Fra Fysikkens Verden

Nr. 2 – 1994
56. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Gustav Marthinsen:
Isaac Newton som teolog m.m. . 36

Ø.G. Martinsen og S. Grimnes:
Elektriske modeller for hud 44

Hans H. Grelland:
En Mathcad leksjon 49

Tormod Riste:
Kompleksitet, nytt forskingsfelt . 52

Fra Redaktørene 34
Top-kvarken funnet? 34

Bokomtaler 54
Nye Doktorer 57
Dr.scient. Åse Ballangrud
Dr.ing. Cecilie Berg
Dr.scient. Vidar Frette
Dr.ing. Bjørn Petter Jelle
Dr.ing. Gunnar Kopstad
Dr.scient. Hans Christian Guren
Dr.scient. Jøran Moen
Dr.scient. Jon Børre Ørbæk
Trim i FFV 61
Hva skjer 62
Nytt fra NFS 63
Konferanse om fysikkundervisning

ISAAC NEWTON 1642 – 1727
(Se artikkel og bokomtale)

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

Vi tror på ingen måte at vi har større klarsyn enn alle som nå for alvor fokuserer oppmerksomheten mot NFR. På den annen side har vi god tilgang til korridorer og andre steder der fysikere møtes, samtidig som vi har en priviligert tilgang til en spalte i FFV. Vi kan derfor heller ikke denne gang motstå fristelsen. Kanskje det skyldes våren, med all sin optimistiske glede og med årets fysikermøte i Bergen rett rundt hjørnet? Attpå til er det lenge til forskningsrådets søknadsfrist, den 1. august, så mai måned har vært vesentlig mindre hektisk enn tidligere. Den sene fristen registrerer vi forøvrig med noe undring. Med erfaring fra flere års søknadsbehandlinger trekker vi den slutning at enten har NFR bestemt seg for å fordele forskningsmidler etter bingometoden, eller så er det besluttet at antall søknader er dramatisk redusert; med andre ord, terrenget har justert seg etter kartet. Og dermed er i alle fall en rasjonaliseringsgevinst oppnådd.

Vi spår NFR en overraskelse: Den grunnleggende optimismen i forskningsmiljøene lar seg (heldigvis!) vanskelig knekke; søknadsvolumet vil også i år være som før. Og grunnen er ganske enkel; ressursbehovet er stort og idéene er mange. Formaninger og orienteringsrunder er etter vår mening, kanskje dessverre, bortkastet. Og det mest sannsynlige resultat av hele prosessen er: mer frustrasjon i fagmiljøene.

På den annen side er det besluttet at blant annet all norsk fysikk skal evalueres. Vi har allerede hørt sukkene i gangene: "Å nei, ikke nå igjen!" Erfaringene fra tidligere evalueringer er nemlig svært blandet. De aller fleste er enige om en ting: det koster mer enn det smaker. Ingen evaluering har hittil kommet med store overraskelser eller åpenbaringer. Bortsett fra noen åpenbare feilskjær, har man i grove trekk—for en god slump penger—fått fram kjente forhold og anbefalinger som sjelden eller aldri er blitt fulgt opp. Det er neppe særlig oppsiktsvekkende at man ved veiing oppdager at en underforet kalv er for mager. Så vårt gode råd er, i all beskjedenhet: Glem det!

∞

Top-kvarken funnet?

Ved Fermi National Accelerator Laboratory i Batavia, 50 km vest for Chicago, studerer man i Tevatron-maskinen kollisjoner mellom protoner og antiprotoner ved en energi av 1,8 TeV (1800 GeV). I det siste har kollisjonsfrekvensen kommet opp i 250 000 i sekundet. De fleste av disse er uinteressante, men ca. 5 kollisjoner hvert sekund er kraftige nok til at man finner det verdt å "fotografere" dem elektronisk for mer detaljerte analyser senere. Det blir 50 millioner potensielt interessante hendelser i løpet av ett år.

Etter flere års innsamling og analyse av slike data, har CDF-kollaborasjonen (Collider Detector at Fermilab) 26. april 1994, annonsert at de mener å ha funnet *top*-kvarken. Massen angis å være 174 GeV, med en usikkerhet på 10–20 GeV. Den er derved omtrent så tung som et gullatom, eller over 30 ganger tyngre enn b-kvarken (ca. 5 GeV), som var den hittil tyngste kvarken. Dette ble rapportert i en artikkel på over 150 sider, med 440 forfattere, som er sendt til "Physical Review D". Oppdagelsen er basert på at 12 av disse mangfoldige millioner av hendelser har spesielle egenskaper. Enkeltvis kunne disse 12 hendelsene komme fra andre produksjonsmekanismer (bakgrunn), men analysen viser at bakgrunnen ikke kan gi opphav til alle.

Elementærpartikkelfysikken er konsistent med "Standardmodellen", som egentlig består av to teorier. Den ene er *Quantum Chromodynamics (QCD)* som beskriver kvarker og gluoner, og hvordan de bygger opp materien i atomkjernene. Den andre er *Glashow–Weinberg–Salams elektrosvake teori* som gir en enhetlig beskrivelse av elektromagnetisme og radioaktivitet, basert på krefter som formidles av fotoner, $W^{\pm}$ og Z^0-partikler (oppdaget ved CERN i 1983). Ifølge den elektrosvake teori må kvarkene forekomme i dubletter. Den første dubletten består av d- og u-kvarker, som er alt som behøves for vanlig materie (protoner og nøytroner består av tre slike kvarker). For hver kvarkdublett er der en lepton-dublett, hvorav elektronet og dets nøytrino utgjør den første.

Etter at man ved Stanford Linear Accelerator Center (SLAC) i 1975 oppdaget tau-leptonet, og man ved Fermi-laboratoriet i 1977 oppdaget b-kvarken, ble det fort klart at der måtte eksistere minst tre kvarkgenerasjoner. Vi kjente på den tiden 5 kvarker: d ("down"), u ("up"), s ("strange"), c ("charm") og b

("bottom"). Som "ledsager" til b-kvarken måtte der eksistere også en sjette kvark, t-kvarken ("top").

I proton–antiproton kollisjoner produseres *top*- og *antitop*-kvarker ved at lette kvarker og antikvarker i protonene og antiprotonene annihilerer, eller ved at gluoner fusjonerer. Hvis vi betegner lette kvarker (u og d) i protonet med q, gluoner med g, og antipartikler med "bar" ($\bar{q}$ og $\bar{t}$), kan vi skjematisk skrive den dominerende produksjonsprosessen som

$$q\bar{q} \rightarrow g \rightarrow t\bar{t}.$$

Top-kvarken har meget kort levetid. Den henfaller etter 10^{-25} sekund typisk til en W-partikkel og en b-kvark. Disse er også ustabile. Oftest henfaller W-partikkelen (innen $3 \cdot 10^{-25}$ sekund) til et kvark–antikvark-par, men den vil i 10% av tilfellene henfalle til et positron, e^+, og et elektron-nøytrino, ν_e (eller, også med 10% sannsynlighet, til myon, μ^+, og myon-nøytrino, ν_μ),

$$t \rightarrow b + W^+ \rightarrow b + e^+(\mu^+) + \nu_e(\nu_\mu).$$

Positronet (eller myonet) kan detekteres, men nøytrinoet vil unnslippe. Derved oppstår ubalanse i detektert impuls, et kjennetegn for disse hendelsene. Tilsvarende vil også *antitop*-kvarken henfalle,

$$\bar{t} \rightarrow \bar{b} + W^- \rightarrow \bar{b} + e^-(\mu^-) + \bar{\nu}_e(\bar{\nu}_\mu).$$

Slike hendelser med W^+ eller W^- som henfaller, gir isolerte elektroner eller myoner, noe som ikke lett etterlignes av andre prosesser. De benyttes derfor for å redusere datamengden. Men W-partikler kan også produseres på andre vis, uten å komme fra t-henfall. Dette er en av bakgrunns-effektene, som bidrar til å vaske ut signalet fra $t\bar{t}$-produksjon.

En b-kvark har også karakteristiske desintegrasjonsmoder. Den har imidlertid relativt lang levetid (10^{-12} sekund), slik at man med en såkalt mikroverteks-detektor i mange tilfeller (ikke alltid!) kan konstatere at b-kvarken henfaller noen millimeter fra produksjonspunktet. Dette er ikke tilfelle for de lette kvarkene, og er derfor av stor betydning for identifikasjon av hendelser med b- eller *anti-b*-kvarker. I noen tilfeller går det også å identifisere b-kvarken ved at den henfaller til bl.a. et elektron eller et myon. Det er slik man mener å ha sett spor etter t-kvarken, nemlig ved å se e^+ (eller μ^+) fra W^+ og karakteristiske desintegrasjonsmoder fra b-kvarken, samtidig som *anti-t*-kvarken henfaller på lignende måte.

Ofte vil den ene W-partikkelen henfalle til to kvark-jetter. Det er da mulig å rekonstruere deres impulser; man kan kontrollere at de har en ivariant masse som tilsvarer W-partikkelen (ca. 80 GeV), og kombinere disse med impulsen til b-kvarken, for slik å bestemme t-kvarkens masse.

Oppdagelsen kom ikke som noen overraskelse, i den forstand at vi i 17 år har "visst" at t-kvarken måtte eksistere. Bestemmelse av t-kvarkens masse er likevel av stor betydning for arbeidet med å sjekke hvorvidt Standardmodellen er konsistent. Kvantefluktuasjoner gir såkalte strålingskorreksjoner til målbare størrelser. Disse strålingskorreksjonene avhenger av teoriens parametre, spesielt da massene til *top*-kvarken og (i mindre grad) *Higgs*-partikkelen (som ifølge Standardmodellen også må eksistere). Etterhvert som usikkerheten i t-kvarkens masse blir mindre, vil man derfor kunne lage meningsfylte utsagn om *Higgs*-partikkelens masse.

En annen sektor av teorien som berøres av t-kvarkens masse, er den som beskriver brudd på CP-symmetrien, dvs. at naturen ikke er helt symmetrisk under samtidig refleksjon (P, paritet) og ombytte av partikler og antipartikler (C, ladningskonjugasjon). At t-kvarken er såvidt tung, kan også være et hint om at den er mer sentral innen elektrosvak teori enn vi hadde tenkt oss.

Ved Tevatron-maskinen ved Fermilab er der en detektor til. Den kollaborasjon som der tar data, kalles D0. De viste ved fjorårets konferanser en hendelse som hadde alle karakteristiske egenskaper til $t\bar{t}$-produksjon, og tilsvarte en masse til t-kvarken på ca. 150 GeV. Oppgradering av Tevatron-maskinen til høyere intensitet (og kanskje også høyere stråle-energi) vil gjøre det mulig å bestemme t-kvarkens masse med større presisjon, og å studere om den henfaller til b-kvarker, myoner og elektroner i slike proporsjoner som teorien forutsier.

Er dette den siste kvarken? Ved LEP (CERN) har man i 1989, i meget viktige eksperimenter, talt antall nøytrinotyper ved å analysere desintegrasjon av Z^0-partikler. Tallet er tre. Standardmodellen forlanger at der er to kvarktyper for hver generasjon, dvs. for hver nøytrinotype. Det er slik bestemt at der kun er tre generasjoner, dvs. seks kvarker. Men for å forstå *hvorfor* kvarkene har masse, trenger vi informasjon om *Higgs*-partikkelen. Oppdagelse av denne vil komplettere eksperimentell verifikasjon av Standardmodellen. Det er den neste store utfordringen – forhåpentligvis vil den kunne studeres ved CERNs planlagte Large Hadron Collider, LHC.

Andrei I. Davydychev og Per Osland

∞

Isaac Newton som teolog, universitetspolitiker og 'Warden and Master of the Mint'

Gustav Marthinsen *

Innledning

De store personer innen naturvitenskapen er også vanlige mennesker i alle andre relasjoner enn til vitenskapen. Det er ikke ofte deres relasjoner til samtiden påkaller interesse. Vi har mer enn nok med, som når det gjelder Newton f.eks., å tilegne oss og sette pris på arbeidene innen matematikk, mekanikk, optikk og til nød hans naturfilosofi. Det er bare profesjonelle vitenskapshistorikere og vitenskapsteoretikere som leser disse arbeider i originalversjonen. Vanlige studenter og alminnelige moderne matematikere og fysikere, får idéene bearbeidet og drøvtygget av lærebokforfatterne. Slik må det selvsagt være, men personen bak de originale tanker forsvinner sammen med den samtid tankene er tenkt i. Jeg har hatt den glede å beskjeftige meg litt med Newtons originale arbeider. Derved er jeg blitt oppmerksom på også andre sider ved Newtons virksomhet enn den vi alle kjenner. I perioder var han intenst opptatt av andre emner og virksomheter. Han ble en gammel mann, og etter *Principia* var hans skaperkraft uttømt. Hva beskjeftiget han seg med da? Westfalls ruvende biografi på 908 sider[5], har som tittel *"Never at rest"*. Dette er en betegnende beskrivelse av hans liv. Overskriften på denne artikkelen nevner de tre områder jeg vil konsentrere meg om. Hans akademiske studier og hans lange tid som president i Royal Society, behandler jeg ikke, heller ikke hans prioritetsstrider med bl.a. Hooke og Leibniz, vil jeg berøre.

Newtons samtid var en meget turbulent tid. En skjematisk oversikt viser dette (se tabell). I tidens løp er det skrevet meget om Newton. Moderne Newtonforskning aksepterer ikke meget av det som er skrevet før ca. 1960. Først da begynte man å studere hans etterlatte papirer for alvor. Dette studium har revolusjonert vårt syn, først og fremst på hans matematiske, mekaniske og optiske arbeider, men har også åpenbart mange skjulte sider ved Newtons interesser, først og fremst hans store interesse for teologiske spørsmål.

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Teologen

Ifølge en av hans biografer (Andrade[1], s.119) inneholder hans etterlatte papirer en og en halv million ord om teologi, kirkehistorie og kronologi. Det er selvsagt bare en kortfattet oversikt over denne formidable ansamling av ord jeg kan gi her.

Ingen av hans etterlatte teologiske manuskripter er eldre enn fra omkring 1672. På den tiden fullførte han det fjerde år som *Master of Arts* og *Fellow of Trinity*. Innen de neste tre år måtte han la seg ordinere i det anglikanske presteskap eller miste sin plass ved Universitetet i Cambridge. Dette var et absolutt krav. Han behøvde ikke nødvendigvis å søke noe geistlig kall. Det var tilstrekkelig å avlegge ordinasjonsløfte og dermed godta den anglikanske kirkes 39 artikler. Den praktiske følge av å motsette seg ordinasjon, ville være at han sto uten eksistensmuligheter. Det viste seg at han klarte å unngå ordinasjonen fordi det ved kongelig ordre ble bestemt at stillingen som *Lucasian professor* ble unntatt fra betingelsen om ordinasjon. Det antas at Barrow sto bak. På det tidspunkt det her er tale om, var det imidlertid en trussel han hadde hengende over seg. Vi skal se på hvorfor han følte dette som en trussel og hvorfor han vegret seg mot å bli ordinert. Hans teologiske manuskripter viser nemlig at han var *arianer*, en kjetter av verste slag. Dette var det om å gjøre å holde hemmelig ellers ville dette medføre bortvisning fra universitetet. Det fantes presedens for det. Han kunne selvsagt bare holdt på denne hemmeligheten, men hans samvittighet tillot ham ikke å avlegge den forlangte ed på falske premisser. En arianer fornektet treenigheten, og av alle steder var Trinity College det siste sted for en fornekter av det begrep som ga navn til den institusjon han tilhørte. Hva er så arianisme? Jeg bygger i det følgende hovedsakelig på to artikler av Norderval[3,4].

Den arianske strid

Den såkalte arianske strid hadde sin opprinnelse i år 318 i Alexandria. Biskopen i Alexandria beskyldte en av bispedømmets presbytere, Arius, for kjetteri. Arius selv hadde en meget liten litterær produksjon, og vårt kjennskap til hans oppfatninger bygger i stor grad på hva hans motstandere, biskop Aleksander og senere biskop Athanasius, beskrev som hans lære. Det eksisterer en stor litteratur om Arius, og han diskuteres livlig i moderne kirkehistorisk forskning. Jeg må nøye meg med å redegjøre for de faktiske hendelser og gjengi den arianske lære slik den ble oppfattet av samtiden og ettertiden før moderne forskning begynte å sette spørsmålstegn ved visse sider av den klassiske oppfatning og beskrivelse av arianismen og det historiske forløp. Arius' teologi var preget av en sterk poengtering av *Guds trancendens* i forhold til det skapte. Gud var den evige, rene og uforanderlige, som hverken var født eller blitt til. Derfor kunne han ikke meddele sitt vesen, for da ville han bli en del av de foranderlige, fysiske kategorier. Alt var skapt gjennom Guds frie vilje av intet. Dette gjelder også Sønnen: Han var født og skapt, og var Guds redskap til å skape verden. Derfor kunne han ikke på noen måte være konsubstansiell (homoousios) med Gud eller delaktig i Guds evige væren (ousia). Sønnen hadde en paradoksal mellomstatus: Han var skapt, men var en fullkommen skapning, og derfor ikke som det øvrige skapte. Fordi Sønnen var skapt, må det også ha vært en tid da han ikke var til, selv om hans skapelse skjedde før tiden. Sønnen kunne ikke av seg selv kjenne Faderens vesen – hverken som preeksistent eller i sin menneskelige skikkelse. Selv ikke sitt eget vesen kjente han fullt ut, og han kunne bare i en viss grad kalles *'logos'* og *'sofia'*. Bare Gud hadde disse kvaliteter i fullkommen grad. Som skapt var Sønnen som den øvrige skapning foranderlig (treptos), og han hadde fri vilje til å gjøre godt og ondt og dermed også til å synde. Men gjennom menneskelig skikkelse nådde han fram til etisk fullkommenhet. Dermed oppnådde han Guds nåde og kunne få betegnelsen 'Guds sønn' og 'Gud' om ikke sann Gud som var Gud selv. Som Kristus kunne mennesket gjennom forbedring nå til etisk fullkommenhet og bli guddommeliggjort som *theoi* og sønner.

