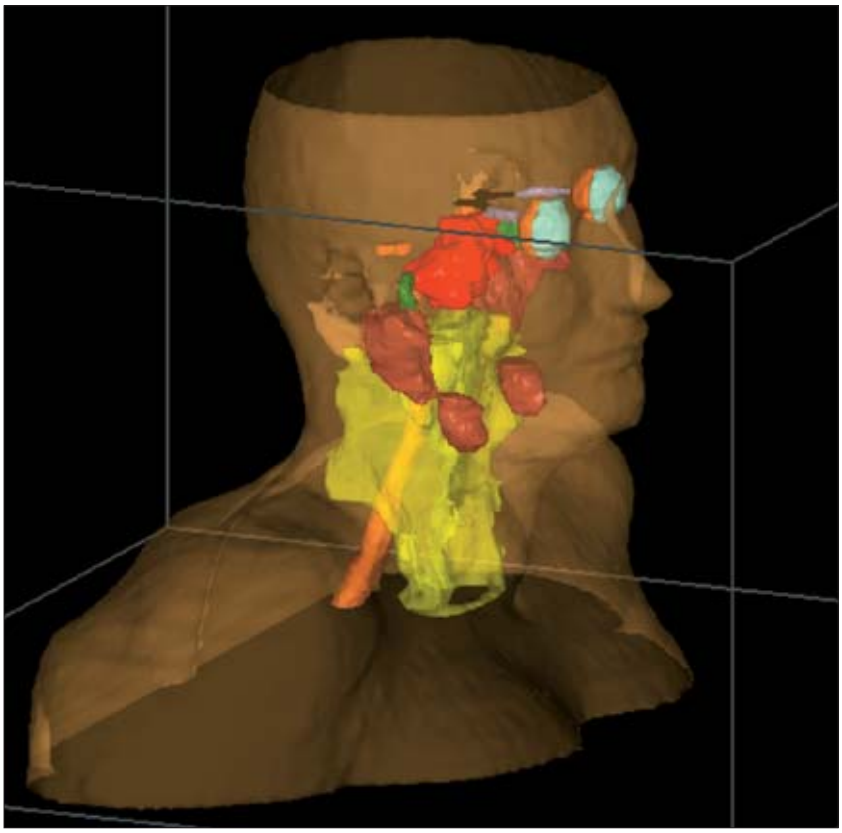
Fra Fysikkens Verden



3D-bilde av hode/hals-regionen for stråleterapi
(Se artikkel)

Nr. 4 – 2006
68. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Øystein Elgarøy:
Nobelprisen i fysikk 2006 86
Jan Folkvard Evensen:
Fysikk i kreftbehandling 89
H. F. Hansen og C. A. Andresen:
Hvilke nettverk tilhører du? 95
Fra Redaktørene 86
Hva skjer 99
Nytt nordlysobservatorium
Fysikk i skolen 101
Nye programfag i realfag
Konferanser 102
Wadahl-møtet 2006
Birkelandforelesningen 2006
Kommentarer 104
Relativitetsteorien og GPS
Kvitt eller dobbelt
Bokomtale 106
Hylleraas Bø: Gjetergutten
Nye Doktorer 108
Dr.scient. Ingelin Clausen
Dr.ing. Live Eikenes
Dr.scient. Erlend Randeberg
Dr.scient. Håkon Sagberg
PhD. Bjørn Hallvard Samset
PhD. Atle Svandal
Dr.scient. Lina Lutnes Uri
PhD. Bjørn Thomas Vik
Trim i FFV 112
Kommentar til Cavoritt-problemet
Julenøtt: Broene i Königsberg
FFVT 4/06
Løsning FFVT 3/06
Nytt fra NFS 114
Fysikermøtet 2007
Priser til utdeling på Fysikermøtet
Nye medlemmer

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

Den store danske forfatter H.C. Andersen har i eventyrets form beskrevet mange forunderlige sider ved menneskelig adferd. Vi vet det ikke, men det er nærliggende å tro at han også hadde en bevisst misjon med sine fortellinger. Vi har alle lest dem, og selv i dag, 201 år etter hans fødsel, morer vi oss over hans velformulerte og elegante treffsikkerhet.

