ende.

Vår rasjonelle historie starter med de gamle grekere. De har fått sin plass, og vi får selvfølgelig legenden om en Arkimedes som sprang naken opp fra badet og ut i gatene da han i et genialt glimt innså oppdriftsloven. Oldtidens største fysiker konstruerte nok livsfarlige krigsmaskiner, men selv hadde han liten glede av å skremme romere. Han konsentrerte seg om sine matematiske sirkler selv da han ble hugget ned av en soldat.

Ferris er særs flink til å krydre fortellingen med lystelige små anekdoter. Newton skrev ikke bare Principia, men også en avhandling om helvetets topografi. Men tidenes mest geniale fysiker hadde evnen til å konsentrere seg. Engang leide han hjem en hest fra havnehagen. Men øket sleit seg. Det merket ikke det tenksomme geniet. Han leide hjem grima alene. Senere fikk han lønn som fortjent. Han ble medlem av parlamentet. Dette parlamentsmedlemmet opplot sin

røst kun en gang i den forsamlingen. Han ba en tjener om å lukke et vindu. For der var gjennomtrekk.

Da var endelig middelalderens tussmørke forbi. Homo sapiens gjorde seg på nytt fortjent til sin betegnelse. Med renessansen fikk menneskeheten Kopernikus, Brahe, Kepler og Galilei. Brahe fikk dessverre et sørgelig endelikt. Blæren sprakk da den ølhungrige hoffastronom ikke fikk gjort sitt fornødne i keiserens nærvær. Kepler sleit seg nok fram til sine tre lover, men sleit også med å holde sin gamle mor fra heksebålet.

Galilei var vel den første virkelige eksperimentalfysiker. Men generøs var han ikke. Den geniale, men fattige Kepler ba ydmykt om å få benytte det nye teleskopet. Galilei overså denne bønnen. Han skjenket heller teleskopet til sine kongelige beskyttere til gavn for sin matnyttige karriere. Riktignok falt han til slutt som martyr for vitenskapen. Inkvisisjonens makt og den katolske overtro fant seg jo ikke i kritikk og satire. Men Galilei kunne nok vært mer smidig. Han er neppe den siste fysiker som er politisk naiv. Men skarpsindig var han. Aristoteles påsto at tunge legemer faller hurtigere enn lette legemer, selv i lufttomt rom. Galilei spurte da om ei kule der de to halvdelene bare ble holdt sammen av et hårstrå ville falle saktere enn den intakte kula.

Så kom de store oppdagelser og oppfinnelser med industriell framgang og materiell velstand eller naturplyndring og forurensing, alt etter som en ser det. Med teknikken fulgte bedre observasjonsinstrumenter. Pioneren Bessel fastslo nå den umåtelige avstanden til en stjerne; over fire års reise med lysfart. Faraday fant lovene for elektrisitet og magnetisme, og Maxwell forsto at lys var elektromagnetiske bølger.

Men en nyfiken sekstenåring undret seg da over hva han ville se dersom han beveget seg sammen med en lysstråle. Var det svingende elektromagnetiske bølger i ro? Teorien ga ikke noe meningsfylt svar, men den som stilte slike ekle spørsmål het Albert Einstein. Hans arbeid snudde opp ned på tilvante forestillinger. Tid og rom var en enhet avhengig av observatørens bevegelse, og materie viste seg å være konsentrert energi. Men kulene til Galilei førte til slutt fram til et nytt syn på gravitasjon. Materien krummer tid og rom, mens materien følger minste motstands vei gjennom tid og rom. Men beskjeden kan en knapt kalle denne Einstein. "Det som virkelig interesserer meg er å finne ut om Herren egentlig hadde noe valg da han skapte verden," sa mennesket Einstein. Men teorien passet. Under en solformørkelse så en at lyset fra fjerne stjerner bøyde av i nærheten av den tunge sola. Om Einstein ville blitt nedslått om teorien ikke var blitt bekreftet? "Ja, da ville jeg følt medlidenhet med den gode Gud," svarte han.

Dette nydelige verket til Timothy Ferris tar oss også med til vår tids forskningsfront. Nå vet vi at universet utvider seg. Vi forstår hvordan noe av materien ble til i de fantastiske første minuttene etter skapelsen, mens de fleste grunnstoffer blir produsert i stjernenes hete indre. Vi har til og med funnet et ekko fra skapelsen. Vi har funnet en iskald bakgrunnsstøy fra verdensrommet. Den stammer fra det øyeblikk da stråling og materie skilte lag for godt. Siden den tid har universet vært gjennomsiktig.