Selv et ikke-teologisk norsk statskirkemedlem, konstaterer lett at dette ikke er den norske kirkes lære.

Kritikken fra Arius' samtidige motstandere, hans biskop Alexander og senere biskop Athansius, er total. Her karakteriseres tendensen i Arius' lære om adskilte hypostaser som en bevisst bespottelse av både Gud og Kristus, og en utradering av Sønnens guddommelighet i forhold til Faderen. Når både Faderen og Sønnen er forskjellig i vesen, ender man opp med to grunnprinsipper i kosmologien. Arius havner opp i et flerguderi. Når Kristus er en annen enn Gud, men likevel gud, må resultatet bli at han er en 'halvgud', fordi han er skapt og likevel ikke som det skapte. Denne Kristus kan også umulig være skapningens herre, fordi han selv er skapt. Han kan umulig utvirke en frelse ettersom han ikke er av Faderens eget vesen (physis) og væren (ousia) fra evighet av, og kan ikke ha den fulle kunnskap om Gud.

Arius' standpunkter karakteriseres i det hele som en helt ny lære, et usammenhengende og ulogisk mixtum mer grunnet på tom spekulasjon enn på Bibelen.

Striden, som til å begynne med var en lokal strid, spredte seg fort innen den østlige del av Det romerske rike. Alexander fikk Arius dømt i lokale synoder, mens den opponerende presbyter vant betydelig støtte utenfor Egypt fra innflytelsesrike kirkeledere som Eusebius fra Nicomedia og Eusebius av Caesarea, selv om disse to

Isaac Newton og samtiden

	Newton:	*Samtiden:*
1625		Karl I konge
1642	Newton født	Borgerkrigen beg.
1649		Karl I henrettet
1658		Cromwell dør
1660		Karl II konge
		Londons brann
1661	Til Cambridge	
1664	Får Scolarship	
1665	B.A.	Pesten
1668	M.A. og Fellow	
1669	Lucasian professor	
1672	Om farvene	
1685		Jacob II konge
1687	Principia	
1689	M.P.	Revolusjonen
		Wilhelm og Mary R
1696	Warden of the Mint	
1700	Master of the Mint	
1701	Fra Cambridge. M.P.	
1702		William II dør
		Anne dronning
1705	Knighted	
1714		Anne dør
		Georg I konge
1726	Newton dør	
1727		Georg II konge

ikke gikk så langt i sine oppfatninger som Arius. Arius hadde også mange støttespillere innen munkevesenet. Eldre kirkefedere hadde også standpunkter som kunne tolkes i retning av arianisme.

Under keiser Konstantin var kristendommen blitt statsreligion, og keiseren følte at både statens og kirkens enhet var truet av den arianske strid. Keiseren innkalte til et kirkemøte (konsil) i Nicea i år 325. Det viktigste spørsmål var den arianske strid. Fastsettelsen av reglene for påskefeiringen var et sekundært problem.

Det vil føre for langt å gå inn på detaljene i forhandlingene under kirkemøtet. Resultatet ble at møtet vedtok følgende lærebekjennelse. Jeg siterer etter Nielsen[2], s. 682:

"Vi tro paa én Gud, den almægtige Fader, Skaberen af alle synlige og usynlige Ting; og paa én Herre, Jesus Kristus, Guds Søn, avlet som enbaaren af Faderen, det vil sige af Faderens Væsen, Gud af Gud, Lys af Lys, sand Gud af sand Gud; avlet, ikke skabt, i Væsensfællesskab med Faderen; ved hvem alt er skabt baade i Himlen og paa Jorden; som er kommen ned for os Menneskers Skyld og til vor Frelse, og som har paataget sig Kjød, som er bleven Menneske, har lidt og er opstanden paa den tredje Dag, opfaren til Himmels; som skal komme at dømme levende og døde; og paa Hellig-Aanden.

Men de, der sige: der var en Tid, da han ikke var, og: før han blev avlet, var han ikke, og: han er opstaaet af intet eller af en anden Hypostase eller et andet Væsen, eller at Guds er Søn [skabt eller] foranderlig eller underkastet Ændringer, over [disse] lyser den almindelige [og apostolske] Kirke Band."

Nøkkelordet her er 'Væsenfællesskab'. Det skal være Keiseren selv som etter råd av sin rådgiver biskop Hosius, foreslo dette. Ordet forekommer ikke i Bibelen, og enkelte møtedeltagere vegret seg mot betegnelsen. Det var imidlertid bare to egyptiske biskoper som nektet å underskrive. Arius selv ble landsforvist. Arianismen var imidlertid ikke utryddet i og med kirkemøtets avgjørelse. Den fortsatte å øve stor innflytelse ikke minst hos de fjernere folkeslag f.eks. goterne, som presset på ved grensene.

Athanasius førte som biskop i Alexandria en kamp mot arianismen resten av sitt liv og ble forvist flere ganger fra sitt bispedømme etter stridigheter. Det vil føre for langt å ta med detaljer fra disse. Athanasius regnes som den fremste talsmann for det som betegnes som ortodoksien, og blir betraktet som den som reddet kristendommens grunnverdier i og med sin kamp for treenighetslæren.

Tilbake til Newton

Årsaken til at Newton begynte sine alvorlige studier kan ha sammenheng med at tiden for ordinasjon nærmet seg. Vi vet ikke noe om dette, men faktum er at han ikke nølende nærmet seg dette studium. Han ble raskt grepet av studiet og engasjerte seg intenst på samme måte som i alt han foretok seg. Han trakk seg tilbake fra omverdenen. Han uttrykte utålmodighet med avbrytelser forårsaket av korrespondanse om optiske og matematiske emner i 1670-årene. I et brev til Oldenburg (sekretær i Royal Society) av 4. desember 1674 (Westfall[5], s. 310), fortalte han at han hadde til hensikt *"to concern myself no further about promotion of Philosophy."*

Ifølge biografen Andrade[1] (s.119), inneholder som nevnt, hans etterlatte papirer en og en halv million ord om teologiske og kronologiske emner og en halv million ord om alkjemi. Dette fordeler seg over mange perioder av hans liv, men det er ikke tvil om at den viktigste årsak til at han trakk seg tilbake til sitt studiekammer i 1670-årene, ikke bare var irritasjonen over at hans optiske arbeider ble kritisert av Hooke. Hans tid var viet teologi og alkjemi. Alkjemien omtaler jeg ikke. Det er teologien som interesserer meg. Og innen teologien må jeg innskrenke meg til hans befatning med arianismen og bare kort omtale hans befatning med Daniels profetier og Åpenbaringen og hans kronologiske arbeider i sammenheng med de to sistnevnte emner.

Hans etterlatte manuskripter og notater viser at han foretok omfattende studier av de skrifter som formulerte treenighetslæren, spesielt av Athanasius. Han var fortrolig med alle kirkefedrenes skrifter. Dette viser alle de sitatene han presenterer. Hele tiden var han opptatt av *spørsmålet om Kristi natur og Guds natur.* Han kom etterhvert til den overbevisning at det hadde foregått en massiv svindel og forfalskning av arven fra den første kristne kirke. Den hadde begynt i det fjerde og femte århundre, og besto i at Skriften var forvansket for å understøtte treenighetslæren. Spesielt konsentrerte han seg om følgende to skriftsteder. I vår eldre bibeloversettelse lyder disse slik:

1. Joh. 5, vers 7 og 8: *"Thi de er tre som vidner: Aanden og Vandet og Blodet, og disse tre gaar ut på ett."*

1. Tim. 3, vers 16: *"Og som enhver maa bekjende, stor er den Gudsfrygtens Hemmelighed: Han som ble aabenbaret i Kjød, rettfærdiggjort i Aaand, seet af Engle, forkyndt blant Folkeslag, troet i verden, optagen i Herlighed."*

I Newtons anglikanske bibel het det: *"For there*

are three that bear record in heaven, The Father, the Word and the holy Ghost: and these three are one."

"God was manifest in the flesh..."

Newtons intensive granskning av eldre tekster viser at det er vår versjon som mer er i overensstemmelse med disse, og at versjonen *"Father, the Word and the holy Ghost"* ikke finnes i disse eldre tekster.

Jeg er ikke i stand til å bedømme disse teologiske spissfindigheter, men poenget er at Newton oppfattet denne tekstforskjell som bevis på at de originale tekster var blitt forvansket for å underbygge treenighetslæren. Han kaller dette: *"Two Notable Corruptions of Scripture."*

Newton gikk betydelig videre. Ifølge Westfall[5] (s.314), mente Newton at det å tilbe Kristus som Gud er det samme som avgudsdyrkelse. Dette var for ham en fundamental synd og betydde at kristenheten var vendt tilbake til avgudsdyrkelse etter at den tidlige kirke hadde etablert troen på én sann Gud. Newton overbeviste seg selv om at den sentrale korrupsjon av doktrinen ble fulgt av en universell korrupsjon av kristenheten, og spesielt representerte Den katolske kirke denne korrupsjon. Han var i ferd med å re-interpretere en tradisjon som var sentral for hele den europeiske sivilisasjon. Det er rimelig, sier Westfall, at han ble irritert over mindre forstyrrelser som forespørsler om matematikk og optikk.

Før 1675 var Newton blitt en arianer i den originale betydning av betegnelsen. Han anerkjente Kristus som en guddommelig megler mellom Gud og menneske. Han var underordnet Faderen som hadde skapt ham. Han summerte opp sin arianske kristologi i tolv punkter praktisk talt identisk med den tidligere beskrivelse jeg har gitt av arianismen.

Han identifiserte seg med Arius både intellektuelt og følelsesmessig, og betraktet Athanasius som sin personlige fiende og gjennomgår de anklager som ble rettet mot Athanasius i alle de stridigheter som ble utkjempet om hans person. I perioder var keiserhoffet pro ariansk, og Athanasius ble fem ganger avsatt etter de merkeligste beskyldninger. (Det vil føre for langt å gå i detaljer her.)

Når det gjelder Newtons beskjeftigelse med profeten Daniel og Åpenbaringen, skal kun nevnes hans oppfatning av profetiene. Newton mente ikke at profetiene kunne brukes til å forutsi kommende begivenheter. De kunne bare brukes etterpå for å påvise at det som skjedde var forutsagt. I den forbindelse foretok han omfattende studier av all tilgjengelig historie og utarbeidet en kronologi for de ti forutsagte kongeriker. Han la ned et enormt arbeide i denne forbindelse. Senere utarbeidet han et sammendrag av dette arbeide. Dette inneholder ingen kontroversielle synspunkter med hensyn til arianske anskuelser. Tre år etter Newtons død ble sammendraget publisert. Han selv hadde nedlagt protest mot offentliggjørelse.

Newton måtte for all del unngå at hans synspunkter ble kjent og klarte å holde dem skjult så effektivt at fullstendig kjennskap til dem først er blitt mulig i våre dager, sier Westfall[5].

En av de ytterst få Newton kunne samtale med om sine anskuelser var John Locke. Først så sent som i 1690 våget Newton i to brev adressert til Locke, med tittelen *"An historical account of two notable corruptions of Scripture, in a letter to a Friend,"* å tre delvis frem med sin oppfatning av de to skriftsteder jeg tidligere har sitert. Brevene inneholdt en anmodning til Locke om å sende manuskriptet til Nederland for å bli oversatt til fransk og bli publisert anonymt.

Locke sendte skriftet til Jean le Clerc i Amsterdam, uten å si hvem forfatteren var. Et år etter ble Newton klar over hvilken enorm risiko han var iferd med å ta, og tok skritt til å forhindre publikasjonen. Le Clerc visste hvem forfatteren var og tilbakeholdt publikasjonen. Først 50 år senere ble manuskriptet funnet der Le Clere hadde deponert det, og publisert i Newtons navn. I 1692 ville en publisering ha ført til Newtons ostrakisme fra Cambridge og samfunnet (Westfall, s. 491). På den tiden hadde Newton brutt ut av isolasjonen etter publiseringen av *Principia* i 1687, og var på vei inn i samfunnet igjen.

Universitetspolitikeren

Tidlig i 1685 døde kong Karl II og ble etterfulgt av sin bror Jacob II. I årene 1685–1687 var Newton fullstendig absorbert av arbeidet med Principia etter Halleys initiativ. Alt annet måtte vike for dette. Mens han holdt på med Book III, ble Universitetet i Cambridge rystet av en krise. Jacob II hadde som mål å føre England tilbake til katolisismen. Det var essensielt for å nå dette mål, å skaffe seg kontroll over universitetene. Det var en vel innarbeidet praksis at kongen kunne intervenere i universitetenes meddelelse av grader og utnevnelser av 'fellows' ved å gi kongelige dispensasjoner i form av *'letters of mandate'*. Helt fra begynnelsen av Jacobs regjeringstid ble nesten alle ledige 'fellowships' besatt ved slike brev ved begge universitetene (Oxford og Cambridge). I desember 1686, ble Joshua Basset, som Universitetet i Cambridge mistenkte for å være hemmelig papist, ved et slikt brev tildelt *"'the Mastership of Sidney Sussex College'*. Dette var et fatalt angrep på selve hjertet i engelsk protestantisme. Sidney Sussex var grunnlagt tidlig i

det 17. århundre som et av de to viktigste puritanske colleger. I dets statuetter var det bestemt at dets 'master' skulle avlegge ed på *"to detest and abhor Popery."*

Den kongelige ordre dispenserte fra avleggelsen av denne ed. Basset ble også medlem av *'the caput'*. Dette besto av lederne for fire colleger og som, sammen med 'the vice chancellor', kontrollerte forhandlingene i universitetets senat. Den kommende krise var dermed varslet. En slik krise ville ryste universitetet. Institusjonen var skapt ved kongelig gunst, og når kongen selv angrep et fundamentalt prinsipp ved universitetets selvstyre, var det fare på ferde. Den 9. februar 1687, ble krisen akutt. Et 'letter of mandate' påla universitetet å tildele Alban Francis, en benediktinermunk, graden 'Master of Arts' uten eksaminasjon og edsavleggelse. Universitetet hadde fått mange slike ordre tidligere og hadde villig tildelt besøkende katolske dignitærer grader. Bare to år før var sekretæren til den marokkanske keisers ambassadør kreert 'Master of Arts' uten å måtte avlegge eden som gikk ut på å bevare den etablerte anglikanske religion. Alle forsto at tilfellet Fader Francis var et helt annet. Han hadde åpenbart til hensikt å benytte seg av sin grad til å delta i universitetets styre og stell i motsetning til ambassadesekretæren, som bare hadde fått graden som en æresbevisning.

Man hadde allerede merket Francis' tilstedeværelse; det var han som to måneder tidligere hadde overbrakt brevet som installerte Basset som 'master' ved Sidney Sussex.

John Peachell, visekansleren, tilbakeholdt brevet om Francis' utnevnelse i to uker mens han søkte råd, men nyheten om brevet spredtes ved universitetet. Newton bestemte seg for å gripe inn. Den 13. februar skrev han til Halley at *"through other occations"* hadde han ikke tid til å tenke mer på solens parallakse, et problem Halley hadde forelagt ham. Seks dager senere laget han et utkast til et brev, sannsynligvis ment for en eller annen med autoritet ved universitetet, hvor han oppfordret til *"an honest Courage which will save the Universitiy."* Han presenterte et argument for å avslå brevet. Loven krevet avleggelsen av eden til monarken som statens og kirkens overhode, av dem som mottok en grad. *"...if his Majesty was advised to require a Matter which cannot be done by Law, no Man can suffer for neglect of it."* Loven måtte stå over kongelig vilje. Erkehedningen valgte å støtte sitt anglikanske universitet på tross av alt.

Universitetets første reaksjon var å håpe at krisen var en ond drøm som ville forsvinne ved daggry. Kansleren, hertugen av Albemarle, foreslo at senatet anmodet kongen om å trekke mandatet tilbake. Senatet kunne bare behandle saker som ble forelagt det av *'the caput'*. Dette organ måtte levere en enstemmig innstilling, og Basset var medlem. Da senatet møttes 22. februar, ble det arrangert slik at hvert av senatets 'hus' hver for seg skulle underrette visekansleren om at det ville være *"illegal and unsafe"* å gi Fader Francis adgang uten edsavleggelse.

Francis lå ikke på latsiden. To dager etter forelå et nytt brev, identisk med det første, med et tillegg om at et avslag ville stå for universitetets egen risiko.

Visekansleren var ingen helt og ble livredd. Andre delte hans frykt. Å motsette seg kongen ville kunne få følger for videre geistlig forfremmelse. Slike lå i kongens hånd; og 11. mars møttes senatet for å høre innholdet av det annet brev.

Det foreligger intet referat fra dette møtet. Vi kjenner bare resultatet. *'The none-regent house'*, bestående av de eldste 'Masters of Arts' som ikke hadde styreverv, valgte Isacc Newton, 'a Fellow of Trinity', mest kjent for ikke å delta i universitetets liv, som en av to representanter til å fremføre overfor visekansleren det frivillige råd at det fremdeles ville være *"illegal and unsafe"* å gi Francis adgang uten edsavleggelse. Vi må anta at Newton ordla seg på en slik måte at denne del av forsamlingen bestemte seg for å yte motstand. Newton selv hadde overhodet ingen tanke på forfremmelse innen geistligheten som krypto-arianer.