Under en rutinemessig kjøring av reaktoren JEEP II ved Institutt for energiteknikk den 9. september, valgte operatøren å stanse reaktoren fordi strålenivået i et område var noe høyere enn normalt. Hendelsen ble straks en medieperle av dimensjoner; den ble en gjenganger i nyheter i radio og TV, og fylte avisene med skrekkreportasjer i flere dager og i økende omfang. Vi leste intervjuer med skremte naboer som til og med hadde assosiasjoner om Tsjernobyl-ulykken, assosiasjoner som i alle fall ikke var inspirert fra ansvarlig faglig hold.

Det viste seg ganske snart at hendelsen var en bagatell, og kunne i utgangspunktet heller ikke være noe annet. Men skaden var allerede skjedd; igjen hadde media konkurrert om å bli størst i elendighetsbeskrivelse.

Nå har den offisielle rapporten om hendelsen i lang tid vært tilgjengelig for alle, reaktoren er forlengst startet opp igjen, miljøets forskere får igjen fortsette det viktige arbeid de utfører, og radioaktive isotoper, blant annet til medisinsk bruk, blir igjen produsert.

Vi har uten hell lett etter et dementi av medieflausen. Det kan ha kommet, men mediedementier er alltid godt gjemt. For oss ser det ut til at media har et ønske om at forstillingen om fem døde høns skal være ettersmaken – en enkel uskyldig fjær er for lite.

∞

Nobelprisen i fysikk 2006

Øystein Elgarøy *

Nobelprisen i fysikk 2006 er tildelt de amerikanske astrofysikerne John C. Mather og George F. Smoot for deres oppdagelse av sort legeme-formen av den kosmiske mikrobølgebakgrunnsstrålingen og anisotropien i den.[1] Oppdagelsene ble gjort med instrumenter ombord i NASAs COBEsatellitt som ble skutt opp i 1989. Resultatene fra denne satellitten markerte begynnelsen på en ny æra i kosmologien.

Den kosmiske bakgrunnsstrålingen (CMB) ble oppdaget i 1965 av Arno Penzias og Robert Wilson (nobelprisvinnere i 1978), men den var blitt teoretisk forutsagt som en naturlig og nødvendig konsekvens av Big Bang-modellen allerede i 1948 av

Figur 1. John C. Mather og George F. Smoot

Ralph Alpher og Robert Herman. Den kosmiske bakgrunnstrålingen består av fotoner som ble produsert i termisk likevekt i løpet av det første min-

*Institutt for teoretisk astrofysikk, Universitetet i Oslo

uttet av universets historie. Fram til universet var omtrent 400 000 år gammelt og temperaturen var sunket til 3000 grader, var elektroner og protoner frie, og fotonene kunne ikke bevege seg fritt over store avstander. Men da temperaturen sank under 3000 grader ble det dannet stabile, nøytrale atomer. Fotonene sluttet å vekselvirke med materien og kunne bevege seg fritt over store avstander. Det er fotonene fra denne epoken vi ser i dag som kosmisk bakgrunnsstråling.

Årets prisvinnere

John C. Mather, født 1946, er ansatt ved NASA Goddard Space Flight Center i Maryland. Der er han for tiden Senior Project Scientist for James Webb-romteleskopet. *George F. Smoot*, født 1945, er professor i fysikk ved University of California, Berkeley. Han deltar for tiden blant annet i arbeidet med ESAs Planck-satellitt.

COBE-satelliten

I årene etter oppdagelsen av CMB ble studiet av denne en viktig del av kosmologien. Det var blant annet viktig å måle intensiteten til strålingen ved ulike bølgelengder for å teste om strålingen hadde sort legeme-fordelingen som Big Bang-modellen forutsier at den skal ha. Selv om slike observasjoner er mulige å gjøre fra bakken, så er de langt ifra enkle siden det er et svært svakt signal man ser etter. Etter hvert begynte man å sende instrumenter opp med luftballonger for å komme vekk fra forstyrrende atmosfæriske effekter. Det ideelle ville være å sende et instrument ut i rommet, i bane rundt jorda. Da NASA i 1974 ba om å få forslag til eksperimenter som kunne sendes opp i rommet, sendte John Mather og George Smoot inn hvert sitt forslag til instrumenter for å måle egenskapene til den kosmiske bakgrunnsstrålingen. Deres forslag ble av NASA slått sammen med et tredje instrument, og prosjektet fikk navnet *Cosmic Background Explorer* (COBE). Mather ble prosjektleder samt vitenskapelig leder for instrument han foreslo, *Far Infrared Radio Spectrometer* (FIRAS). Smoot ble vitenskapelig leder for instrumentet *Differential Microwave Radiometer* (DMR).