Men de fryktløse teoretikerne tar ikke noe pust i bakken. De lanserer nye altomfattende teorier bygget på matematisk skjønnhet og symmetri. Men det blir stadig verre å finne eksperimenter for å sette teoriene på prøve. Derfor har partikkelfysikerne og kosmologene sluttet rekkene. En må rett og slett regne seg fram til hvordan teorien sier at universet må se ut. Så får astronomene rette teleskopene mot verdensrommets dybder for å se om spådommen passer. Kosmologi er for så vidt blitt den fattige menneskerasens laboratorium.

Men resultatet av de nye observasjonene er nærmest utrolig. Bevegelser av stjernetåkene tyder på at universet er fullt av en slags gåtefull, mørk materie. De mektige stjernetåkene selv blir nærmest som skum å regne på bølgetoppene over et mystisk hav av umåtelige dybder.

Men selv fravær av objekter tolker teoretikerne positivt. Teoriene tilsier nemlig at det må eksistere objekter med bare en magnetisk pol. Vi husker da fra skolefysikken at når vi brøt en magnetstav i to, så hadde hver av delene fremdeles en nordpol og en sørpol. Eksperimentalfysikerne har da heller aldri sett disse monopolene. Men teoretikerne kan fortelle at det er bare naturlig. Den samme teorien sier nemlig at i tidenes morgen gjennomgikk universet en eksplosjonsartet ekspansjon. Etter denne såkalte inflasjonsepoken forsvant de fleste monopolene fra den delen av universet vi makter å observere.

Det minner om kunstneren som viste fram et tomt lerret på veggen. Han ble spurt om hva det forestilte. Jo, ei ku som spiser gress. Men hvorfor er det så ikke noe gress på bildet? Å, det er fordi kua har spist det. Men det er jo ingen ku der heller? Nei, kua har da vel ingen interesse av å være der når gresset er borte.

Henning Knutsen

∞

Nye Doktorer

Lars Nils Bakken

Lars Nils Bakken, Institutt for fysikk, UNIT–NTH, forsvarte den 19. juni 1992 avhandlingen *Structure parameter determination from convergent beam electron diffraction* for dr.ing.-graden.

Målsettingen med studiene har vært å utvikle kvantitative elektrondiffraksjons-metoder for å få detaljert informasjon om atomær struktur, ladningstetthet og særlig bindinger med fokus på ikke-sentrosymmetriske krystaller. Styrken ved å bruke elektroner framfor andre teknikker, er den sterke vekselvirkningen med materialet, og at undersøkelsene kan gjennomføres på krystallitter ned til nanometer i størrelse. Foruten på én-krystaller, kan metodene derfor like gjerne anvendes på polykrystallinske og små metastabile prøver. På den annen side, er det inversjonsproblemet som må løses for å bestemme fourierkomponentene til det spredende potensialet svært regnekrevende. Dette sammen med metodiske problemer, har til nå sterkt begrenset anvendelsene.

I doktorarbeidet er det lagt vekt på det teoretiske og det beregningstekniske grunnlaget for en metode som bygger på konvergentstråle elektrondiffraksjon. Bruk av perturbasjonsteori for høyenergi elektroner er undersøkt i detalj, og generaliserte høyereordens ledd er blitt utviklet. Ved mange-stråle dynamiske beregninger, er diffraksjonsbetingelser som er spesielt følsomme for strukturfaktorenes størrelse og fase blitt kartlagt. Simuleringer her kan gi størrelsen og fasen på absoluttskala med en nøyaktighet på henholdsvis under 1% og under 1^o. For å gjennomføre dette ved sammenlikninger mellom teori og eksperimenter, er det utviklet en algoritme som automatisk utfører en mange-parameter minimalisering. Disse resultatene vil ha stor betydning for anvendelser og for videre arbeid basert på energifiltrert elektrondiffraksjon.

Lars Nils Bakken har hatt NAVF dr.-stipend. Fra september 1992 har han vært gjesteforsker ved Université Paris Sud.