I april grep kongen inn; irritert over å møte motstand, stevnet han Peachell og representanter for universitetet inn for *'The Court of Ecclesiastical Commission'*. Det var Jacobs fremste våpen mot opposisjonelle religiøse motstandere, og ble ledet av den beryktete Lord Jeffreys. Han var en av kongens mest brutale menn og var beryktet for sin fremferd mot kongens fiender. Den 11. april valgte senatet Newton som en av de åtte representantene som skulle møte sammen med visekansleren. Newton deltok ikke i dette møte.

I et av delegasjonens forberedende møter talte Newton skarpt mot et kompromissforslag som gikk ut på at Fader Francis skulle tillates opptagelse på den betingelse at dette ikke dannet presedens. Takket være Newton avslo delegasjonen forslaget.

Delegasjonen møtte kommisjonen fire ganger: 21. og 27. april, og 7. og 12. mai. Det mest kritiske møte var den 7. mai. Da ble Peachell eksaminert om de skriftlige svar delegasjonen hadde utarbeidet om hvorfor de ikke hadde akseptert kongens krav. Visekansleren gjorde en ynkelig figur under denne eksaminasjonen. Lord Jeffreys ga ikke de andre delegasjonsmedlemmer noen mulighet til å komme visekansleren til unnsetning. Han avfeiet deres forsøk

med at de håpet på å bli visekanslere. På slutten av høringen erklærte han at Peachell hadde gjort seg skyldig i stor ulydighet mot kongen og berøvet ham hans stilling, suspenderte ham fra hans 'Mastership of Magdalene College' og fratok ham inntekten av denne posisjon. Peachells avsettelse gjorde det umulig for de øvrige delegater å gripe inn.

I all hast utarbeidet de et skriftlig svar på de spørsmål Peachell hadde forkludret med sitt elendige forsvar. Fem utkast til svar finnes blant Newtons papirer og dette antyder at han spilte en ledende rolle i utarbeidelsen av svaret.

Kommisjonen avslo å motta svaret. Svarets glød og veltalenhet er kanskje forklaringen på at Newton plutselig befant seg blant de prominente ved universitetet.

Den 12. mai samlet delegasjonen seg for siste gang foran Kommissionen for å høre om Peachells skjebne også skulle bli deres. Jeffreys la imidlertid all skyld for deres oppsetsighet på visekansleren, og Jeffreys avsluttet med følgende: *"Therfore I shall say to you what Scripture says, and rather because most of you are divines; Go your way, and sin no more, lest worse thing come into you."*

Francis fikk ikke graden, ikke minst på grunn av at Newton ikke var blitt skremt. Jacob ga opp sitt forsøk på å beherske universitetene, men det var for sent. Den 5. november 1688 landet Wilhelm av Oranien med sin hær i England og Jacob måtte flykte.

'The glorious revolution' var innledet. Som et tegn på hans nye status ved universitetet må vi se at da senatet møttes 15. januar 1689 for å velge to representanter til det nye parlament (Convention Parlament) som skulle besegle revolusjonen, var Newton en av de tre nominerte, og han ble valgt.

'Convention Parlament' ble samlet 22. januar. Etter å ha valgt William og Mary som regenter, rekonstituerte det seg som 'Parlament' og satt samlet til 20. august. 19. oktober ble det igjen samlet og satt til 27. januar 1690. Newton gjorde seg ikke gjeldende i dets forhandlinger. En anekdote forteller at han tok ordet en eneste gang da han ba om at vinduet måtte bli lukket på grunn av trekk. Han inntok sannsynligvis standpunkter til de store saker på linje med de ekstreme 'whigs'. Han betraktet sin rolle i Parlamentet som en liaisonoffiser fra universitetet. Han sendte minst fjorten brev til visekansleren med informasjon om de forhandlinger som angikk universitetet og ga råd om de standpunkter det burde ta i vedkommende saker. En av sakene dreiet seg om hvorvidt de som allerede hadde avlagt sin embetsed til Jacob II, kunne og måtte avlegge en ny ed til William og Mary. Hans generelle standpunkt til edsavleggelse medførte at han mente at det bare var nye personer som behøvde å avlegge den. Det ble til at alle måtte avlegge den, men de som vegret seg ble ikke straffet og beholdt sine Fellowships. Newton opponerte ikke mot kravet om alle som innehadde offisielle posisjoner en gang iblant måtte motta sakramentet etter praksis i den anglikanske kirke. Heller ikke var han berørt av at både katolikker og de som forsvarte antitrinitarismen var unntatt fra de generelle toleranseprivilegiene.

Newton tilhørte ingen ariansk kirke. Slike fantes ikke. Først på dødsleiet nektet han å motta sakramentet. Hans samvittighet var blitt mindre følsom siden han i 1674 var villig til å frasi seg sitt 'fellowship' i tilfelle han ble tvunget til å la seg ordinere. Han hadde forlatt sin tidligere isolasjon og var begynt å få sansen for et offisielt liv. Man mente også at han fortjente en belønning for sine modige standpunkter i tiden før revolusjonen.

'Warden and Master of the Mint'

Jeg vil ikke gå inn på Newtons personlige krise omkring 1693 eller hans arbeide med den senere optikk og de to eneste rent matematiske arbeider han selv offentliggjorde. Han arbeidet intenst med måneteorien, men lykkedes ikke. Han følte sannsynligvis at han ikke lenger kunne skape noe nytt. Han ville skifte interesseområde. Det var ikke lenger noe som bandt ham til Cambridge. Han hadde alltid stått fjernt fra miljøet der, intellektuelt sett. I London hadde han for første gang fått intellektuelt fellesskap med andre og deltatt i sosialt samvær. Hvorom alle ting er, han valgte å forlate Cambridge til fordel for en mindre byråkratisk stilling i London. Våren 1696 ble han utnevnt til *'Warden of the Mint'*. Formelt gav han dog først i 1701 opp sitt 'fellowship' og professorat ved universitetet. Etter 1687 hadde han gjort disse stillinger til en sinekyre. Han var ikke alene om det. De fleste av hans kolleger gjorde det samme uten dermed å yde noe som helst vitenskapelig sett.

Stillingen som 'Warden' hadde også utviklet seg til en sinekyre, og som sådan hadde finansministeren Charles Montague, senere Lord Halifax, tilbudt Newton stillingen. Det er uklart hvorfor han valgte Newton. Det skyldtes sannsynligvis gammelt bekjentskap og kunne være belønning for hans innsats som universitetspolitiker. (Historien om Halifax og Newtons niese, som bl.a. Voltaire bragte til torvs, går jeg ikke inn på.)

Den offisielle utnevnelsen av Newton som 'Warden of the Mint' er datert 25. mars 1696. Den 2. mai avla han den foreskrevne ed for å overta embetet. I den store

sammenheng var det en liten stilling, men Newton tok sine plikter mer enn alvorlig.

'The Mint', heretter kalt Mynten, var blitt meget belastet i tiden før og etter Newtons ansettelse. Dette henger sammen med en pengereform.

Tidlig i Karl II's regjeringstid var man gått over til å prege mynter maskinelt ved presser istedenfor med hammer, spesielt var de nye mynters rand også preget. Dette gjorde det umulig å klippe myntene. Det hadde vært en meget utbredt og innbringende operasjon. Sølvverdien av en hamret mynt skulle være den samme som den verdi mynten angav. Ble den klippet, og det var vanskelig å oppdage uten å veie mynter nøyaktig, var den rette verdi blitt mindre og det avklippede sølv var gevinsten ved operasjonen. Dette kunne smeltes og selges som barrer. Mellom 1663 og 1696, gjorde regjeringen den fundamentale feil ikke å innkalle den hamrede mynt etter hvert som den nye mynt ble satt i omløp. Ingen med vettet i behold var villig til å betale med den nye mynt når man kunne slippe med en gammel mynt med mindre sølvverdi.

I nittiårene var det ikke mer enn én mynt av to hundre i omløp som var ny. Det var nemlig mulig å få utmyntet barrer gratis ved en skatt på visse utenlandske brennevinsmerker. (Denne skatt administrerte Newton i tredve år.) Utmyntingen var gratis mot å sverge på at barrene ikke kom fra smeltede mynter. Teknikken var å smelte de nye myntene, selge barrene på Kontinentet eller i Orienten, hvor sølv var priset høyere enn det Mynten betalte for sølvet. Hvis dette ikke gikk, var det mulig å få sølvet utmyntet om igjen gratis. De gamle hamrede myntene var dessuten lette å forfalske med mindreverdige legeringer. Det var sølvmynter som var det daglige betalingsmiddel. De sjeldnere gullmynter ble alltid behandlet etter vekt.

For å få en slutt på kaoset, bestemte endelig Parlamentet at etter juni 1696 ville hamrede mynter opphøre å være verdt det de anga. Det ble ikke etablert noen alminnelig ordning hvorved det ble mulig for vanlige mennesker direkte å veksle den gamle mynt i nye. De nye mynter ble satt i sirkulasjon ved utbetalinger fra regjeringen som også tok de gamle mynter inn ved skatter og lån. Bare de som betalte direkte skatter eller lånte penger til regjeringen, kunne få honorert de gamle mynter etter pålydende. Historien er mer innviklet enn jeg her har fortalt, men det hele angikk ikke Newton fordi han ikke hadde noe å gjøre med selve pengereformen. Hans arbeid ble å administrerer Mynten slik at det enorme behov for nye mynter kunne tilfredsstilles raskest mulig.

Da han ble tilbudt stillingen, var den en sinekyre som ikke ville legge beslag på mye av hans tid. Men Newtons ønske om å komme vekk fra intellektuell aktivitet og hans uvilje mot å gjøre noe halvgodt, fikk ham til å ofre seg helt for sin nye stilling, selv om stillingen som sådan var underordnet 'the Master of the Mint'. Vedkommende gjorde nesten ingen ting bortsett fra å innkassere de fordeler denne stilling innebar og som også hadde andre innbringende posisjoner.

Newton viste seg som den fødte administrator. Hans lange trening i å bearbeide og skaffe seg innsikt i det han drev med, var til stor hjelp når han måtte sette seg inn i et nytt og ukjent problemområde.

Newton organiserte og effektiviserte de fem filialer av Mynten som var oppsettet for å tilfredsstille behovet for nye mynter. Han foretok blant annet studier av selve arbeidsoperasjonene for å øke produktiviteten. Flere år senere erklærte Montague (Lord Halifax) at han ikke hadde kunnet gjennomføre myntoperasjonen uten Newton.

Det ble også Newtons oppgave å lede etterforskningen av falskmyntere ved å forberede sakene mot dem. Også her gjorde han et glimrende arbeide. Dette medførte tallrike besøk i fengslene for å skaffe vitner til rettssakene. Newton ble også meget benyttet av regjeringen til å utrede spørsmål av økonomisk art.

I februar 1700 ble Newton *'Master of the Mint'*. Denne stillingen hadde han resten av livet. Stillingen var blitt en åremålsstilling, men han ble stadig gjenoppnevnt. Newton er blitt karakterisert som en av de første som satte en standard for *'the civil servants'* i regjeringens tjeneste i en tid da slike stillinger langsomt ble innført som del av embetsverket. Jeg kan ikke her gå nærmere inn på hans øvrige virksomhet ved Mynten. Mitt poeng er å fremheve at Newton er et lysende eksempel på at en vitenskapsmann på grunn av sin formelle trening, også er egnet til å løse nye oppgaver på områder som ligger langt fra den opprinnelige beskjeftigelse. Begrepet *'transfer of training'* dekker en realitet.

Newton og de senere parlamentsvalg

Newtons stilling ved Mynten innebar også en forpliktelse, en potensiell forpliktelse, til å bli medlem av Underhuset (House of Commons) hvor han kunne støtte regjeringen. Newton besøkte Cambridge i 1698, men stillet ikke til valg. Han gjorde det samme i 1701. Han ble valgt og tjenestegjorde i det Parlament som begynte 20. desember. Heller ikke her gjorde han seg gjeldende. Williams død utsatte Parlamentets forhandlinger i mai 1702, og det ble oppløst. Ved valget senere i året stilte Newton ikke opp. Det neste valg foregikk i 1705. Halifax ville gjerne at Newton skulle stille

for Cambridge, og lovet at dronning Anne ville besøke byen og indirekte støtte valget av en 'whig', dvs. Newton. Newton var i Cambridge 16. april, og dronningens støtte til Newton var at han ble *'knighted'* (slått til ridder). Denne ære ble ham til del ikke for hans bidrag til vitenskapen, og ikke for hans arbeide ved Mynten, men av partipolitiske årsaker. Det er altså ikke riktig at han ble beæret for sin vitenskapelige innsats. Han ble ikke valgt. Han kunne ikke fått en høyere æresbevisning, da ville han ikke kunnet bli valgt til medlem av 'House of Commons'.

Slik endte Newtons parlamentariske liv.

Referanser

1. Andrade, C.: *Sir Isaac Newton.* London (1954)
2. Nielsen, Fr.: *Haandbog i Kirkens Historie, 1. Bind.* København (1885)
3. Norderval, Ø.: *Arius redivivus. Tendenser innenfor Arius-forskningen.* Norsk Teologisk Tidsskrift, **86,** 2 (1985)
4. Norderval, Ø.: *The Emperor Constantine and Arius. Unity in the Church and Unity in the Empire.* Studia Theologica, **42,** 113–150 (1988)
5. Westfall, R.S.: *Never at Rest. A Biography of Isaac Newton.* Cambridge (1980)

Dessuten har jeg konsultert:

1. Brewster, D.: *Memoirs of the Life, Writings, and Discoveries of Sir Isaac Newton. Vol. 1 og 2.* Edinburgh (1855)
2. Manuel, F.E.: *A Portrait of Isaac Newton.* Cambridge, Massachusetts (1968)
3. McLachlan: *Sir Isaac Newton. Theological Manuscripts.* Liverpool (1950)
4. More, L.T.: *Isaac Newton.* New York - London (1934)
5. Snellman, P.: *Der Anfang des arianischen Streites.* Helsingfors (1904)
6. Stead, G.C.: *Rhetorical Method in Athanasius.* Vigiliae Christianae, **30,** 121–137 (1976)
7. Stead, G.C.: *The Thalia of Arius and the Testamoi of Athanasius.* J. Theological Studies, New Series, **29,** 20–51 (1978)
8. Trengove, L.: *Newtons Theological Wievs.* Ann. Science, **22,** 277–294 (1966)
9. Wiles, M.: *In Defence of Arius.* J. Theological Studies, New Series, **13,** 339–347

*

Jeg vil takke professor dr.theol. Jacob Jervell for hjelp med litteraturen på et for meg ukjent område.

∞

Husk Kontingenten!

Studer FYSIKK

Elektriske modeller for human hud – beskrivelse eller forklaring?

Ørjan G. Martinsen og Sverre Grimnes *

Modeller benyttes i stor utstrekning innen naturvitenskaplig arbeid; men hvilken hensikt tjener disse modellene egentlig, og hva kjennetegner en god modell? Med utgangspunkt i elektriske modeller for hud, diskuterer vi i denne artikkelen modellbegrepet ut fra vitenskapsteoretiske begreper som realisme og instrumentalisme.

Romain Vigouroux publiserte i 1879 en artikkel om bruk av Ampères galvanometer for registrering av endringer i kroppens elektriske konduktans, og han beskrev i senere artikler hvordan slike målinger kunne benyttes i klinisk diagnostikk. Charles Féré knyttet i 1888 disse endringene til emosjonell aktivitet. Man forsto snart at huden var den største strømbegrensende faktor ved konduktansmålingene, og at det derfor var hudens elektriske egenskaper som bestemte resultatene. Betegnelsen *"galvanic skin response"* (GSR) ble innført av Gildemeister i 1922, og er kanskje fortsatt den mest brukte betegnelsen på den psykisk styrte svetteutskillelsen i håndflatene og på fotsålene. Dette til tross for at en komité, dannet på oppfordring av redaktørene i tidsskriftet *"Psychophysiology"*, har forsøkt å innføre betegnelsen *"electrodermal response"*[1].

GSR-målinger brukes i dag ved psykofysiologiske undersøkelser og ved diagnostisering av nevrologiske sykdommer. Psykofysiologiske målinger gjøres bl.a. innenfor forskning vedrørende emosjonelle forstyrrelser, og ved løgndeteksjon. Eksempler på nevrologiske sykdommer kan være nevropatier (f.eks. diabetes nevropati), nervelesjoner og psykiske tilstander ved såkalt endret sentralnervøs aktiveringsgrad, som depresjoner, angst osv.

Admittansmålinger innebærer bruk av vekselspenning, og muliggjør måling av hudens konduktans og suseptans simultant. Slike målinger har i stor grad erstattet de rene konduktansmålingene, spesielt innen den typen hudmålinger som ikke går på GSR-aktivitet. Dette er f.eks. hudadmittansmålinger for tidlig deteksjon av sykdommer som psoriasis, eksem, betennelser eller hudkreft, eller fuktighetsmålinger i forbindelse med farmasøytisk eller kosmetologisk forskning. Målingene foregår ved at man plasserer to elektroder på huden, påtrykker en konstant spenning over disse og leser av den resulterende strømmen. Hornhuden (den øverste, døde delen av huden) har i de fleste tilfeller svært lav ledningsevne i forhold til det levende underliggende vevet, og man måler derfor med denne metoden ledningsevnen i en seriekobling av hornhuden under de to elektrodene. Et spesielt tre-elektrodesystem kan benyttes for å oppnå monopolare målinger, dvs. måling kun på hornhuden under den ene elektroden.