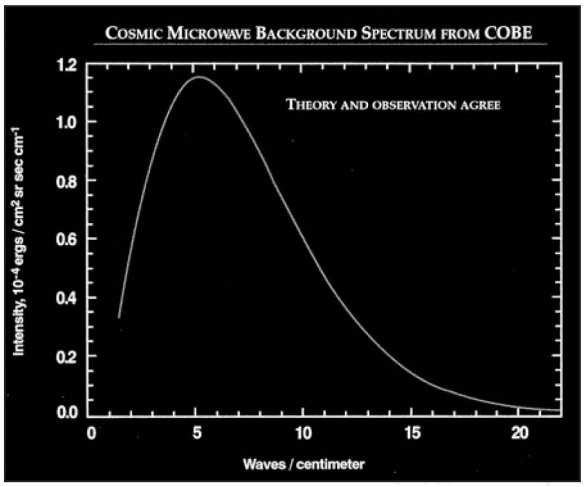
Da COBE-satellitten ble skutt opp av NASA i 1989 var det gått femten år siden arbeidet med den ble satt i gang. Den opprinnelige planen til NASA var at COBE skulle sendes opp i bane med romfergen, men den tragiske ulykken med romfergen Challenger i 1986, satte en stopper for dette. Lenge så det mørkt ut for COBE, men takket være en heroisk innsats som blant annet involverte en omfattende redesign av instrumentene for å redusere vekten nok til at den kunne skytes opp med en Delta-rakett, kom COBE til slutt opp i bane rundt jorda. Mather og Smoot har skrevet hver sin bok om COBEs vei fra tegnebordet til verdensrommet,[2,3] sistnevntes bok er sågar oversatt til norsk.

Resultatene

De første resultatene fra COBE kom fra FIRAS-instrumentet. Dette instrumentet målte frekvensspekteret til den kosmiske bakgrunnsstrålingen. Dersom Big Bang-modellen er riktig, skal bakgrunnsstrålingen følge planckfordelingen. De fleste observasjoner før COBE var konsistente med denne forutsigelsen, men hadde bare følsomhet til å oppdage relativt store avvik fra sort legeme-stråling. Noen år før COBE hadde imidlertid det såkalte Berkeley-Nagoya-eksperimentet sett et avvik i spekteret, noe som utløste bekymring blant teoretikere og mange kreative forsøk på å finne prosesser som kunne sprøyte ekstra energi inn i bakgrunnsstrålingen.

De første FIRAS-resultatene ble presentert av John Mather på et møte i American Astronomical Society den 13. januar 1990, og utløste spontan applaus. Berkeley-Nagoya resultatene var gale; den kosmiske bakgrunnsstrålingen hadde et perfekt sort legeme-spektrum, svarende til en temperatur på 2,726 K! Selv om de fleste kosmologer nok ville ha veddet ganske mye på at FIRAS kom til å se et sort legemespektrum, var det få som hadde forventet en så overveldende overensstemmelse mellom teori og observasjoner som resultatene i figur 2 viser.

Den kosmiske bakgrunnsstrålingen har en temperatur som med høy presisjon er den samme uansett hvilken retning man observerer den i. Men man ble tidlig klar over at en temperatur som var fullstendig jevn over hele himmelen ville være vanskelig å forene med fordelingen av materie i universet. Universet er klumpete: Materien samler seg i galakser, galaksehoper og enda større strukturer. Standardteorien for hvordan disse strukturene er blitt dannet, sier at små ujevnheter i det tidlige univers har vokst seg større ved hjelp av tyngekraften. Spesielt må det ha vært tetthetsfluktuasjoner til stede da den kosmiske bakgrunnsstrålingen ble sluppet fri. En effekt som da vil oppstå er at stråling som kom-

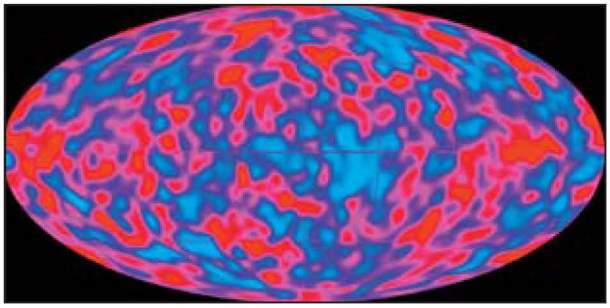


Figur 2. FIRAS-resultatene for spekteret til bakgrunnsstrålingen. Tykkelsen til den teoretiske kurven er større enn usikkerheten i målepunktene! (NASA/COBE Science Team).