∞

Trim i FFV

FFVT 4/92

Ved tungt snøfall har snøplogen "Gamle Trofast" en hastighet som er omvendt proporsjonal med snødybden. En kveld det snødde jevnt og tungt startet plogen ved midnatt og kjørte to mil den første timen og én mil den neste timen. Når begynte det å snø?

Løsning FFVT 3/92

Et lodd ble sluppet fra et høyt tårn, og oppgaven gikk ut på å avgjøre om loddet falt i punktet L loddrett nedenfor, eller østenfor L.

La oss først presisere problemet dithen at vi befinner oss på den nordlige halvkule (breddegrad φ), at tårnhøyden H ikke er større enn tårnhøyder pleier å være, og at vi kan se bort fra jordas bevegelse rundt sola, fra vindhastigheter og fra luftmotstand.

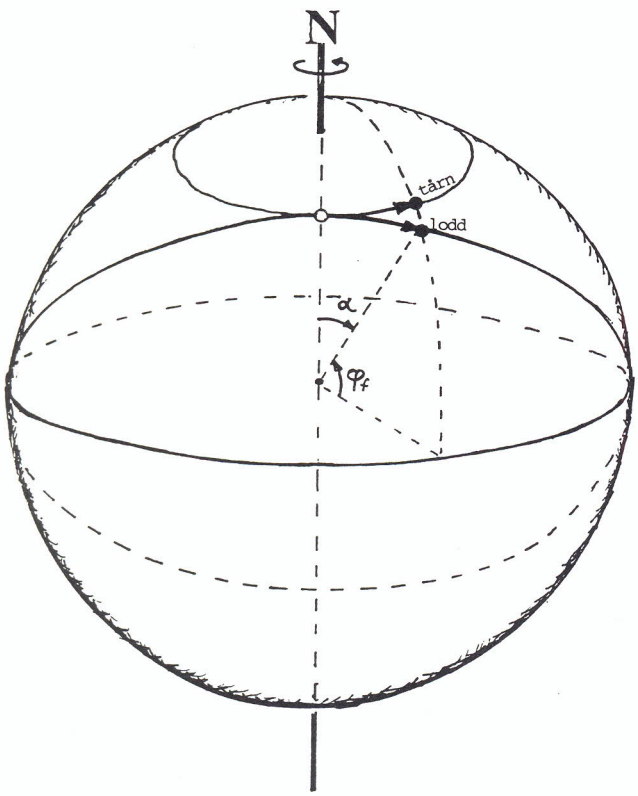
Sett fra et inertialsystem roterer jorda med vinkelhastighet Ω. Loddet har da i utgangsposisjonen farten $v_0 = (R + H)\Omega \cos\varphi$, der R er jordradien.

Etter at loddet er sluppet, beveger det seg på et kort stykke av en Kepler-ellipse som ligger i planet gjennom starthastigheten $\vec{v}_0$ og jordas sentrum, et plan som også inneholder en storsirkel. Tårnet T beveger seg naturligvis i en sirkel normalt på jordaksen (se figuren). Så det synes klart at det er blitt både et *østavvik og et sydavvik* når loddet lander etter en falltid $t_f \simeq \sqrt{2H/g}$. Hvilket avvik er størst? La oss beregne begge.

Loddets vinkelhastighet ω i høyden h, øker under fallet fordi dreieimpulsen om jordas sentrum, opprinnelig lik $v_0(R + H)$, er konstant:

$$\omega = \Omega \cos\varphi \left(\frac{R+H}{R+h}\right)^2 \simeq \Omega \cos\varphi[1 + 2(H-h)/R],$$

der vi i siste ledd har antatt at tårnhøyden er mye mindre enn jordradien. Da $h = H - \frac{1}{2}gt^2$, er



$$\omega(t) = \Omega \cos\varphi[1 + gt^2/R],$$

og total dreiningsvinkel α i løpet av falltida blir

$$\alpha = \int_0^{t_f} \omega(t)dt = \Omega \cos\varphi[t_f + gt_f^3/3R].$$

Da høyden over ekvatorialplanet avtar proporsjonalt med $\cos\alpha$, så er breddegraden tilslutt, $\varphi_f = \varphi - \Delta\varphi$, gitt ved

$$\sin\varphi_f = \sin\varphi\cos\alpha.$$

Ved å rekkeutvikle i de små størrelsene α og breddegradsendringen $\Delta\varphi$, fås