Ved hudadmittansmålinger måler man hudens komplekse ledningsevne for vekselstrøm. Admittansen angis med et komplekst tall, satt sammen av størrelsene konduktans og suseptans. I elektronikken beskriver konduktansen et mediums evne til å transportere ladningsbærere under påvirkning av et gitt elektrisk felt. Suseptansen er, for huds vedkommende, kapasitiv, og beskriver et mediums evne til å la seg polarisere av et påtrykket elektrisk felt. I den grad målingene reflekterer hudens elektriske egenskaper, antas derfor resultatene å beskrive hudens evne til h.h.v. å lede ioner (ev. elektroner) og til å la seg polarisere elektrisk. Det er imidlertid viktig å være klar over at konduktans målt med likespenning og vekselspenning ikke nødvendigvis er det samme. Ved likespenning påvirkes konduktansen i større grad av s.k. elektromotoriske krefter, dvs. motspenninger som bl.a. genereres i polariserbare materialer, mens ved vekselspenning kan tidskonstanter for polarisasjon i materialet gi en tapsfaktor som påvirker konduktansen.

En admittansmåling gir altså som resultat en vektor i admittansplanet. Denne kan oppgis i polarkoordinater og er som sådan modelløs, dvs. fri for tolkning eller induktive slutninger. Ønsker man derimot å bestemme konduktans- og suseptansverdiene, må man avgjøre om disse egenskapene fysisk sett er koblet i serie eller

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

parallell. Ved parallellkobling vil målinger med konstant spenning (vekselspenning med konstant amplitude) produsere en variabel strøm som kan dekomponeres i to størrelser: en komponent som er i fase med spenningen og en komponent som er dreid 90^0 i forhold til spenningen. Disse strømverdiene vil være direkte proporsjonale med henholdsvis konduktansen og suseptansen. Er den fysiske realitet derimot en seriekobling, faller denne proporsjonaliteten bort, og størrelsene må beregnes matematisk i hvert tilfelle. Den samme proporsjonaliteten gjelder ved måling på en seriekobling med konstant strøm. Verdier for hudens konduktans og suseptans vil altså alltid være knyttet til en oppfatning av hvorvidt disse fenomenene forekommer elektrisk sett i serie eller parallell.

Skal man lage en elektrisk modell for huden, vil en modell med kun to komponenter dessuten ikke kunne simulere den frekvensresponsen man måler på hud, og den er åpenbart for enkel med tanke på hudens komplekse anatomi. Man kan nå tenke seg tre svært forskjellige løsninger på dette problemet som resulterer i følgende arketyper:

Modell 1: En løsning er å differensiere maksimalt mellom de forskjellige strukturene i huden, for slik å skape en elektrisk modell som er like kompleks som huden selv. Lipidmembraner vil da typisk erstattes med kondensatorer, vandige media med resistanser og semipermeable membraner med spenningskilder. Modellen vil på cellenivå kompromissløst søke å gjengi de enkelte *mikroanatomiske* strukturers elektriske egenskaper.

Modell 2: En annen løsning vil være å fokusere på de strukturer i huden som i størst grad bidrar til de elektriske egenskapene, bestemme om hver enkelt slik struktur best representeres med en motstand (konduktans) eller en kondensator (suseptans), og så finne den enkleste elektriske ekvivalenten som tar hensyn til disse strukturene. Denne *organorienterte* modellen blir altså en forenklet utgave av Modell 1.

Modell 3: En tredje løsning ville være å behandle huden som en *"black box"*, gjøre omfattende målinger på den, og så tegne en krets som med størst mulig tilnærming modellerer de elektriske egenskapene man finner. I denne modellen tas det ingen hensyn til hudens anatomi.

Disse tre modellene vil være svært forskjellige, men de er alle elektriske modeller for huden. Er en av modellene "bedre" eller mer "korrekt" enn de andre, og i tilfelle hvorfor?

Modellbegrepet

Modell er et flertydig begrep. En modell kan være en tredimensjonal avbildning av en gjenstand, men det kan også være en person som viser fram klær, et utgangspunkt for produksjon av støpeformer, en person som avbildes i et kunstverk, et apparat for fysikalske modellforsøk, et substitutt for noe, en anskueliggjøring av et matematisk uttrykk osv. Ordet modell har i hovedsak to adskilte betydninger, nemlig *forbilde / avbildning* og *ekvivalent / substitutt*[2]. Vi bør også nevne matematiske modeller, som er en slags prediktive substitutter for virkeligheten. Typisk for modellene er at de representerer visse utvalgte egenskaper ved den virkelighet de gjenspeiler.

De av modellene som tjener som visuelle bilder av virkeligheten, har en geometrisk likhet med originalen, men kan være skalert betraktelig ned eller opp i forhold til denne. (Tenk f.eks. på en flymodell eller en molekylmodell.) Substitutt-modellene avbilder andre egenskaper enn de visuelle. De kan, med hensyn til disse egenskapene, fungere som substitutter for originalen. (Man kan alternativt si at de avbildende modellene fungerer som substitutter m.h.t. visuelle egenskaper, og ta dem også med i denne gruppen.) Deres prediktive funksjon vil være av vesentlig interesse, fordi de ofte brukes til å teste en spesifikk side av originalens funksjonalitet eller struktur, eller dens respons på gitte stimuli. Modeller av denne typen kan f.eks. være flysimulatorer, modeller av båtskrog, modelljernbaner, matematiske modeller, elektriske modeller, eller kart. For hver av disse modellene har man altså plukket ut én eller flere egenskaper ved originalen som man ønsker å framheve, slik at de blir selektivt fungerende substitutter. De modellene vi skal diskutere her, er substitutt-modeller, hvor de elektriske egenskapene er viktige.

Ian Hacking skriver at; forutsatt eksistensen av teorier, modeller og fenomener, så er modellene både modeller for fenomenene og teoriene. Teoriene er alltid for kompliserte til at vi kan forstå konsekvensene av dem, så vi forenkler dem til matematisk håndterbare modeller[3].

Forenklingen kan alltid gjøres på alternative måter, avhengig av valg av teorier, og forskjell i vektlegging av teorier og fenomener. Vi skal nå se hvordan disse valgene påvirker modellene, og hvordan modellene framtrer som mer eller mindre beskrivende eller forklarende.

Noen modeller

Tregear presenterte i sin bok *Physical functions of skin* (1966)[4], en modell for hud som består av tolv kondensatorer og tolv motstander (fig. 1). Kondensatorene har lik verdi, og representerer cellemembraner i hornhuden. De avtagende resistansverdiene representerer

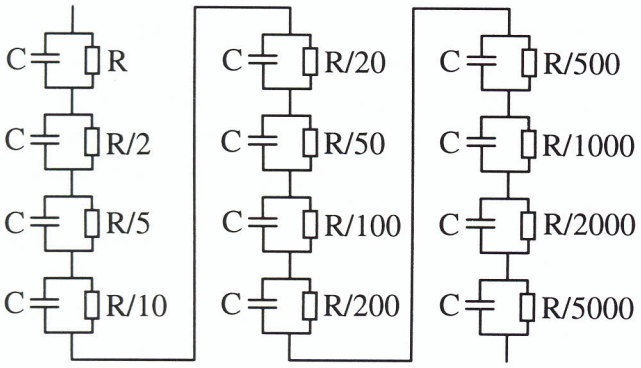


Fig.1. Tregears modell.

intercellulær ledningsevne og tar hensyn til at hornhuden blir tørrere mot overflaten.

Den transcellulære admittansen skulle, ifølge Tregear, egentlig representeres ved to kondensatorer i serie med en resistans, hvor hver kondensator var et cellemembran og resistansen representerte intracellulær væske. I hornhuden er imidlertid cellene flattrykte og døde, og serieresistansen blir derfor svært liten (kortsluttet). Det hele kan derfor reduseres til én resulterende kapasitans. Tregear målte impedans og

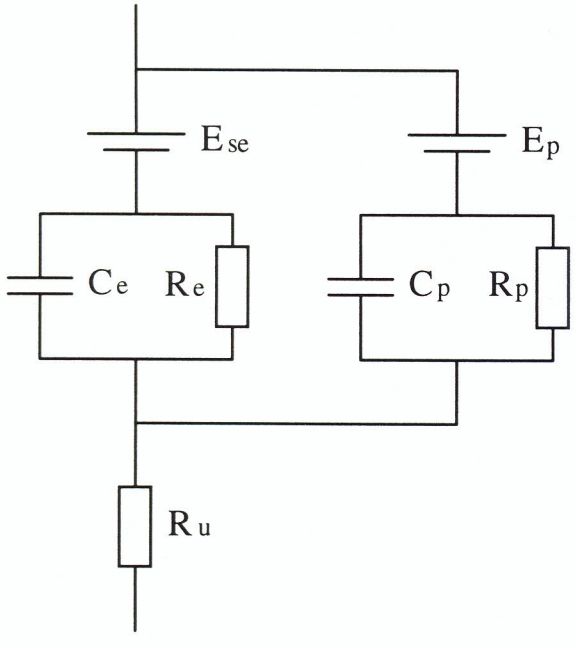


Fig.2. Neumans modell.

fasevinkel i frekvensområdet 1Hz–10kHz på modellen og på levende hud, og fant god korrelasjon mellom resultatene. Kretsen faller klart innenfor vår Modell 1.

Neumans krets (fig. 2) er hentet fra Websters bok, *Medical Instrumentation* (1992)[5], og er mer organorientert enn Tregears modell. Komponentene E_{se}, C_e og R_e, knyttes til ledningsevnen i selve epidermis (overhuden), mens E_p, C_p og R_p representerer svetteporene. Spenningskildene E_{se} og E_p er DC-potensialer som genereres av de respektive organene. Resistansen R_u i de dypere levende lagene av huden, regnes i de fleste tilfeller som neglisjerbar. Modellens frekvensrespons sammenlignes ikke med målinger på hud, og den faller naturlig under vår Modell 2.

Salters to kretser i figur 3, presenteres i boken *Non-invasive physiological measurements*, (Rolfe, ed., (1979)[6]. De modellerer begge med god nøyaktighet den frekvensrespons man finner ved måling på hud, og er nært knyttet til den såkalte Cole-Cole-sirkelen. I Cole-Cole-sirkelen er resistans og reaktans (invers-

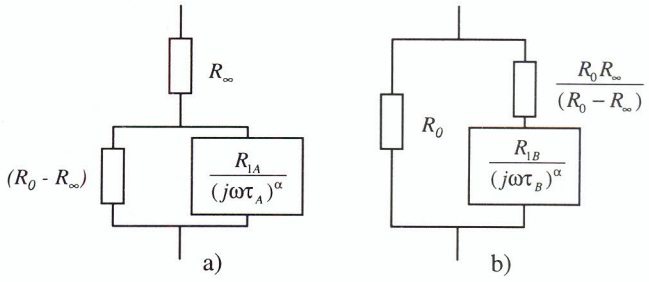


Fig.3. Salters modeller.

verdiene av konduktans og suseptans) plottet som funksjon av målefrekvensen. Punktene danner da typisk en halvsirkel med senter noe under x-aksen dersom resistansverdiene løper langs x-aksen (fig. 4). Resistansverdiene R_0 og R_∞ gjelder som grensetilfeller når frekvensen går mot h.h.v. null og uendelig. I figur 3, er $R_{1A} = (R_0 - R_\infty), R_{1B} = R_0 R_\infty/(R_0 - R_\infty), \tau_A$ og τ_B er tidskonstanter og α er en konstant mellom null og én. Impedansfunksjonene av τ og α har begge den spesielle egenskapen at fasevinkelen er frekvensuavhengig.

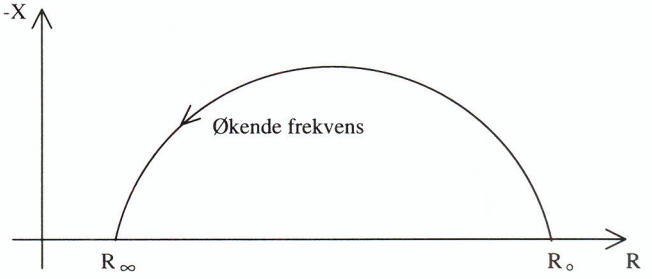


Fig.4. Hudens frekvenskarakteristikk (Cole-Cole plot).

Modellen i figur 3a er kanskje den mest brukte i nyere publikasjoner, og skriver seg fra grunnleggende studier av biologisk materiale av bl.a. Cole, Fricke og Schwan, hovedsaklig utført i 30-årene. Modellen er basert på målinger, og forklarer i seg selv lite om hudens elektrofysiologi. Man kan riktignok empirisk relatere endret frekvensrespons til endringer i hudens funksjon, men modellen gir ingen forklaring på endringene. Modellen kan best sammenlignes med vår Modell 3.

Den siste modellen i dette utvalget er hentet fra en artikkel av Kontturi m.fl. (1993)[7]. I figur 5 er $R1$ forklart som hudens ohmske resistans og CPE som en kapasitiv impedans gitt ved $Z_{CPE} = Y^{-1}(j\omega)^{-\alpha}$. Alfa (α) i dette uttrykket, har verdier mellom 0,5 og 1,

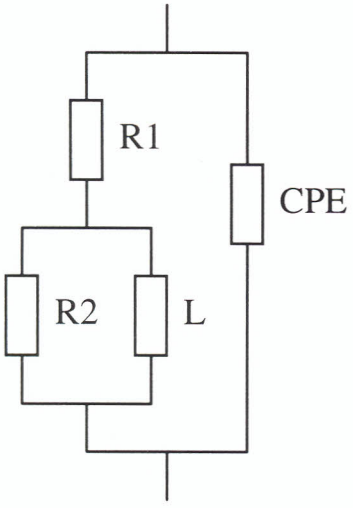


Fig.5. Kontturis modell.

og det foreslås at parameteren har følgende sammenheng med den fraktale dimensjon, D_F, til flaten man måler på: $\alpha = 1/(D_F - 1)$. Den fraktale dimensjon ligger derfor et sted mellom 2 og 3, avhengig av flatens ruhet. Det poengteres videre at mens et enkelt RC-ledd har en tidskonstant $\tau = RC$, så har et CPE-ledd en kontinuerlig fordeling av tidskonstanter. Komponentene $R2$ og L eksisterer bare etter behandling med s.k. *"penetration enhancers"*, dvs. stoffer som øker den transdermale transporten av andre stoffer (f.eks. legemidler). Induktansen L er spesielt interessant, fordi det er vanskelig å tenke seg noen anatomisk struktur i huden som skulle gi opphav til en slik effekt. I artikkelen er effekten forsøkt forklart med at *"enhancers"* øker friheten til store dipolare molekyler i huden, og at deres relaksasjon ved lav frekvens er slik at den gir opphav til en selvinduksjon. Modellens styrke ligger i at den med god nøyaktighet, simulerer hud (in vitro), og den ligner mest på vår Modell 3.

Beskrivelse eller forklaring?

Vi stilte innledningsvis spørsmål om hvilken av de tre grunnmodellene som er den beste eller mest korrekte. Spørsmålet er åpenbart for lite presist til at det kan besvares. Hva krever vi av en god eller korrekt modell?

Ordene "elektrisk ekvivalent" forekommer omtrent like ofte som "elektrisk modell" i litteraturen. Det mer ambisiøse begrepet 'ekvivalent' har en klarere betydning enn 'modell'. En elektrisk ekvivalent er en krets som, ut fra elektriske målinger via dens tilkoblingspunkter, ikke kan skilles fra originalen. Modell 3 er således den beste elektriske ekvivalent for huden, og derfor også den beste modell dersom målet er beskrivelse av hudens elektriske egenskaper. Man bør her altså skille de beskrivende modellene fra de forklarende.

De beskrivende modellene karakteriserer huden elektrisk ved hjelp av både kjente elektriske komponenter og algoritmer. Modellene gjenspeiler først og fremst fenomenene, dvs. de målte størrelsene og forløpene, og teoriene er i liten grad knyttet til hudens mikroanatomi. Entitetene i modellen eksisterer ikke nødvendigvis som avgrensede biologiske strukturer, og selv om modellen inneholder kjente elektriske komponenter, er det ikke gitt at disse representerer tilsvarende elektrofysiologiske prosesser i huden. En instrumentalist, som vil hevde at den ontologiske virkelighet kun er heuristiske konstruksjoner som vi bruker til å organisere våre erfaringer på en hensiktsmessig og nyttig måte[8], kan gjerne hevde at disse modellene er gode til tross for at de inneholder spoler og bokser med formler. De simulerer huden elektrisk, og kan i den forstand oppfattes som korrekte modeller. De er gode instrumenter til sitt bruk, f.eks. for beregning av hudens frekvensrespons.

De forklarende modellene tar utgangspunkt i elektrisitetslærens grunnbegreper som elektrisk potensial, konduktans, polarisasjon, induksjon osv. Kunnskap om de fysikalske mekanismene bak disse fenomenene brukes til å gi en forståelse av tilsvarende fenomener i biologisk materiale, og modellene er i stor grad påvirket av teorier rundt sammenhengen mellom mikroanatomi og grunnleggende elektriske egenskaper. Det er da helt avgjørende at modellen kun inneholder diskrete elektriske komponenter hvor den grunnleggende virkemåten er kjent. De forklarende modellene har en forklarende virkning fordi man tror at komponentene i modellen representerer avgrensede anatomiske strukturer, hvor den dominerende elektriske egenskapen kan forklares ut fra komponentens egenskaper. Entitetsrealisme, dvs. troen på at modellens

komponenter eksisterer som strukturer i huden, er altså en grunnleggende forutsetning ved disse modellene.