mer fra steder der tettheten er høyere enn gjennomsnittet vil ha en lavere temperatur, fordi strålingen på veien til oss må "klatre" ut av en dypere gravitasjonell potensialbrønn, og dermed mister den mer energi enn stråling fra områder der tettheten er lavere enn gjennomsnittet. Dette er ett av flere bidrag til de såkalte anisotropiene i den kosmiske bakgrunnsstrålingen.[4] Det største bidraget, som ble oppdaget før COBE, er den såkalte *dipolanisotropien.* Denne effekten er av størrelsesorden en promille, og skyldes at vår galakse beveger seg i forhold til bakgrunnsstrålingen. Dopplereffekten fører da til at vi ser en høyere temperatur i bevegelsesretningen enn i den motsatte retningen. Dette har ingen ting med forholdene ved epoken da den kosmiske bakgrunnsstrålingen ble sluppet fri å gjøre, og kan derfor ikke fortelle noe om tetthetsfluktuasjonene i universets barndom.

Den 23. april 1992, på årsmøtet til American Physical Society, kunne George Smoot vise fram det første kartet som viser temperaturvariasjonene til bakgrunnsstrålingen på himmelkula, se figur 3. Variasjonene er på noen hundredels promille, og de tilsvarende variasjonene i tettheten ved epoken da bakgrunnsstrålingen ble dannet er av samme størrelsesorden. Dette er imidlertid tilstrekkelig til at tyngdekraften over lang tid skal kunne lage strukturene vi ser rundt oss i universet. Mange trakk et lettelsens sukk da disse resultatene kom. Hadde ikke COBE sett noen tegn til anisotropier, ville det blitt svært vanskelig å forstå hvordan storskalastrukturene i universet er blitt dannet.

Hva var kilden til tetthetsvariasjonene som DMR-instrumentet så? Den vanligste oppfatningen



Figur 3. DMR-kartet over anisotropiene i den kosmiske bakgrunnsstrålingen (NASA/COBE Science Team)

i dag er at de startet som *kvantefluktuasjoner i den såkalte inflasjonsfasen*, en fase som vi tror fant sted da universet var bare 10^{-35} s gammelt, og da universet i løpet av forsvinnende kort tid utvidet seg eksponentielt. Kvantefluktuasjonene ble i løpet av denne perioden strukket til makroskopisk størrelse, og ble "såkorn" for tetthetsperturbasjoner. DMR-instrumentet hadde en vinkeloppløsning på 7°, og på disse skalaene hadde tyngdekraften ennå ikke rukket å påvirke tetthetsperturbasjonene nevneverdig siden inflasjonsfasen. Det finnes mange inflasjonsmodeller, men de gir ganske like forutsigelser for de statistiske egenskapene til tetthetsfluktuasjonene, og DMR-resultatene er konsistente med disse. Resultatene kan dermed ses på som de første indikasjonene på at vi, og alt det vi ser rundt oss, startet som kvantefluktuasjoner da universet var en forsvinnende brøkdel av et sekund gammelt. COBE ble innledningen på en ny æra i kosmologien. Kosmologer har i løpet av de siste ti årene fått observasjoner av en slik mengde og kvalitet at vi virkelig kan teste modellene våre. NASAs oppfølger til COBE, WMAP-satellitten, har spilt en viktig rolle. Og i 2008 skytes ESA-satellitten Planck opp. Denne satellitten vil kartlegge temperaturvariasjonene i bakgrunnsstrålingen med høy vinkeloppløsning og stor nøyaktighet. Kosmologigruppen ved Institutt for teoretisk astrofysikk ved Universitetet i Oslo, deltar i dette eksperimentet.

Referanser

1. http://nobelprize.org
2. George Smoot & Keay Davidson: *Rynker i tiden.* Aschehoug, Oslo (1994)
3. John C. Mather & John Boslough: *The very first light.* Basic Books, New York (1996)
4. Øyvind Grøn: *Temperaturfluktuasjoner I den kosmiske bakgrunnsstrålingen.* Fra Fysikkens Verden, **62,** nr. 2, 29–45 (2000)

∞

Fysikk i diagnostikk og behandling av kreft

Jan Folkvard Evensen *

Utviklingen innen medisinsk bildediagnostikk de siste 10-år har vært enorm; fra 2-dimensjonale bilder med kun anatomisk informasjon, til 3-dimensjonale bilder som i beste fall også avspeiler vevenes funksjon. Dette, sammen med utviklingen innen IT, har kommet spesielt kreftbehandling til gode ved at presisjonsnivået for stråleterapi har økt betraktelig. Ifølge Verdens Helseorganisasjon vil ca. 50 % av alle kreftpasienter ha behov for stråleterapi en eller annen gang i sykdomsforløpet. Stråleterapikapasiteten i Norge har lenge vært dårlig. I år er imidlertid målet for Norsk kreftplan av 1997 nådd: full landsdekning hva gjelder stråleterapi i helbredende så vel som i lindrende henseende.