$$\Delta\varphi \simeq \tfrac{1}{2}\alpha^2 \tan\varphi.$$

Innsettes det dominerende ledd i uttrykket for α, blir sydavviket $\Delta(\text{syd}) = R\Delta\varphi$, lik

$$\Delta(\text{syd}) = \tfrac{1}{2}R\Omega^2 t_f^2 \sin\varphi\cos\varphi.$$

Så var det østavviket. Tårnets og loddets baner er opprinnelig parallelle, så i første tilnærmelse kan vi sette østavviket lik forskjellen i veglengde. Tårnet har tilbakelagt strekningen $\Omega t_f \cos\varphi$, og loddet har beveget seg en avstand $R\alpha$ østover. Forskjellen er østavviket

$$\Delta(\text{øst}) = \tfrac{1}{3}\Omega g t_f^3 \cos\varphi.$$

For Eiffeltårnet med $H = 300$ m og $\varphi = 49°$, blir $\Delta(\text{øst}) = 7{,}5$ cm, mens $\Delta(\text{syd}) = 48$ cm er større.

Er leseren tilfreds? En analyse med denne konklusjonen har kommet på trykk (H. Vogel: *Probleme aus der Physik*, Springer-Verlag, 1982). Den er imidlertid fullstendig misledende. Feilen skyldes at loddlinjen ikke går gjennom jordens sentrum fordi sentrifugalkraften kommer i tillegg til gravitasjonen. Så planet som loddet beveger seg i går *ikke* gjennom tårnfoten dersom tårnet er bygget "i lodd". Et loddrett tårn heller nordover. Det er lett å beregne at en loddsnor danner en liten vinkel $\Omega^2 Rg^{-1} \sin\varphi\cos\varphi$ med jordradien, og dette gir en nord-forskyvning som opphever det ovenfor beregnede sydavvik. Altså faller loddet tross alt ned *østenfor* punktet L.

En raskere og elegantere løsning er å se på det hele fra det bevegede system. Kombinasjonen av sentrifugalkraft og tyngdekraft gir at loddets fallhastighet (i første tilnærmelse) ligger i et plan som går gjennom jordaksen. Corioliskraften $2m\vec{v} \times \vec{\Omega}$, virker da normalt på dette planet, i østlig retning, og gir det ovenfor beregnede østavvik. (Den lille østlige hastigheten som oppstår gir via Coriolis en annenordens-effekt som lett ses å være et ørlite sydavvik.)

Fallforsøket har en viss historisk interesse. Newton hadde idéen til å verifisere jordens akseomdreining på denne måten, og vitenskapsselskapet i London påla Hooke å gjøre forsøket. Fallhøyden 27 fot ga imidlertid null resultat. Tyskeren Benzenberg (1777-1846) gjorde det første vellykkede forsøk fra et 235 fot høyt tårn i Hamburg, og det kalles gjerne *Benzenbergs fallforsøk.*

Oppgaven viser fordelen med den mindre intuitive beregning via Corioliskraften, og moralen forøvrig er at en skal ikke tro på alt som står på trykk. Og hvor lander en kule som skytes *vertikalt* oppover, eventuelt *loddrett* oppover?

∞

Hva skjer

FYSIKERMØTET 1993

Neste års Fysikermøte arrangeres i Oslo i tiden 8. til 10. juni. Møtet vil bli holdt på Blindern tirsdag 8. og torsdag 10. juni, i en nyrestaurert Fysikkbygning. Onsdag 9. juni vil vi forflytte oss til Norsk Teknisk Museums lokaler på Kjelsås. I forkant av Fysikermøtet, mandag 7. juni, vil Nettverk for kvinner i fysikk holde et seminar på Blindern. Vi oppfordrer dere derfor til å *AVSETTE UKE 23, 1993, til FYSIKERMØTE I OSLO.*

Programmet og påmeldingsskjema både for kvin-

neseminaret og Fysikermøtet vil komme i første nummer av "Fra Fysikkens Verden" i 1993.