Tregears og Neumans modeller er i stor grad forklarende. De gir en grunnleggende forståelse av de dominerende elektriske mekanismene i hornhuden, og de er egnet til å forutsi virkningen av f.eks. økt luftfuktighet, 'stripping' av huden, økt svetting, økt målefrekvens osv. Deres svakhet ligger imidlertid i at de ikke tilnærmelsesvis simulerer hudens frekvensrespons så godt som Salters og Kontturis modeller. Forskyvningen av sentrum i Cole-Cole-sirkelen kan f.eks. ikke forklares v.h.a. kretser med ideelle, passive komponenter. Fenomenet kan beskrives (men ikke forklares) ut fra relativt komplisert relaksasjonsteori, men den heuristiske analogien til de enklere elektriske komponentene er da tapt.

Man kan lett bli ledet til å tro at de beskrivende og de forklarende modellene er uttrykk for h.h.v. rendyrket instrumentalisme og realisme. Som arketyper er de kanskje det, men det er viktig å forstå at de forklarende modellene er tilnærmelser hvor det heuristiske innholdet er vesentlig. Forskning på hudimpedans har avsløret elektriske fenomener i huden som ikke kan representeres ved de tradisjonelle komponentene, men modellene har sin ubestridte kvalitet i at de i større eller mindre grad demonstrerer hvilke grunnleggende elektriske egenskaper som dominerer innenfor substrukturer i huden. Deres begrensning ligger i at de er for enkle, fordi de ikke tar hensyn til forskjellene som eksisterer mellom et elektronisk og et ionisk medium. De biologiske ladningsbærerne er bl.a. store molekyler som gir opphav til relaksasjonprosesser og derved frekvensavhengige kapasitans- og konduktansverdier. Dette kan ikke modelleres på en måte som er forenlig med den enkle analogien med elektronikkens passive grunnkomponenter. De forklarende modellene blir derfor, sett i lys av elektrofysiologisk forskning, forenklinger, men kan sies å representere hudens elektriske egenskaper ved en gitt frekvens.

Ordliste

Heuristikk: Oppdagelseskunst
Heuristisk metode: Metode som gir praktiske resultater uten at en vet om det skyldes tilfeldigheter eller noe annet.
Instrumentalisme: Det å oppfatte begreper og erkjennelse ut fra om de er brukbare eller hensiktsmessige redskaper (instrumenter), men uten å ta stilling til om det de beskriver er "virkelig".
Ontologi: Læren om det værende, læren om alle tings vesen og sammenheng.
Realisme, i filosofisk sammenheng: Den antakelse at begreper har virkelig eksistens (mots. nominalisme). Kunnskapsteoretisk oppfatning som går ut på at det eksisterer en ytre virkelighet uavhengig av våre forestillinger (mots. idealisme).

Den beste modellen

Den beste modellen tar hensyn til nyere kunnskap om relaksasjonsprosesser, frekvensdispersjon, diffusjon, fraktalgeometri osv. Den er en elektrisk ekvivalent til huden, dvs. den har samme frekvensrespons. Videre er den enkel, og har en oppdeling og symbolbruk som gjør det lett å forstå hovedtrekkene i de elektriske egenskapene ved hudens forskjellige substrukturer. Modellen ivaretar alle interesser knyttet til en elektrisk modell for huden – men den finnes desverre ikke! Den beste av de eksisterende modellene må defor være den som er best tilpasset målgruppen.

Realismen i de enkle komponent-modellene er blitt vanskeligere å forsvare etter at nye teorier og målemetoder er tatt i bruk, og disse modellene kan like gjerne sies å være pragmatiske forklaringsmodeller. De er likevel de eneste modellene som differensierer mellom substrukturer i huden, og har derfor også en klinisk nytteverdi fordi de kan være retningsgivende med hensyn til valg av måleteknikk. Sett f.eks. at hornhuden i en slik modell er representert ved en parallellkobling av en kondensator og en resistans, mens svetteporene er representert ved en ren resistans. Modellen er åpenbart ufullkommen fordi den bl.a. ikke tar hensyn til komponentverdienes frekvensavhengighet. Den gir likevel den informasjon at admittansens kapasitive komponent kun påvirkes av hornhuden, mens den konduktive komponenten også er påvirket av svetteporene. Ved målinger basert på bruk av kun én frekvens, vil dessuten disse modellene kunne være nøyaktige nok.

Den rene instrumentalismen i de beskrivende modellene er også diskutabel. Det er et klart behov for å knytte parameterne τ og α til veldefinerte mekanismer i huden, ikke minst med tanke på bruk av hudadmittansmålinger som diagnostisk verktøy. Slik kan de beskrivende modellene sees på som nødvendige mellomstadier i utviklingen av bedre forklarende modeller. De nye forklarende modellene vil ikke kun inneholde diskrete passive komponenter, men man vil oppleve at symbolvalget endres i forhold til de beskrivende modellene etter som sammenhengen mellom anatomiske strukturer og elektrofysiologiske mekanismer avsløres. Disse nye modellene må

kunne forklare de hittil empiriske avslørte sammenhengene mellom hudsykdommer og hudens frekvensrespons, ved å vise hvordan endringer innenfor en substruktur i huden påvirker en eller flere av komponentene i modellen, og derved hvordan dette kan avsløres ved riktig valg av måleteknikk.

Referanser

1. Boller, F. et al.: *Luigi Galvani, body electricity, and the 'galvanic skin response'.* Neurology, **39**, 868–870 (1989)
2. Ekelund, B.: *Fysikalska modeller.* Åbo Akademi, (1976)
3. Hacking, I.: *Representing and intervening.* Cambridge University Press, Cambridge, (1983)
4. Tregear, R.T.: *Physical functions of skin.* Academic Press, London, (1966)
5. Webster, J.G.: *Medical instrumentation.* Houghton Mifflin, Boston, (1992)
6. Rolfe, P.: *Non-invasive physiological measurements, vol.1.* Academic Press, London, (1979)
7. Kontturi, K. et al.: *Electrochemical characterization of human skin by impedance spectroscopy: The effect of penetration enhancers.* Pharm. Res., **10(3)**, 381–385, (1993)
8. Kragh, H. og Pedersen. A.: *Naturvidenskapens teori.* Nyt Nordisk Forlag Arnold Busck, København, (1991)

∞

En Mathcad Leksjon i Kvantemekanikk

Hans H. Grelland *

Innledning

Hva husker vi fra innføringskurset i kvantemekanikk? Stråling fra sort legeme, partikkel i "eske", harmonisk oscillator, hydrogenatomet, heliumatomet, H_2^+ ... En stor del av tiden gikk med til å utvikle, ved hjelp av sofistikerte metoder, matematisk kompliserte løsninger på (i utgangspunktet) enkle fysiske problemer. Hvert system hadde sin løsningsmetode, og en skulle ikke gå lenger enn til hydrogenatomet før bølgefunksjonene som ble utledet over flere sider, ble nokså uoversiktlige og komplekse. Naturlig nok er det vanskelig å holde tråden i dette og få tak i de generelle prinsippene, sammenhengen og den overordnete forståelsen. Vi som har undervist i et slikt kurs har selvsagt tilstrebet å få frem hvordan enkelttilfellene går inn i en sammenheng, men det skulle ikke forbause meg om flere med meg av og til har ønsket at kvantemekaniske problemer kunne vært litt enklere å løse, slik at man kunne slå til med et par raske eksempler uten å måtte gå gjennom lange matematiske utledninger.

Datamaskinene har det tradisjonelt vært liten hjelp i. Det er heller blitt mer teori å lære som i hovedsak er av beregningsteknisk art, og som i liten grad gir noen dypere forståelse av kvantemekaniske prinsipper.

Moderne datateknologi er imidlertid i ferd med å gi nye muligheter, også i kvantemekanikkundervisningen. Dette skyldes den økte tilgjengeligheten av små maskiner, som slett ikke er så små lenger når det gjelder regnekapasitet, et sterkt forbedret brukergrensesnitt og et utvalg generelle matematikkapplikasjoner, som *Derive, Mathcad, Maple* og *Mathematica*. Jeg vil i det følgende gi et eksempel på hvor enkelt det er blitt å gjøre kvantmekaniske beregninger ved hjelp av programpakken *Mathcad*. Bruk av slike programmer kan bety en ny giv i kvantemekanikkundervisningen. Jeg vil også reflektere litt over hvordan en innføring i kvantemekanikken *kan* gjøres med de nye dataverktøyene til rådighet.

Vi noterer oss først at bruk av databeregninger bringer matrisemetodene i sentrum av kvantemekanisk metodikk. Og matrisemetodene passer som hånd

*Agder ingeniør- og distriktshøgskole, 4890 Grimstad.

i hanske til den moderne abstrakte og algebraiske tilnærming til kvantemekanikken. Fordi matrisemetodene er innebygget i programvaren, behøver man bare i liten grad å manipulere med komponenter; matrisene fortoner seg som abstrakte *q-tall* i Diracs terminologi.

Studentene som skal lære kvantemekanikk bør derfor ha et godt grunnlag i matriseregning. Egentlig skulle man her også ønske seg litt kjennskap til uendelig-dimensjonale matriser og hvordan slike matriser kan tilnærmes med endelig-dimensjonale, hvordan tilnærmingen blir bedre når matrisestørrelsen øker, men også hvordan enkelte egenskaper som f.eks. kontinuerlige spektra ikke opptrer i en endelig-dimensjonal tilnærming.

Når dette grunnlaget er klart, bør man velge en *algebraisk* tilnærming til kvantemekanikken, der man begynner med observablene og deres ikke-kommutativitet heller enn å begynne med bølgefunksjoner og derivasjons-operatorer. Det følgende *Mathcad*-dokumentet *POLYQUANT* (et program i *Mathcad* kalles et dokument) gir en selvdokumenterende utledning av et éndimensjonalt system med et polynomisk potensial. Det eneste punktet der vi avviker fra den abstrakte algebraen, er den linjen som angir matriserepresentasjonene av trinnoperatorene A og A^T.

For de som ikke kjenner *Mathcad*, er det tilstrekkelig å vite følgende for å kunne lese programmet: Tegnet ':=' betyr at uttrykket på høyre side evalueres og verdien legges i variabelen på venstre side. En variabel kan være en skalar, en vektor eller en matrise. Tegnet '=' betyr at uttrykket *til venstre* evalueres og verdien skrives ut til høyre. Resten antar jeg er selvdokumenterende.

Dokumentet er samtidig et program som beregner løsninger for et sett parametre som oppgis øverst i dokumentet. Parametre som bestemmer potensialet, og som forøvrig angir måltall for partikkelmasse, Planck's konstant og størrelsen på basismengden. (Liten basis gir rask beregning, større basis større nøyaktighet.) Når programmet kjøres, vises dokumentet på skjermen. Man kan fritt bevege seg rundt på dokumentet med mus-pekeren og endre verdi på parametre. Dokumentet re-kalkuleres automatisk. Man innser lett hvor nyttig det er for studenten å kunne sitte og eksperimentere interaktivt med et slikt program. Han eller hun vil lett kunne endre potensialet, og straks (eller nesten straks, avhengig av basismengdens størrelse) få ut den nye løsningen. Likeledes vil det være nyttig å eksperimentere med basismengdens størrelse og se hvordan man må finne et kompromiss mellom regnetid og nøyaktighet.

En interessant mulighet er det også å kunne arbeide eksplisitt med tidsavhengighet. Studenten kan sette inn nye tider ved å gi verdi til parameteren $t2$, og kan følge systemet i tid. Denne delen av programmet kan lett videre utvikles, slik at utviklingen i komponentverdi i tilstandsvektoren framstilles grafisk. Den tidsavhengige Schrødingerlikningen er plutselig innen rekkevidde!

Når man har et slikt verktøy til rådighet, der man lett kan se hvordan spekteret endrer seg med potensialets form, er det naturlig å bruke en del tid på å forklare hva det betyr *fysisk* når energispekteret har en spesiell struktur, hva det betyr for stabilitet, responsegenskaper, osv. På denne måten kan man gi studentene en kvalitativ føling, en intuisjon, for hva det betyr kvantemekanisk å ha en gitt potensialfunksjon. *Samtidig* vil studentene være godt forberedt på moderne, abstrakte matematiske formuleringer av kvantemekanikken.

Jeg ser det som fordelaktig at studenten raskt kan komme inn i kvantemekanikkens generelle struktur fordi man på et innledende stadium ikke behøver å heftes med sortlegeme-stråling og hydrogenatomet. Når/hvis man siden ønsker å fordype seg i slike enkelttilfeller, har allerede studentene utviklet en begrepsverden og en forståelse for operatorer, energispektra, osv.

For de som savner "eksakte løsninger" i en slik endelig-dimensjonal-basis tilnærming, vil jeg minne om at eksakte løsninger har vi ikke for noen virkelige kvantemekaniske systemer. Selve paradeeksemplet på en "eksakt løsning", hydrogenatomet, er jo samtidig et paradeeksempel på hvordan man med vellykkede tilnærminger forenkler et problem: Vi neglisjerer kvantefelt-effekter, relativistiske effekter, spinneffekter, kjernens og elektronets endelige størrelse, protonets indre struktur, etc. At dette dreier seg om effekter vi vet er meget små, gjør at den resulterende tilnærming blir meget god, men det fjerner ikke modellens prinsipielle karakter av å være en tilnærming og en forenkling. En endelig-dimensjonale-basistilnærming kan sammenliknes med en fourieranalyse, der man trekker ut de dominerende fourierkomponentene for å skille de vesentlige trekk i et system. Jeg tror det er riktig fra starten av å gi studentene en forestilling om at vi hele tiden jobber med tilnærminger – at de kan være gode eller dårlige, at de kan være fysisk eller regneteknisk motivert, at de kan forbedres (gjerne på bekostning av anskuelighet eller regnetid) at de kan bli ekstremt nøyaktige og pålitelige, og at de dermed kan gi et ekstremt nøyaktig og pålitelig bilde av virkeligheten, men at "eksakte modeller" og "eksakte løsninger" er utenfor vår rekkevidde, uansett.

POLYQUANT

Endimensjonalt kvantesystem med polynomisk potensial

Beregning av energi-egenverdier og tidsutvikling:

Plancks konstant: $\hbar := 1$ Masse: $\mu := 1$

Stivhet av harmonisk komponent: $K := 1$, $\omega := \sqrt{\frac{K}{\mu}}$

Polynomisk orden: $n := 6$, $j := 0...n$

Basis-dimensjon $(N < 90)$: $N := 50$

$$I := 0...N,\ k := 0...N,\ \kappa := 0...N-1$$

Bestemmelse av potensial, polynom-koeffisienter:

$c_j := 0$, $c_6 := 2$, $c_2 := -0,5$, $x := -2,\ -1.9...2$

Potensial: $V(x) := \frac{x^2}{2} + \sum_j c_j \cdot x^j$

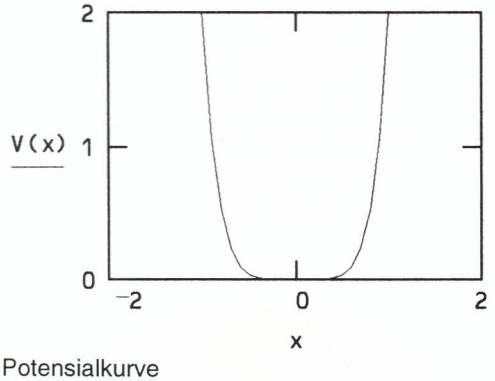


Fig.1. Potensialkurve

Trinn-ned matrise: $A_{k,l} := 0$, $A_{\kappa,\kappa+1} = \sqrt{\kappa+1}$

Posisjonsmatrise: $Q := \sqrt{\frac{\hbar}{2\cdot\mu\cdot\omega}} \cdot (A + A^T)$

Hamiltonmatrise: $H := [\hbar \cdot \omega (A \cdot A^T + \frac{1}{2}) + \sum_j c_j \cdot Q^j]$

Energiverdier: $E :=$ sort(eigenvals(H))

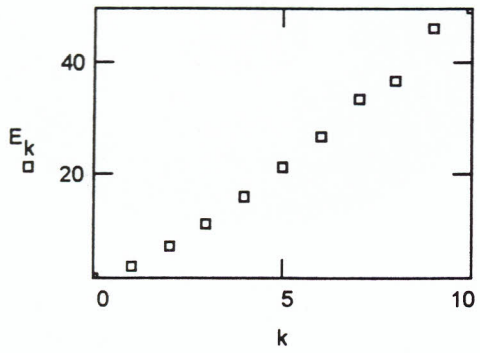


Fig.2. Energispektret til systemet

Tidsutvikling:

$t1 \rightarrow t2$, $t1 := 0$, $t2 := 1$

Startvektor: (1, 0, ..., 0). Vi ser på hvilken vekt 3. komponent har ved tiden $t2$. Vi må regne med at de øverste komponentene er dårlig bestemt i en endelig-dimensjonal basis.

NB! Egenvektorberegningen er tidkrevende.

Startvektor v1: $v1_k := 0$, $v1_0 := 1$

Unitær operator U som diagonaliserer H:

$$U_{k,l} := eigenvec(H, E_k)_l$$

H i spektral (diagonal) representasjon:

$$\Lambda := U \cdot H \cdot U^T$$

Tidsutviklingsoperator i standard representasjon:

$$D_{k,l} := exp[\tfrac{i\cdot(t1-t2)\cdot\Lambda_{k,l}}{\hbar}] \cdot \delta(k,l)$$

Tidsutvikling i standard representasjon:

$$T := U^T \cdot D \cdot U$$

Tilstandsvektor ved tiden $t2$: $v2 := T \cdot v1$

Vekt av 3. komponent ved tiden $t2$: $| v2_3 | = 0,05$

*

Interesserte kan henvende seg til forfatteren for å få nærmere informasjon, og eventuelt få tilsendt *POLYQUANT* og tilsvarende *Mathcad*-dokumenter på diskett. Kommentarer er også velkomne.