Innledning

Alle flercellede organismer, i særdeleshet hvirveldyr, kan utvikle kreft. Evnen til å utvikle kreft er karakteristisk for celler som er i stand til reproduksjon og vekst (stamceller). Cellers vekst er nøye regulert av gener, gener som fremmer (onkogener) og gener som hemmer vekst (tumor-supressorgener). Svulstdannelse og progresjon kan sees på som en darwinistisk seleksjon av celler som overlever og akkumulerer. Denne seleksjon resulterer i en trinnvis nedregulering av tumor-supressorgener og oppregulering av onkogener.

Det finnes mer enn 100 forskjellige kreftsykdommer. I Norge rammes flere enn 20 000 personer av kreft hvert år, og forekomsten er jevnt økende, ikke minst pga. den økende eldreandel i befolkningen. Aktuelle behandlingsmetoder er kirurgi, stråleterapi og cellegift. Ofte anvendes to eller flere metoder i kombinasjon. For leger som behandler kreft (kirurger/onkologer) er det viktig å kjenne kreftsykdommenes naturlige forløp. Kreftdiagnosen hviler først og fremst på en vevsprøve; den forteller hvilket organ som er utgangspunkt for kreftsykdommen, eventuelt hvor aggressiv sykdommen er. Dernest er det viktig å vite hvor langt sykdommen har fått utvikle seg. For dette brukes forskjellige kreftspesifikke klassifikasjonssystemer. Mest kjent er det såkalte TNM system. T står for "tumor" og angir hvor stor modersvulsten er, evt. i hvilken grad den infiltrerer i naboorganer. N står for "node" og angir i hvilken grad modersvulsten har spredt seg til nærliggende lymfeknuter. M står for "metastasis" og angir i hvilken grad modersvulsten har spredt seg med blod til fjerntliggende organer. TNM-systemet gir oss prognostisk informasjon og veileder oss i valg av behandlingsmetode. Det muliggjør også sammenlikning av behandlingsresultater imellom institusjoner nasjonalt og internasjonalt.

I det følgende vil det bli gitt en oversikt over nyere diagnostiske prinsipper og deres fysikk: CT, MRI og PET. Videre omtales nyvinninger innen stråleterapi.

CT (Computer Tomografi)

Med tomografi (også kalt planigrafi) forstås "snitt fotografering" av kroppen. Metoden ble innført i 1930 årene. Ved å bevege røntgenrøret og filmen på en spesiell måte, hhv. over og under pasienten, ble bare et bestemt sjikt avfotografert skarpt; strukturene foran og bak ble visket ut.

Ved CT går røntgenstrålen bare gjennom det sjikt som skal undersøkes. Røntgenrøret og en diametralt motsatt plassert detektor roterer synkront 180° rundt pasienten. Røntgenstrålen kan være fokusert eller vifteformet, detektoren eventuelt sirkulær og stasjonær.[1] Attenuasjonen

*Kreftklinikken, Rikshospitalet–Radiumhospitalet

av røntgenstrålen måles langs en mengde rette linjer, L, som alle treffer pasienten i forskjellige vinkler. Attenuasjonsverdiene lagres i en computer.

Gitt organet O. I punktet p har O tettheten $f(p)$. Ved å måle attenuasjonen langs en rett linje, L, får man et anslag på integralet

$$f(L) = \int_L f(s)ds$$

Problemet er å gjenfinne $f(p)$ når $f(L)$ er kjent for mange nok linjer, L. I 1979 fikk A.M. Cormack og G.N. Hounsfield Nobelprisen i medisin for uavhengig av hverandre å ha løst dette problemet, uvitende om at løsningen var funnet i en annen sammenheng av J. Radon i 1917.

Det endelige antall attenuasjonsverdier som korresponderer med det scannede objekt, $f(p)$, organiseres i matriseform. Tallene konverteres til en gråskala som er grunnlaget for bildedannelsen. Bildematrisens størrelse (antall pixel) bestemmer bildeoppløsningen.