Henvendelser om møtet kan rettes til arrangementskomiten, som består av: Jan A. Holtet (leder, telefon 02-855669), Martin Høiby (sekretær, telefon 02-856429), Hallstein Høgåsen, Finn Ingebretsen, Tom Henning Johansen og Egil Leer. Sekretariatets adresse er: Fysikermøtet 1993, Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, Postboks 1048 Blindern, 0316 OSLO. Telefax 02-856422, e-mail fysikerm@fys.uio.no

∞

ELEKTROOPTIKK-MØTET 1993 og årsmøte i Faggruppen for optikk i Norsk Fysisk Selskap

blir arrangert på Fefor Høgfjellshotell, Vinstra, 18 - 21. mars 1993, av Televerkets Forskningsinstitutt. Norsk forsknings- og utviklingsaktivitet innen opto-elektronikk og optikk presenteres i påmeldte foredrag. 5 inviterte foredrag av internasjonalt anerkjente spesialister, bl.a. om optiske teknikker for høyhastighets-kommunikasjon. Språket på møtet er engelsk.

For nærmere opplysninger kontakt konferansens sekretær: Annie Liholt, Televerkets Forskningsinstitutt, Boks 83, 2007 Kjeller. Telefon 06-809239, Telefax 06-800511.

∞

KURS OM "RANDOM SYSTEMS"

Et videregående kurs med tittelen "Statistical Physics of Random Systems" vil bli holdt ved "Senter for avanserte studier" ved Det Norske Videnskaps-Akademi og Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Kurset vil bl.a. omhandle emner fra perkolasjonsteori, fraktaler og multifraktaler, spinnglass, faseoverganger i "random systems" og strømning i porøse media.

Kurset begynner 2. februar, 1993, og vil gå over tre intensive perioder, totalt 80 timer i til sammen fem uker. Det er beregnet for hovedfags- og dr.gradsstudenter, og har godkjent eksamen.

Påmeldingsfristen er 3. januar. For påmelding og nærmere informasjon, kontakt: Inger Lauvstad, Boks 1048 Blindern, N-0316 Oslo. Telefon 02-856111, Telefax 02-855101, e-mail inger@lys.uio.no

∞

Nytt fra NFS

Priser til utdeling på Fysikermøtet 1993

Simrads Fysikkpris i Elektro-optikk

Simrad Optronics A/S gir annet hvert år en fagpris i elektro-optikk. Prisen er på kr. 15.000 og deles ut av Norsk Fysisk Selskap. Prisen gis for et norsk arbeid på fagområdet elektro-optikk eller et arbeid der elektro-optiske metoder er anvendt. Prisen skal gis som belønning for et arbeid som er utført av en eller flere personer innenfor de fem siste år før utdelingen. Både grunnleggende og anvendt forskning kan tilgodesees med prisen.

Norsk Fysisk Selskaps Undervisnigspris i fysikk

Norsk Fysisk Selskap har med støtte fra Cappelens forlag, NKI-forlaget og Norsk Undervisningsforbund opprettet et fond hvis avkastning hvert annet år vil bli brukt til en undervisningspris i fysikk. Prisen, som i 1993 vil være på kr. 15.000, vil deles ut for første gang.

Prisen deles ut til en eller flere som underviser i skolen (grunnskole og videregående skole). Formålet med prisen er å styrke fysikkundervisningen og belønne en innsats av høy faglig kvalitet.

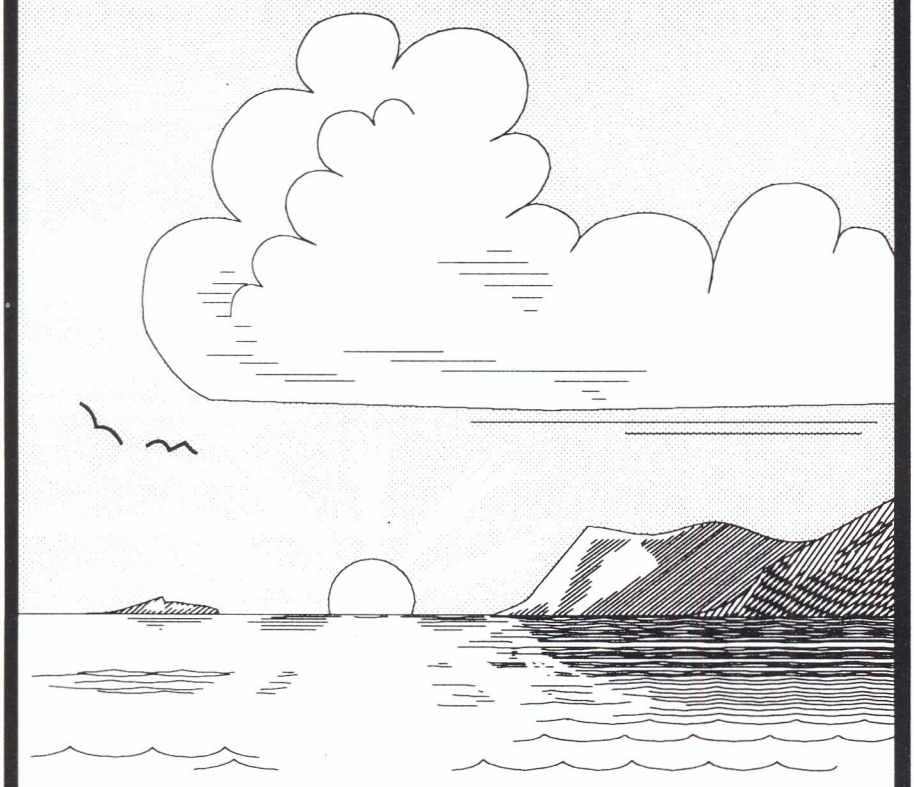
IBM's Fysikkpris (Kondenserte fasers fysikk)