∞

Kompleksitet, eit nytt tverrfagleg forskingsfelt

Tormod Riste *

I leitinga etter ei djupare forklaring på mange naturfenomen, det kan vere innafor geologi, biologi eller kjemi, endar ein til slutt i fysikk med molekyl, atom og dei fire fundamentale kreftene. Denne reduksjonistiske lina frå det samansette til det enkle held fram i fysikken med atom, elektronar, kjerner, nukleonar osv., og dei fire kreftene er i ferd med å bli reduserte til ei.

I fronten av denne utviklinga arbeider teoretikarar og eksperimentalistar ved CERN og andre dyre anlegg i multimilliard-klassen. Dette er prestisjetung forsking som til denne tid også har hatt politisk velvilje.

Ein motsett trend i naturvitskapleg forsking er i ferd med å vekse fram, ei retning oppover i hierarkiet, frå det enkle til det komplekse. Denne forskinga på kompleksitet har breidd seg til heilt andre fag, m.a. økologi, økonomi og sosiologi. Eit av tyngdepunkta for denne tverrvitskaplege forskinga ligg ved Santa Fe-instituttet i USA, der fleire nobelprisvinnarar og andre vitskapsmenn møtest med jamne mellomrom. Og budsjettet er på mindre enn ein promille av CERNs.

Meir er ulikt det enkle

Erkjenninga av verdien av den konstruksjonistiske (syntetiserande, antireduksjonistiske) utviklingslina kan til ei viss grad tidfestast til 1972, då nobelprisvinnaren P.W. Anderson publiserte ein artikkel i tidsskriftet "*Science*" med tittelen "*More is different.*" Han hadde sett seg lei på fysikarar som graderte verdien av forskinga etter kor intensiv den var, dvs. kor langt den var komen i reduksjonistisk retning. Innafor den leiren av fundamentalistar såg han tendensar til hovmod. (Sjå Dagblad-kronikken "Fysikk og overmot" 5. august 1993.) Andersons fagområde er stofffysikken. I denne greina av fysikken er faseovergang og symmetribrot viktige begrep. Identiske byggesteinar (atom, molekyl) kan opptre i ulike fasar. I fast tilstand f.eks., kan dei vere ordna i fleire typer mønster, symmetriar. Ved faseovergangen har ein symmetribrot frå eitt mønster til eit anna, der heilt nye eigenskapar (magnetisme, supraleiing osv.) kan kome til syne, eigenskapar som berre opptrer i samlinga av fleire partiklar og ikkje hos enkeltpartiklane. Det heile kan altså vere ulikt og meir enn summen av delane: "*more is different.*" At nye eigenskapar kjem til syne, kallar Anderson 'emergens'.

Mønster og orden veks fram

Dei symmetriforandringane som skjer ved faseovergangane vi har nemnt ovanfor, skjer på det mikroskopiske, atomære nivå, og kan berre observerast med nøytronspreiing eller liknande metoder. I forskinga på kompleksitet er ein meir oppteken av ei spontan sjølvorganisering av mønster på det makroskopiske nivå. Eitt eksempel på slik ordning er det regelmessige,

Fig.1. Eit kontrollert "steikepanne-eksperiment". Den frie overflata av olje i eit kar med varm botnflate viser eit regelmessig polygonmønster. På grenseflatene til hindringar (ring, kvadrat) skjer ei mønster-tilpassing.

*Institutt for energiteknikk, Kjeller

pulserande boblemønsteret i sausen i steikepanna. Eit meir drastisk eksempel på sjølvorganisering er det når myriadar av kjemisk reagerande proteinar, lipidar og nukleinsyrer, som kvar for seg er livlause, går saman til eit kollektivt system med liv og medvet som emergente eigenskapar. Og dei levande organismane kan vidare organisere seg og tilpasse seg kvarandre til eit avstemt økosystem.

Kompleksitet er ein fagterm som inneber ein dynamisk tilstand på grensa mellom orden og kaos, ikkje frosen orden eller kaotisk rørsle. I kontrollerte fysiske laboratorieeksperiment blir dette kalla ein kritisk tilstand. Han opptrer ved faseovergangar og kan uttrykkast matematisk. For sjølvorganiserande komplekse system har ein enno ikkje funne fram til ei matematisk formulering av tilstanden, men dei som arbeider på dette tverrfaglege området meiner at komplekse system har felles trekk og eigenskapar, at dei utgjer meir enn eit sett analogiar.

Kaos- og fraktalteori

Kaosteori har vist oss korleis enkle naturlover kan føre til utruleg kompliserte rørsler, f.eks. turbulens. Fraktalteorien har gitt oss ein reiskap til å karakterisere slike kompliserte rørsler og strukturar, men fortel ingen ting om korleis dei har oppstått eller utviklar seg. I klassisk termodynamikk uttrykker den andre hovudsetninga at entropien veks, at alt som finst utviklar seg i retning av større uorden. Dette stemmer for små, kontrollerte, lukka system, men ikkje for store, frie, opne system. Der oppstår det orden i form av tre, dyr, syklonar, skyer osv. Det forskarane på kompleksitet leitar etter er ei komplettering av den andre hovudsetninga. Dei har von om at den nye skal uttrykke tendensen til at materien organiserar seg sjølv til nye emergente eigenskapar, endåtil til liv.

Sjølvorganisering

Ein av dei forskarane som ligg langt framme på dette området er dansk-amerikanaren Per Bak. Hans idé om sjølvorganisert kritikalitet frå 1986 har inspirert mange, ikkje berre fysikarar. I kontrollerte laboratorieeksperiment er hendingane i den kritiske tilstanden, ved faseovergangen, karakteriserte ved at store forandringar vil inntreffe sjeldnare enn dei små, og fordelinga av hendingar i tid og rom er gitt ved presise matematiske lover. Per Bak og andre har vist at mange naturfenomen følgjer dei same fordelingslovene, f.eks. utbreiinga av jordskjelv. Jordskorpa med sine sprekker og plater er eit sjølvorganisert kritisk system som til eikvar tid tilpassar seg fordelingslovene som gjeld på grensa mellom orden og kaos. Det er verd å merke seg at dette er statistiske lover som ikkje fortel noko om kvar eller når det neste skjelvet vil kome, heller ikkje kor stort det vil bli. Det er også gjort forsøk på statistiske analyser av fossilt materiale for å finne ut når nye arter har oppstått og når dei har døydd ut, og ein har i det minste indikasjon på at også her har ein dei same fordelingslovene. Ein kan difor sjå på slike biologiske hendingar som skjelv i eit kritisk økosystem på grensa mellom orden og kaos. Dette strider ikkje mot Darwins idéar, for tilpassing (naturleg utval mellom tilfeldige variasjonar) er eit viktig element også i evolusjonen av komplekse system.

Ein ny økonomisk-politisk vitskap?

I verdsøkonomien er tilpassing ein viktig faktor pga. smak, livsstil, teknologisk utvikling, prisen på råvarer osv. Nobelprisvinnaren i økonomi Kenneth Arrow og andre samarbeider ved Santa Fe-instituttet om nytenking kring global økonomi, der dei hentar idéar frå forskinga på kompleksitet. Samfunnsforskarar er også med i desse studiegruppene. Ser ein verdssamfunnet som eit komplekst system, vil mønsteret alltid måtte forandre seg. Historia vil aldri gjenta seg, og svingingane i verdsøkonomien kan ikkje vere regelmessige. Kanskje var kommunismen sitt fall eit skjelv på grensa mellom totalitær orden og anarkistisk kaos? Kanskje er det urolege Balkan eit samansett, komplekst system som ved sjølvorganisering, dvs. utan styring av sterke, overordna ideologiar eller militærmakt, alltid vil oppleve skjelv i liten eller stor skala?

Tida vil vise kor mykje av denne forskinga som fortener å bli kalla vitskap, og kor mykje som berre er analogiar. Dei fleste vil vel likevel sjå det som verdfullt at forskarar på så mange ulike område går saman om løysing av analoge problem, i staden for å grave seg ned i sine eigne spesialitetar.

∞

Bokomtaler

A. Rupert Hall: All was Light. An introduction to Newton's Opticks. Clarendon Press - Oxford, 1993 (252 sider).

Si Newton, og vi tenker på bevegelseslover, gravitasjon, binominalformel og infinitesimalregning, men glemmer kanskje fargelæren: Spektret, newtonske ringer og korpuskelteori. Newton huskes som forfatter av *Principia*, verket som forandret verden. Hans andre hovedverk, *Opticks*, nevnes i alle biografier, men etter at korpuskelteorien fikk dødsstøtet i begynnelsen av forrige århundre, mistet verket mye av sin autoritet. Det ble glemt at det var innen optikk Newton viste seg som den geniale fysiker. Det eksperimentelle grunnlaget for mekanikken og gravitasjonsteorien var kjent før hans tid, og hans bidrag var, selv om det ga ny fysisk forståelse, særlig av matematisk art. I optikken planla og utførte han også eksperimenter, og han vek ikke tilbake for krevende arbeid med å perfeksjonere utstyr, f.eks. å tilvirke linser av høy kvalitet.

Rupert Halls bok er ingen Newton-biografi. For å få fullt utbytte av boka må man kjenne Newtons vita. Boka handler om hva hans samtid visste og trodde om lys og om hvorledes Newton arbeidet mot et bestemt mål: Å gi en matematisk beskrivelse av optiske fenomener. Ved å sammenholde sitater fra hans første forelesninger, *Optical Lectures*, og de forskjellige utgavene av *Opticks* og ved dokumenterte opplysninger om hans aktivitet som forsker, viser forfatteren Newtons genialitet. I samspill mellom hypoteser og eksperimenter tok hans forestillinger om lys og farger form. Ved et genialt og enkelt eksperiment, å la lyset gå gjennom to prismer med akse 90^0 i forhold til hverandre, påviste Newton spektralfargenes egenart.

Etter beskrivelsen av de eksperimentelle arbeidene følger et kapittel om utviklingen av hans oppfatning av lysets natur. I motsetning til sin samtid kom han til at fargene er tilstede i lyset som faller inn mot et legeme. Legemets overflate reflekterer bare de forskjellige spektralfargene ulikt.

Newton var langt fra så overbevist om at lys ikke var bølger, som det ofte fremstilles når f.eks. forholdet til Huygens beskrives. Snarere følte han seg provosert av staheten til dem som påsto at lys var bølger uten å kunne gi noe holdbart bevis for det. Han var antagelig den første som skrev at fargene kunne være bestemt av bølgefrekvensen. Men han klarte ikke på en matematisk måte å forene bølgeteorien med de forestillingene han hadde om materien. Både lysets rettlinjede gang og det at fargene fulgte lysstrålene, tilsa at det var partikler. Men korpusklenes natur forble en gåte for ham så lenge han levde. Han tilla dem bestemte egenskaper, *dispositions* eller *fits*, som gjorde at det oppstod forskjellige farger når de støtte mot atomer. Atomene tenkte han seg som små tunge massepunkter med kraftformidlende 'eter' mellom, omtrent som våre atomkjerner. Hver farge var karakterisert ved sine *fits*, som kunne ha med korpusklenes form eller svingetilstand å gjøre. Ved nøyaktige avstandsmålinger i studiet av de newtonske ringer mente han å ha bestemt lengden eller vibrasjonsamplituden til korpusklene. De varierte med en faktor to fra indigo til rødt, og de var av størrelsen 200–400 nm, altså omtrent lik hva man senere fant var halve bølgelengden for tilsvarende lys.

Med Youngs og Fresnels avgjørende bevis for lysets bølgenatur, var Newtons korpuskelteori skrinlagt for godt, trodde man. Så har man, i stedet for å fremheve hans innsats som både eksperimental og teoretisk fysiker, omtalt hans inndeling av spektret i sju farger som et uttrykk for hans interesse for religion og numerologi. I virkeligheten hentet han ideen fra akustikken og foretok en inndeling av spektret som tilsvarte tonesprangene i en oktav, men han regnet med et kontinuerlig fargespektrum. Det er forbløffende å lese om hvor nær Newton var den komplementære beskrivelsen av lys som moderne fysikk gir, og også om hvor godt hans forestillinger om atomene stemmer med vår.

Rupert Hall har i sin bok ved grundig dokumentasjon gitt et interessant innblikk i Newtons tenkning. I bokas siste kapittel behandler han den videre skjebne til *Opticks*. Boka ble først mottatt med skepsis. Ettersom Newtons ry økte, fikk den mer og mer anseelse. Men den ble også mistolket. Newtons spørsmål ble oppfattet som geniets svar. Da bølgeteorien slo igjennom et århundre etter hans død og "svarene" ikke lenger stemte, ble hans renommé innen optikken svekket.

Forfatteren foretar ingen åpenlys vurdering av Newton. Han presenterer fakta. Leseren får selv trekke sine slutninger. Den måten fakta er presentert på, levner liten tvil om Newtons genialitet som fysiker. Hans ideer sprengte grenser. Det eksperimentelle grunnlaget for å komme videre hadde man ikke før i det 20. århundre. Når atomalderens historie skal skrives i et historisk perspektiv, om tusen år, vil tidsavstanden mellom Newton og Planck, Einstein og Bohr synes liten. Da vil kanskje Newton stå fram som atomfysikkens og kvantefysikkens pioner.

Som et apropos til dagens debatt om undervisningsplikt og regulert arbeidstid er det som nevnes i boka om Newtons professorale plikter, tankevekkende.

Da han ble professor, 26 år gammel, fikk han plikt til å forelese åtte halvtimer i året. Ellers behøvde han ikke å oppholde seg ved universitetet. Tilhørerne på forelesningene var få, og færre forstod noe av det han sa. Undertiden foreleste han for tom sal. Hans første forelesningsserie, *Optical Lectures*, strakk seg over tre år. Etter avslutning ble manuskriptene i noe bearbeidet form deponert i universitetsbiblioteket. De dannet grunnlaget for *Opticks*. Hva hadde resultatet blitt om han ukentlig skulle ha forelest 5–10 timer og ellers hatt fast arbeidstid?

Trygve Holtebekk

∞

Steingrim Skavlem: Fysikk og virkelighet. Alma Mater Forlag A/S, 1993 (307 sider), kr. 298.

En fysikers innsikt og oversikt

Det utgis mye såkalt litteratur i vårt land. Store mengder av skriveriet kan brutalt beskrives på følgende vis: Er vrøvlet drepende kjedelig, kalles det seriøst og har krav på priser; er vrøvlet bare kjedelig, kalles det underholdning. En totalt ny type tekst er nå begått av professor emeritus Steingrim Skavlem. Boken "Fysikk og virkelighet" skiller seg ut ved at den krever at leseren *tenker*.

Denne boken representerer en helhetlig oversikt over både klassisk og moderne fysikk. Men publikum bør advares, for dette er ikke sengelektyre. Det er på ingen måte noen populærvitenskapelig tekst. Leseren må være oppmerksom, og boken bør leses med blyant i hånd. For Skavlem benytter seg av matematikkens presise språkdrakt, og leseren bør følge gangen i de enkle likningene med egne, små notater. Egentlig vil det nok være en fordel om leseren kjenner gymnaspensum i fysikk. For boken er ypperlig som supplement for ivrige gymnasiaster som gjerne vil vite mer, før de eventuelt tar fatt på et alvorlig studium av fysikk.

Skavlem starter med de nødvendigste begreper og lovmessigheter fra Newtons mekanikk. Men fremstillingen av dette stoffet er svært så kortfattet. Jeg synes forfatteren gjerne kunne fargelagt og aktualisert dette stoffet med noen artige problemanvendelser. Det ville gitt teksten mer liv.

I neste omgang tar Skavlem for seg varmelæren. Disse 53 sidene går langt ut over gymnaspensum. Derfor krever nok dette kapitlet en viss innsats fra leseren. Men denne teksten er også velegnet for studenter som tilleggslesning ved siden av pensum i termodynamikk ved universitetet. I skandinavisk språkdrakt kjenner jeg bare John F. Sandfort: "Varme, Arbeide og Energi i Teknikkens Tjeneste," som kan måle seg med Skavlems bok i interessant fremførelse av dette stoffet. Den boken kom dessverre aldri på norsk da Cappelen utga sine ypperlige realfagbøker. Derfor fyller Skavlems bok et tomrom her. Denne delen av fysikken har jo hatt praktisk betydning like siden dampmaskinen gjorde arbeidet lettere, og Skavlem diskuterer at det nok heller ikke vil lykkes å lage noen evighetsmaskin, såkalt perpetuum mobile. En kan heller ikke utnytte den indre energi i havvannet uten å ha et temperaturfall til rådighet. Men termodynamikkens 2. hovedsetning sier at ethvert isolert system går mot stadig større uorden og utjevning. Vil da selve universet som pr. definisjon er isolert, ende som et ensartet hele der knapt noe skjer?

Kapitlet om elektromagnetisme går ikke særlig videre enn gymnaspensum. Her avstår jo også Skavlem fra det matematiske apparat som skal til for å stille opp de grunnleggende likningene til Maxwell for sammenhengen mellom elektrisitet og magnetisme. En enkel løsning av disse likningene viser jo at lys kan forstås som en elektromagnetisk bølge som brer seg, og da gjerne gjennom vakuum.

Dermed mister Skavlem også muligheten til å angripe relativitetsteorien den "naturlige" veien som Einstein tok da han startet med å spørre om hva han ville oppleve dersom han forfulgte en lysstråle med dens egen hastighet. I Skavlems tekst kommer nå lyshastighetens konstans som et uavhengig naturfenomen. Derfor er det kanskje verre å fordøye denne kjensgjerningen som bryter med dagligdags erfaring om hastigheter. I dette avsnittet er det også en stygg trykkfeil (formel 4.19) der egentid er blitt erstattet med vanlig koordinattid. Jeg tror også at den fremstillingen Einsteins gravitasjonsteori får, blir altfor snau og springende for en uinnvidd novise, selv om han kjenner sitt gymnaspensum til bunns. Det beste en kan håpe på, er at denne fremstillingen kan vekke nysgjerrighet til videre lesning av akkurat dette stoffet. På engelsk foreligger det en rekke ypperlige fremstillinger av enkle sider av Einsteins mesterverk: den generelle relativtetsteori.

Til sist behandler Skavlem det stoffet som representerer den mest dyptgående vitenskapsrevolusjon i vårt århundre, nemlig den såkalte kvantemekanikken. Og den som får fordøyelsesbesvær av Einsteins relativitetsteori, må jo få kvantemekanikken direkte i vrangstrupen, for her går vår intuitive følelse tapt. Jeg synes Skavlem gir en aldeles ypperlig fremstilling av det mystiske som skjer i atomverdenen. Her må en gi opp å anskueliggjøre prosessene. En må på en måte prøve å "forstå" uten å kunne forestille seg det som skjer.

Fysikk handler nemlig om å finne fram til lover og regelmessigheter, men ikke å skaffe til veie anskuelige bilder. Her gjelder sannelig det Bibelens bud som gikk tapt da de kristne ønsket å dekorere kirkene sine: "Du skal ikke lage deg noe bilde av Gud!" Det merkverdige ligger i den såkalte bølge–partikkel dualismen. Alt vi finner i naturen har en slags dobbelteksistens. Observatøren blir en uatskillelig del av fenomenet. Materiens oppførsel avhenger fullstendig av hvordan den blir iakttatt. Av og til gir den tilkjenne sin bølgenatur, av og til sin diskrete partikkelnatur. Men aldri gir den tilkjenne begge sider ved ett og samme eksperiment.

Min konklusjon er å "sitere" operasangeren Ivar F. Andresens uttalelse om IFA-pastillen for å karakterisere boken: "Blant dens fornemste egenskaper er først og fremst den at den forebygger sløvhet i hjerne og sinn." Jeg kan på det varmeste anbefale denne bok til fysikere, studenter, ingeniører og åndsmenn.

Henning Knutsen

∞

Nils Skogen: Fysikk utan svarte boksar. Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, 1993 (192 sider), kr. 145.

Fysikkglede

Endelig er Skogens bok kommet; den har jeg venta på. Det er den mest originale bok om fysikkforsøk som er kommet på norsk. Det var Nils Skogen som oppdaget omvendte såpebobler. Det var han som viste oss eksperimentet med Skogens kuler. Han lager kjedelinjer (katenoider) ved hjelp av slepetau langs friksjonsplan. Han finner π ved å kaste en tråd på rutepapir og mye, mye annet.

Boka beskriver vel tretti forsøk. Mange av dem er Skogens originale oppdagelser, men i alle tilfelle har de en særegen vri, en ny og bedre måte å gjøre forsøkene på, og å beskrive og forklare dem på.

Skogen forklarer hvordan man lettvint kan lage omvendte såpebobler. En vanlig såpeboble er en tynn, kuleformet film av såpevann i luft og med luft inni. En omvendt såpeboble er en tynn film av luft nede i såpevann med såpevann inni.

I et annet eksperiment lager han tusener av små såpebobler på en vannflate. Slike bobler legger seg inntil hverandre i et velordna gitter, og lager en fin modell av et krystall. Men det er lagringsfeil som er mest interessant i faststoff-fysikken. Og også i ordningene av de små såpeboblene får vi feil. Flak med ulike orienteringer legger seg inntil hverandre; grensene skifter, noen flak minker, noen vokser. Sånn er det med krystallgittere også.

Mange vil sikkert ha stor glede av Skogens lek med Moaré-figurer, både fordi de er vakre, og fordi de kan demonstrere mange fysiske fenomener. Særlig kan man legge merke til at han viser dynamiske bølger ved hjelp av roterende spiraler.

Noen av de morsomste fenomenene er de Skogen kaller "minnuge kuler". Det dreier seg om kuler som triller innover f.eks. papirark i bevegelse. Når de triller av igjen, får de sin opprinnelige fart og retning tilbake, uavhengig av om papiret er i rettlinjet bevegelse, om det er akselerert eller roterer. Det at kulene "husker" sin opprinnelse selv etter å ha vært med på en rotasjon på en grammofonplate, er ikke til å tro. Man må se det.

Skogen holder seg til den klassiske fysikken. Også de matematiske fenomenene han behandler, løser han ved fysisk innsikt. Alt han skriver, er på et nivå som man kan forstå med artiums-fysikken. Men det å finne på forsøkene og å skrive så enkelt, skal det en fenomenal innsikt til.

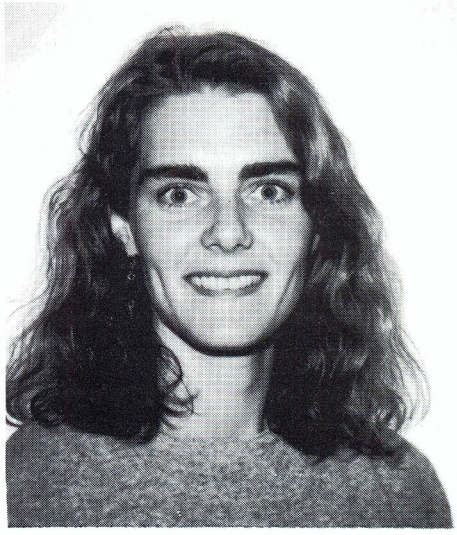
Folk som er glade i klassiske fysiske forsøk, bør kjøpe denne boka. Fysikklærere på gymnas, høyskoler og universiteter bør ha denne boka. Svenske, danske og islandske fysikk-tidsskrifter bør anbefale den. Den bør oversettes til verdensspråkene og spres over hele kloden.

Otto Øgrim

∞

Nye Doktorer

Åse Ballangrud



Sivilingeniør Åse Ballangrud forsvarte 2. juli 1993 sin avhandling *Gass sensorer basert på diodelaser spektroskopi for miljøovervåking og industriell prosess- og utslippskontroll* for dr.scient-graden ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Motivasjonen for oppgaven er industriens voksende behov for nøyaktige og rimelige målinger av gassutslipp.

Diodelaser-sensorer for målinger av NH_3, O_2, NO_2 og CO er utviklet. Ammoniakkutslipp ble målt fra et varmekraftverk, fra fullgjødselproduksjon og fra landbruksvirksomhet. Oksygen ble målt i en ovn for produksjon av kullanoder, og måling av NO_2 og CO ble demonstrert på laboratoriet.

Diodelaser-sensorene er basert på bølgelengdemodulasjon av laserlyset og en harmonisk deteksjon på den doble modulasjonsfrekvensen. Ved å avstemme laserens frekvens til en absorpsjonslinje, kan absorpsjonen måles direkte og brukes til kvantitativ gassmåling. Høy følsomhet oppnås ved å modulere diodelaseren med en høyfrekvent strøm samtidig som laserfrekvensen avstemmes over absorpsjonslinjen. En absorpsjon på 10^{-5} ble detekterbar.

For å oppnå interferensfrie målinger, må den gasslinjen som benyttes ikke overlappe med linjer for andre gasser i måleatmosfæren. Den minste detekterbare konsentrasjonen vil avhenge av styrken på den valgte absorpsjonslinjen og sensorens følsomhet.

Nøyaktigheten av målingene er begrenset av et fluktuerende bakgrunnsignal fra optisk interferens i måleløypa. Ustabiliteter som kan skyldes temperaturvariasjoner, begrenset følsomheten til sensorene. Den minste detekterbare absorpsjonen kan trolig reduseres med en faktor 10–100 hvis innflytelsen av de optiske interferensene kan elimineres.

To sensorer ble utviklet for å måle ammoniakk. Den beste, med en laser ved $1,55\mu m$, kunne detektere en minste konsentrasjon på $5ppm$ over en strekning på en meter. En O_2-linje ved $0,76\mu m$ ga en minste detekterbar konsentrasjon på $0,2\%$. For NO_2 $(0,84\mu m)$ og CO $(1,56\mu m)$, ble minste detekterbare konsentrasjoner på 20 og $100ppm$ over en meter oppnådd.

Målingene demonstrerer potensialet for denne teknikken for *in situ* målinger av miljøforurensninger etc. Fordeler med diodelaser-sensorene sammenliknet med andre gass-sensorer i bruk, er høy følsomhet, rask respons, god stabilitet, neglisjerbar interferens med andre gasser, pålitelighet og rimelig pris og vedlikehold. Denne teknikken er derfor attraktiv for gassmålinger i tøffe industrielle omgivelser.

Arbeidet ble finansiert av NTNF og Norsk Elektro Optikk A/S. Åse Ballangrud ble utdannet ved Avdeling for fysikk og matematikk ved NTH i 1988, og er nå postdoktorstipendiat ved University of Alberta, Canada.

∞

Cecilie Berg

Cecilie Berg forsvarte den 4. mars 1994 avhandlingen *Photoemission studies of rare earth overlayer systems* for dr.ing.-graden ved NTH.

Arbeidet er en studie av overlagsystemer av sjeldne jordarter på ulike metalloverflater, undersøkt ved hjelp av fotoemisjonsspektroskopi. Dette er en eksperimentell teknikk der elektroniske tilstander i de ytterste atomlagene i en overflate blir målt. Ved å studere valenstilstander og forandring i bindingsenergier, er det oppnådd ny kunnskap om hvordan grenseflatene dannes i slike overlagsystemer. Arbeidet har vist at når den sjeldne jordarten pådampes et metall ved romtemperatur, kan det dannes et grensesjikt der de to grunnstoffene er blandet som i en legering. Dette er et overraskende resultat, og i avhandlingen blir ulike tilfeller og betingelser for at noe slikt inntreffer drøftet. Hovedsakelig er de sjeldne jordartene cerium, europium og lantan, lagt som overlag på ulike metaller som Rh, Pd, Au, Ag, Cu og Al, studert. I alle disse tilfellene er blanding observert. I tilfellet Ce på Al er det også studert nærmere hvordan Ce-overlaget øker hastigheten som Al blir oksydert med.

Bakgrunnen for doktorgradsarbeidet er tidligere studier der det er vist at slike overlagsystemer kan virke katalyserende på oksydasjon av ulike metaller. Fundamental forståelse av hvordan slike grenseflater dannes kan være viktig for forståelse av katalysesystemer og i

produksjonen av det som med en fellesbetegnelse kalles *"magnetic recording devices"*.

Arbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTH, med professor Steinar Raaen som veileder, og er finansiert av det tidligere NTNF. Cecilie Berg er nå postdoktorstipendiat, NFR.

∞

Vidar Frette

Cand.scient. Vidar Frette forsvarte i november 1993 si avhandling *Visualization and Analysis of Two-Phase Flows in Three-dimensional Porous Media* for dr.scient-graden ved Universitetet i Oslo. Arbeidet har vore utført under Kooperative Fenomen-programmet ved Fysisk institutt.

Tema for avhandlinga har vore mønstera som kan bli danna når fleire væsker strøymer samstundes gjennom porøse materiale. Når ei væske blir pressa inn i eit porøst medium som på førehand er metta med ei anna væske, kan den invaderande fasen f mange forskjellige former alt etter korleis forsøket blir utført. Desse prosessane er interessante døme på kompliserte geometriske strukturar danna i vekselverknad mellom eit globalt felt (slik som tyngdefelt eller trykkfelt) og lokal uorden (variasjonar i porestorleikar, koordinasjonstal osb.).

Det meste av tidlegare ekperimentelt arbeid har vore utført med kvasi-todimensjonale porøse medium. I dette prosjektet er det fyrst blitt utvikla ein metode for visualisering av invasjonsfasen i store tre-dimensjonale porøse medium. Deretter er to klassar av invasjonsprosessar studert. Alle forsøka har vore utført med par av væsker som ikkje blandar seg med kvarandre, slik at kapillærkrefter kan vera viktige.

Indekstilpassing er blitt brukt som visualiseringsmetode. Plastkorn blir pakka i eit glaskar, og denne pakkinga blir metta med ei væske med den same brytingsindeksen som korna. Mediet blir då gjennomsiktig. Ein væskefase nummer to som invaderer mediet, kan då observerast direkte og fotograferast eller filmast, og dei registrerte mønstera kan analyserast vidare.

Den fyrste klassen av prosessar som har vore studerte, er midlare til rask fortrenging. Dei to væskefasane har her same tettleik, slik at tyngde-effektar er eliminerte. Ved middels høge injeksjonsratar er invasjonsstrukturen djupt forgreina. Nokre sider ved denne kompliserte geometrien kunne modellerast ved hjelp av den såkalla diffusjons-avgrensa aggregerings-modellen (diffusion-limited-aggregation, DLA). Høge ratar gav nær kompakte strukturar med nesten flate frontar. Denne stabiliseringa er overraskande, sidan den injiserte fasen har lågare viskositet enn den fortrengte fasen, og ein ventar då ustabil fortrenging.

Den andre klassen av fortrengingsprosessar, er sakte strøyming når dei to væskene har forskjellig tettleik. Tyngdekreftene viser seg å ha stor innverknad på dei strukturane den invaderande fasen dannar. For det ustabile tilfellet – ein lettare fase på veg oppover eller ein tyngre på veg nedover – blir det danna ein fingerstruktur; ein komplisert geometri på liten skala og ein 'tråd-liknande' på stor skala. Det blei målt korleis masse per lengde for desse fingerstrukturane forandra seg med tettleiks-forskjellen mellom fasane. Resultata stemte med det ein ventar frå den såkalla invasjons-perkolasjonsalgoritmen for numerisk modellering av sakte strøyming.

Desse eksperimenta modellerer sekundær migrasjon, prosessen der hydrokarbona, etter å ha blitt pressa ut av dei kompakte kjeldebergartane, strøymer sakte oppover i lausare vassmetta bergartar (typisk sandstein) drivne av oppdrifta. Dersom det ligg eit tett berglag (ei felle) høgare oppe, vil olje og gass kunna samlast opp under det, og eit reservoar blir bygd opp.

I eksperimenta er det blitt observert ein interessant dynamikk for den lange tynne migrasjonsstrengen. Strengen er ustabil, og brytest stadig opp til ei kjede dråpar som er samanbundne med tynne væskefilmar. Ved kontinuerleg injeksjon er det lange periodar med strøyming bare gjennom filmane og sakte oppfylling av enkelte område – og sjeldne, men store utrenningar der betydelege deler av massen i strengen blir drenert.

∞

Bjørn Petter Jelle

Sivilingeniør Bjørn Petter Jelle forsvarte den 21. februar 1994 sin avhandling *Elektrokjemiske og spektroskopiske studier av elektrokrome materialer* for dr.ing.-graden ved Norges tekniske høgskole.

Vinduer laget av elektrokrome materialer kalles gjerne for *smarte vinduer*. Dynamisk kontroll av energigjennomgangen i vindusruter er viktig i forbindelse med energiøkonomisering. Om vinteren ønsker vi å hindre varmetap fra huset, samtidig som vi lar så mye som mulig av solstrålingen slippe inn gjennom vinduene. Om sommeren ønsker vi derimot å stenge en god del av solstrålingen ute. I land med store klima- og temperaturvariasjoner vil det være mye å tjene på en slik dynamisk strålingskontroll. Det er ønskelig med fleksible ordninger som kan styre energigjennomgangen i vinduer i langt større grad. En automatisk styring vil ofte være ønskelig, for eksempel basert på en temperaturføler i huset og en lyssensor utenfor.

En slik dynamisk kontroll av strålingsgjennomgangen i vinduer kan vi oppnå ved å bruke elektrokrome vinduer (smarte vinduer), som skifter farge når en elektrisk spenning er påtrykt. I tillegg til fargeendringen, som kan observeres med øyet, kan det elektrokrome vinduet ha varierende transmisjonsegenskaper i det nære infrarøde området, der nesten halvparten av solenergien ligger.

I doktorgradsarbeidet har Jelle her studert elektrokrome vinduer basert på de tre fargeskiftende materialene polyanilin, prøyserblått og wolframoksid. Vinduer av denne typen kan regulere 50 % av den totale solenergien.

Prosjektet er utført ved Institutt for teknisk elektrokjemi, med førsteamanuensis Georg Hagen som hovedfaglærer og overingeniør dr.techn. Rolf Ødegård som faglig veileder.

Bjørn Petter Jelle ble utdannet ved Fakultet for fysikk og matematikk i 1989.

∞

Gunnar Kopstad

Sivilingeniør Gunnar Kopstad forsvarte 10. september 1993 avhandlingen *Kvantitativ røntgen mikroanalyse av biologiske snittmateriale. Nye metoder for å øke nøyaktigheten ved bestemmelse av grunnstoffkonsentrasjoner i frysesnitt av celle- og vevsmateriale*, for dr.ing.-graden ved Norges tekniske høgskole.

Resultatene fra Kopstads doktorgradsarbeid vil gi mer pålitelige konsentrasjonsdata, særlig ved måling med høy oppløsning på tynne snitt. De vil også gi en mer effektiv bruk av denne teknologien. Dette vil ha betydning for metodens videre anvendelse innen biomedisinsk forskning, for eksempel ved at man gjennom elementanalyser kan klarlegge intracellulære prosesser i normal og patologisk fysiologi, for eksempel ved utvikling av kreft.