IBM Norge gir hvert år i 5 år fra 1990 kr. 20.000 til en fagpris i kondenserte fasers fysikk. Prisen kan gis til en eller flere norske forskere som har sitt arbeidssted ved, eller har nær tilknytning til, norske institusjoner. Prisen gis for forskningsarbeid av høy faglig kvalitet innenfor kondenserte fasers fysikk. Både grunnleggende og anvendt forskning kan tilgodesees. Arbeidet bør være av nyere dato, fortrinnsvis innenfor de siste fem år.

Begrunnede forslag på kvalifiserte kandidater til de tre prisene kan sendes Norsk Fysisk Selskaps sekretariat innen **1. februar 1993**.

∞

VÆR – KLIMA – MILJØ



Vi utvikler instrumenter for oseanografi og meteorologi fra scratch til avanserte produkter for et internasjonalt marked. Vi krever allsidige ingeniører.

AANDERAA INSTRUMENTS

FANAVEIEN 13B,
5051 BERGEN, NORWAY.
TEL. 05 132500, TLX 40049
TELEFAX + 05 137950

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

President:
Professor Thormod Henriksen,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Visepresident:
Professor Egil Leer,
Institutt for teoretisk astrofysikk,
Universitetet i Oslo.

Styremedlemmer:
Amanuensis Marianne Foss,
Institutt for matematiske realfag,
Universitetet i Tromsø.
Professor Anne Grete Frodesen,
Fysisk institutt, Universitetet i Bergen.
Professor Haakon A. Olsen,
Fysisk institutt, AVH,
Universitetet i Trondheim.

Selskapets sekretær:
Gerd Jarrett,
Fysikkavdelingen, Institutt for energiteknikk, Boks 40, 2007 Kjeller.
Tlf.:(06) 80 60 75 Fax.:(06) 81 09 20
Postgirokonto: 5 88 38 89.
Bankgirokonto: 5102.09.58344.

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:
Professor Øivin Holter,
Professor Finn Ingebretsen,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.
Redaksjonssekretær:
Avd.ing. Karl Måseide,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Redaksjonskomité:
Professor Noralv Bjørnå,
Institutt for matematiske realfag,
Universitetet i Tromsø.
Professor Anne Grete Frodesen,
Fysisk institutt, Universitetet i Bergen.
Lektor Ingerid Hiis Helstrup,
Langhaugen skole, Bergen.
Professor Per Chr. Hemmer,
Fysisk institutt, NTH,
Universitetet i Trondheim.
Professor Egil Leer,
Institutt for teoretisk astrofysikk,
Universitetet i Oslo.

Ekspedisjonens adresse:
Fra Fysikkens Verden,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.
Tlf.:(02) 85 64 28
Fax.:(02) 85 56 71 / 85 64 22
Email:
oivin.holter@fys.uio.no
finn.ingebretsen@fys.uio.no
karl.maseide@fys.uio.no

Fra Fysikkens Verden utkommer fire gange årlig. Abonnement kan tegnes direkte fra ekspedisjonen. Årsabonnement kr. 90,-. Studenter og skoleelever kr.45,-. Løssalg kr 30.- pr. nummer.

Postgirokonto: 0807 5 10 47 24
Bankgirokonto: 6094.05.40227