I røntgenmikroanalyse kombineres elektronmikroskopi med en analyse av røntgensignalene som prøvematerialet sender ut. Anvendt på tynne frysesnitt av biologisk materiale kan en med denne metoden måle grunnstoffkonsentrasjoner i meget små områder av snittet, for eksempel inne i celler. Kopstad har studert støysignalene som også bidrar betydelig til totalsignalet og kan forårsake store systematiske feil, og han har videre undersøkt hvordan disse kan minimeres og korrigeres. Arbeidet tar spesielt for seg et prøveholdersystem som er utviklet ved Avdeling for

Patologi ved Regionsykehuset i Trondheim (RiT). Det ble dokumentert at man rutinemessig kan holde de systematiske feilene under 7% med dette systemet.

Doktorgradsarbeidet er utført ved Avdeling for Patologi ved RiT, med professor Arnljot Elgesæter, NTH, som hovedfaglærer og professor Olav A. Haugen, RiT, som faglig veileder.

Gunnar Kopstad ble utdannet siv.ing. ved Fakultet for fysikk og matematikk, NTH, i 1980. Han er nå avdelingsingeniør ved RiT.

∞

Hans Christian Guren

Hans Christian Guren forsvarte den 12.08.93 sin avhandling *Combined Coding and Modulation with Application to Satellite Communication* for dr.scient.-graden ved Universitetet i Oslo. Dette er den første doktorgraden i fysikk som er utført ved UNIK, Universitetstudiene på Kjeller.

Arbeidet er et studium av metoder for koding og overføring (modulasjon) av tale- og datasignaler i digitale kommunikasjonssystemer. Guren har utviklet nye teknikker for kanaler med lavt signal til støy forhold og spesielt sett på anvendelser innen satellittkommunikasjon. De foreslåtte teknikkene muliggjør forbedret utnyttelse av radiospekteret og lavere effektforbruk sammenliknet med eksisterende systemer. Arbeidet er utført ved ABB Teknologi A/S i Asker med professor Terje Røste ved Universitets-studiene på Kjeller som faglig veileder. Guren er ansatt som forsker ved ABB Teknologi A/S, og arbeidet har vært finansiert av NTNF og ABB Teknologi A/S.

∞

Jøran Moen

Cand.scient. Jøran Moen forsvarte avhandlingen *Dynamics of the cusp/cleft ionosphere: Ground based and satellite observations* for dr.scient.-graden ved Universitetet i Oslo, den 21. januar 1994. Avhandlingen beskriver eksperimentelle observasjoner av det såkalte dagnordlyset, som kan observeres over Svalbard i mørketiden midtvinters. Solvinden, ladde partikler som slynges ut fra solas atmosfære, danner kilden til nordlyset. Når disse partiklene treffer jordas magnetfelt blir de fanget opp og ledet ned mot polarhimmelen, hvor de "tenner" luftgassene som i et lysrør. Dagnordlyset representerer et fotavtrykk av dynamiske prosesser som oppstår i grensesjiktet mellom solvinden og jordas magnetfelt. Gjennom nordlysstudier kan en således kartlegge geofysiske forhold i jordas nære verdensrom, fra bakken.

Avhandlingen omhandler klassifisering av nordlysaktivitet som kan tilskrives konkurrerende mekanismer, som f.eks. Kelvin–Helmholtz-instabiliteter, trykkpulser som perturberer jordas magnetfelt, samt direkte overføring av solvindpartikler på åpne og lukkede feltlinjer. Å skille slike prosesser fra hverandre på grunnlag av nordlyssignaturen, har vist seg å være et ikke-trivielt problem. En benyttet angrepsvinkel har vært å bestemme nordlysdynamikken i forhold til konveksjonsgrensen og viktige grensesjikt i partikkelnedbøren. Sammenhenger mellom nordlysaktivitet og konveksjon (ionevinder) er påvist.

Moen har selv ledet en rekke ekspedisjoner til Svalbard for innsamling av ekperimentelle data. Arbeidet er utført ved Avdeling for plasma- og romfysikk på Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo. Moen er nå førsteamanuensis ved UNIS, Universitetsstudiene på Svalbard.

∞

Jon Børre Ørbæk

Cand.scient. Jon Børre Ørbæk forsvarte i april 1993 sin avhandling *Infrasonic Direction-of-Arrival Measurements for Acoustic Remote Sensing of Polar Lows*, for dr.scient.-graden ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Arbeidet behandler problemet med å varsle polare lavtrykk, små og intense lavtrykks-virvler som utvikler seg nord for polarfronten i våre nære arktiske havområder vinterstid. Disse lavtrykkene er vanskelige å oppdage og å varsle, og representerer derfor en trussel mot skipstrafikken i disse områdene.

I prosjektet presenteres en ny metode for akustisk registrering av slike lavtrykk. To Passive Bredbånds Infralyd Sodarer (PBIS-er) er bygget opp i Nord-Norge og på Svalbard. Disse gir ekstra informasjon i form av *Direction-of-Arrival* (DOA) -spektra i sann tid.

Polare lavtrykk blir normalt assosiert med livlig og dyp konveksjon og er dermed antatt å være sterke kilder til akustisk støy generert aerodynamisk i de turbulente områdene. Ved hjelp av suksessive refleksjoner mellom havoverflaten og den øvre atmosfære, kan den lavfrekvente delen av den akustiske energien utbre seg til avstander flere tusen kilometer borte. De automatiske PBIS-stasjonene finner det akustiske støyfeltets retning. Under antagelsen av at støyen kommer fra de sterkt konvektive områdene av værsystemet, kan DOA-spektrene vise retningen til disse områdene, og kan dermed supplere satelittbildene med informasjon om den dynamiske tilstanden til sky-klustrene.

En studie av langdistanse-utbredelsen av infralyd i atmosfæren i nærheten av nordlyssonen, er også inkludert. Sterke vinder i den øvre atmosfæren gir sterk anisotropi i atmosfæremediet. Simuleringene som er gjort viser at den øvre polare atmosfære virker som et retningsfilter for den delen av infralyden som når opp til den nedre termosfære. Den kombinerte effekten av sonalvindene i den midlere atmosfære og det karakteristiske vindfeltet i termosfæren ved 100–150 km høyde, induserer en sterk variasjon, så vel som en sterk lokal tidsmodulasjon av infralydens utbredelse. Denne modulasjonen er avhengig av det geomagnetiske aktivitetsnivået.

PBIS-ene er i stand til å følge et polart lavtrykk gjennom hele dets livssyklus i Norskehavet og Barentshavet, og kan gi detaljert informasjon om dets kompliserte utvikling.

Jon Børre Ørbæk er nå ansatt ved Norsk Polarinstitutt.

∞

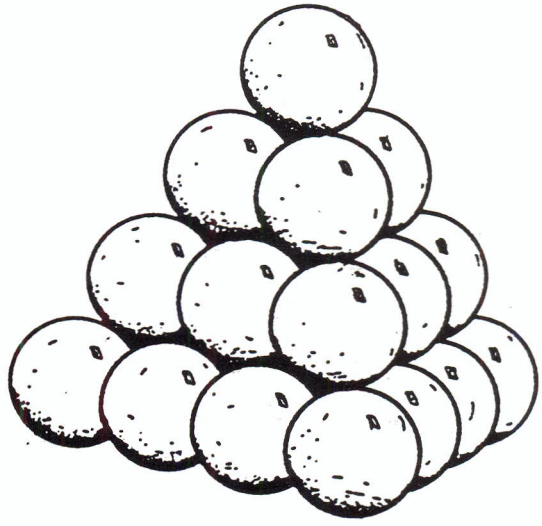
Trim i FFV

FFVT 2/94

En artikkel i *New Scientist* 14.12.1991 under tittelen "The perplexing puzzle posed by a pile of apples", begynner slik:

> In a pyramid of apples of the greengrocer's, which apple is being crushed the most? The obvious answer is the one directly under the apex, at the bottom of the pile. But the obvious answer is wrong.

La oss presisere problemet til å gjelde en trekantet pyramide av identiske friksjonsløse kuleformede epler med masse m, slik at bunnlaget i pyramiden holdes fast. Hvilke epler utsettes for størst trykk?



Løsning FFVT 1/94

En vannspreder som i avstand r gir $f(r)$ liter vann pr. tids- og flate-enhet beveget seg med jevn hastighet, og $f(r)/f(0)$ skulle bestemmes ut fra opplysningen om at sprederen væter en stripe med bredde $2R$ *jevnt*.

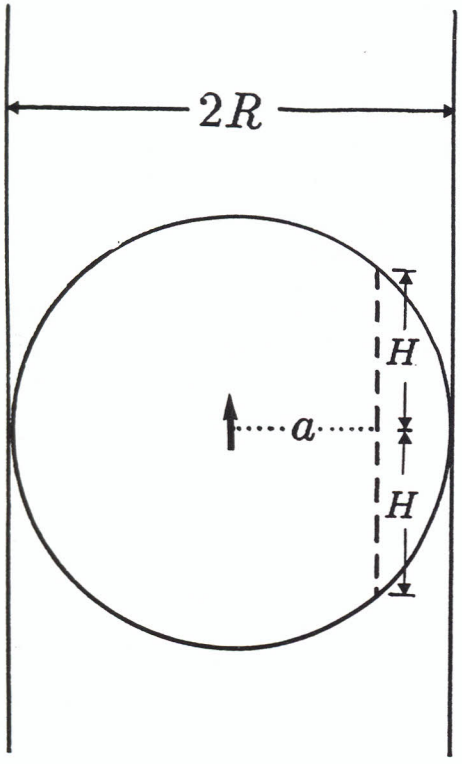
Det er umiddelbart klart at $f(r)$ må øke med r for at punkter langs kanten av stripen skal få like mye vann som punkter nær midten, slik at $f \to \infty$ når $r \to R$.

Et punkt som spredningshodet passerer i avstand a vil motta en vannmengde proporsjonal med

$$\int_{-H}^{H} f\left(\sqrt{a^2+h^2}\right) dh,$$

der $H = \sqrt{R^2-a^2}$ (se figur). Med dimensjonsløs integrasjonsvariabel $x = h/H$, og med $a^2 = R^2 - H^2$, blir dette

$$\int_{-1}^{1} f\left(\sqrt{R^2 - H^2(1-x^2)}\right) H\,dx.$$



Skal stripen være jevnt vætet, må dette være *uavhengig av* a, dvs av H. Dersom $f(r)$ er slik at for alle b er

$$f\left(\sqrt{R^2-b^2}\right) = \frac{konstant}{b},$$

så vil, som vi ser, integralet være uavhengig av H. Med $b = \sqrt{R^2-r^2}$ vil det si at

$$f(r) = \frac{konstant}{\sqrt{R^2-r^2}}.$$

Ved å sette $r = 0$ fås konstanten lik $R\,f(0)$, dvs.

$$\underline{\underline{f(r) = \frac{f(0)}{\sqrt{1-r^2/R^2}}.}}$$

∞

Hva skjer

Nasjonalt nettverk for naturfagutdanning

Fysikere, kjemikere og biologer som arbeider med utdanning har fått sitt eget kontakt- og interesseorgan: *Nasjonalt nettverk for naturfagutdanning (NNN)*. Områder som nettverket spesielt vil satse på er: videreutvikling av faglig og fagdidaktisk kompetanse, økt forskning med basis i naturfagene, styrking av naturfagenes stilling i skole og lærerutdanning, og styrking av kontaktene mellom lærere og lærerutdannere i naturfag. De fleste av aktivitetene til nettverket er foreløpig konsentrert om informasjons- og erfaringsutveksling gjennom utsendelse av et nyhetsbrev (7–8 ganger pr. år) og samlinger i forbindelse med kurs og etterutdanningsseminar. De fleste av medlemmene i nettverket er ansatte ved landets lærerhøgskoler og skolerettede virksomheter ved universitetene (enhetene for praktisk-pedagogisk utdanning, skolelaboratorier og museumstjenester), men lærere i grunnskolen og den videregående skolen og andre interesserte kan også bli medlemmer. Nærmere informasjon kan gis av Inger Kristine Jensen, Telemark lærerhøgskole, tlf. 350 10200, og Peter van Marion, Avdeling for lærerutdanning og skoleutvikling, Universitetet i Trondheim, tlf. 73 900965.

∞

LANDSKONFERANSEN OM FYSIKKUNDERVISNING

QUALITY HAFJELL HOTELL, LILLEHAMMER 9.-12. AUGUST

Det er fortsatt noen ledige plasser på konferansen om fysikkundervisning på Hafjell. Det er derfor mulig å etteranmelde seg til sekretariatet:

Sekretariatet for Landskonferansen om fysikkundervisning
Vest-Telemark ressurssenter, Dalen videregående skole
3880 Dalen

Interesserte som ikke har innbydelse eller påmeldingsskjema, kan kontakte sekretæriatesleder Karl Torstein Hetland på telefon 3507 7271, eller fax 3507 7206.

Vi minner om konferansens hovedtema:

- Reform94 - fysikkfagets stilling
- EDB og datalogging i laboratorieundervisningen
- Forsøk og eksperiment i fysikkundervisningen
- Miljøfysikk

Programmet spenner fra paneldebatt om klimamodeller og ozonmodeller og forelesning om Ugelstadkuler med John Ugelstad, via påmeldte foredrag og morrofysikk, til turmuligheter og velregisserte solsale kveldsaktiviteter.

Landskonferansen om fysikkundervisning ble første gang arrangert på Ustaoset i 1990 som et samarbeid mellom Faggruppen for undervisning i Norsk Fysisk Selskap og Norsk Fysikkråd. Konferansen var svært vellykket og det ble besluttet og avholde en ny konferanse om tre til fem år.

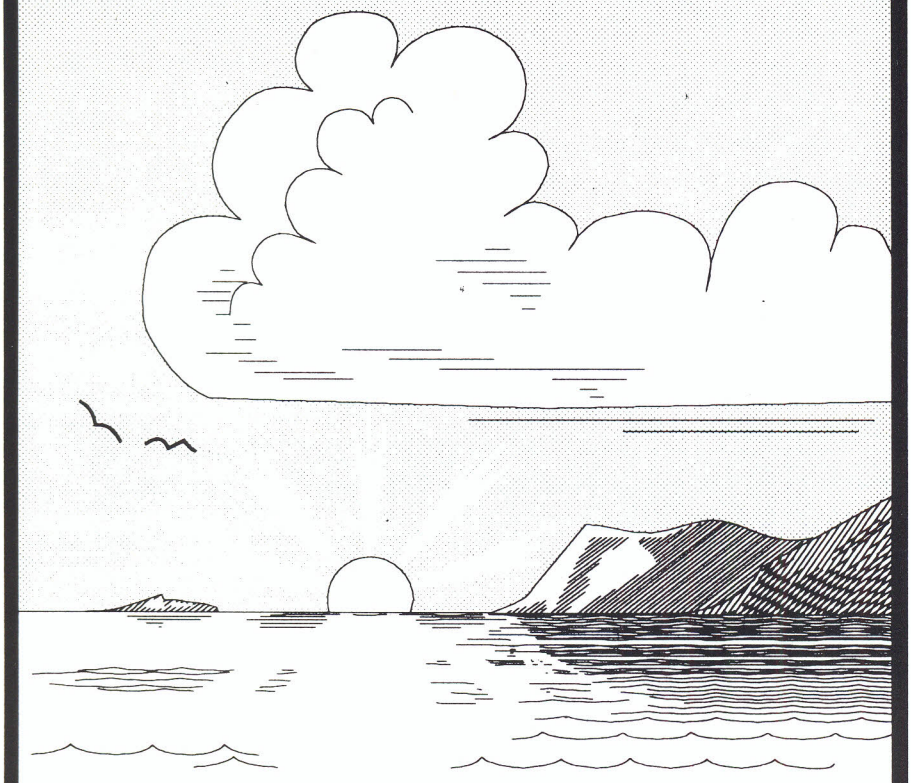
Arrangør av årets konferanse er igjen Norsk Fysisk Selskap ved Faggruppen for undervisning, med støtte av Norsk Fysikkråd.

Programkomiteen består av:

Carl Angell	Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.
Øystein Falch	Bergen Katedralskole.
Arne Auen Grimnes	Institutt for tekniske fag, NLH.
Thormod Henriksen	Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.
Karl T. Hetland	Dalen videregående skole.
Kårmund Myklebost	Fysisk institutt, Universitetet i Bergen
Einar Oterholm	
Per Vold	Sjøkrigsskolen i Bergen.

Komitèleder: Arne Auen Grimnes, Inst. for tekniske fag, NLH, Boks 5065, 1432 Ås
Telefon 6494 8700. Telefax 6494 8810.

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

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

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:
Stipendiat Leni Grant,
Nordlysobservatoriet,
Universitetet i Tromsø.
Professor Anne Grete Frodesen,
Fysisk institutt, Universitetet i Bergen.
Professor Erlend Østgaard,
Fysisk institutt, AVH,
Universitetet i Trondheim.

Selskapets sekretær:
Gerd Jarrett,
Fysikkavd., Institutt for energiteknikk,
Boks 40, 2007 Kjeller.
Tlf.: 63 80 60 75 Fax.: 63 81 09 20
Email: gerd@ife.no
Postgirokonto: 5 88 38 89.
Bankgirokonto: 5102.42.00012.

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:
Professor Øivin Holter,
Professor Finn Ingebretsen,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.
Redaksjonssekretær:
Overingeniør 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.: 22 85 64 28
Fax.: 22 85 56 71 / 22 85 64 22
Email:
oivin.holter@fys.uio.no
finn.ingebretsen@fys.uio.no
karl.maseide@fys.uio.no

Fra Fysikkens Verden utkommer fire ganger årlig. Abonnement kan tegnes direkte fra ekspedisjonen. Årsabonnement kr. 100,–. Studenter og skoleelever kr. 50,–. Løssalg kr. 30.– pr. nummer.

Postgirokonto: 0807 5 10 47 24
Bankgirokonto: 6094.05.40227