Attenuasjonskoeffisienten er et kvantitativt utrykk for hva som absorberes av røntgenstrålen. CT-tettheten er direkte proporsjonal med denne. CT-apparatet kalibreres slik at CT-tettheten av vann settes lik 0, og tettheten av luft settes til -1000 Hounsfield Units (HU), definert ved at 1 HU $= ((\mu_{vev} - \mu_{vann})/\mu_{vann}) \cdot 1000$, hvor μ er den lineære attenuasjonskoeffisienten. På en slik skala vil for eksempel kompakt ben ha verdi > 250 HU, muskel 45 HU og fett -65 HU.

Hounsfieldskalaen går fra -1000 til $+1000$ HU. Det er umulig for det menneskelige øye å skille gråtoner på en så fin skala. For å øke kontrasten mellom små tetthetsforskjeller har man innført et såkalt "vindu". Dette gjør det mulig å "utvide" gråskalaen (vindusbredden) iht. en vilkårlig satt tetthetsintervall (25 til 1000 HU). Attenuasjonsverdier høyere enn øvre grense blir hvite på bildet og lavere verdier blir sorte. Et smalt "vindu" gir høy kontrast. "Vindusnivået", midtpunktet i tetthetsintervallet, bestemmer hvilke attenuasjonsverdier, og dermed hvilke organer, som blir middels grå.

HU er basert på røntgenstrålens attenuasjon i vev og er således en funksjon av elektrontettheten. Ved å konvertere HU til elektrontetthet er det mulig å beregne stråledose, også for høyenergetisk stråling. CT-undersøkelse står derfor sentralt i arbeidet med å planlegge strålebehandling.

MRI (Magnetic Resonance Imaging)

MRI er basert på at atomkjerner med spinn og ladning har et magnetisk moment. Som for andre variable i mikrokosmos er kjernespinnet kvantisert, dvs. komponenten av kjernespinnet i en gitt retning kan bare anta et visst antall diskrete verdier. Det samme gjelder for det magnetiske momentet. Protonet spesielt kan innta 2 retninger i forhold til et ytre magnetfeltet, parallelt eller antiparallelt. Disse to tilstander er assosiert med forskjellig energi hvis differanse er avhengig av feltstyrken på det pålagte magnetfeltet. Uten et ytre magnetfelt er protonenes spinntilstander degenerert, dvs. sammenfallende. Klassisk sett er protonene tilfeldig orientert, og resultanten av de magnetiske moment er null. Straks man legger på et magnetfelt vil fordelingen mellom de to energinivåer følge boltzmanstatistikk: $N_{antiparallell}/N_{parallell} = exp(-\Delta E/kT) =$ 1 ppm for $B = 0,1$ Tesla og $T = 300$ K. Dette vil si at dersom det er 1 million antiparallelle protoner, så vil det være en million og ett parallelle protoner.

I nærvær av et ytre magnetfelt vil de enkelte protoners magnetiske moment presesere rundt feltretningen, dette fordi protonets magnetiske moment ikke er helt parallelt/antiparallelt, men danner en viss vinkel med magnetfeltet. Presesjonsfrekvensen er gitt ved larmorlikningen $f = \gamma B_0$. f kalles larmorfrekvensen og γ det gyromagnetiske forhold, og er spesifikt for hver kjernetype; for protonet er det 42,58 MHz/Tesla. B_0 er feltstyrken. Et ensemble av preseserende protoner vil være ute av fase med det til følge at det samlede magnetiske moment (resultanten) vil være parallell med magnetfeltet. Det er nettopp denne nettomagnetismen som er grunnlaget for MRI. Selv om populasjonsforskjellen er meget beskjeden (1 ppm, se ovenfor) vil det pga. det meget store antall protoner i biologisk materiale (vann og fett) være mulig å registrere resultanten.

For at resultanten skal kunne registreres må den bringes ut av likevekt. Det gjøres ved hjelp av et RF-felt perpendikulært på feltretningen B_0 med frekvens lik larmorfrekvensen. Kvantemekanisk kan det beskrives som om vi "pumper" protoner fra det lave energinivå (parallelle) til det høye (antiparallelle); klassisk tippes resultanten vekk fra utgangsposisjonen. RF-feltet kan dekomponeres i to sirkulært polariserte felter som roterer i hver sin retning. Komponenten som roterer i samme retning som protonene preseserer, vil bringe disse i fase (koherens) under forutsetning av at de roterer

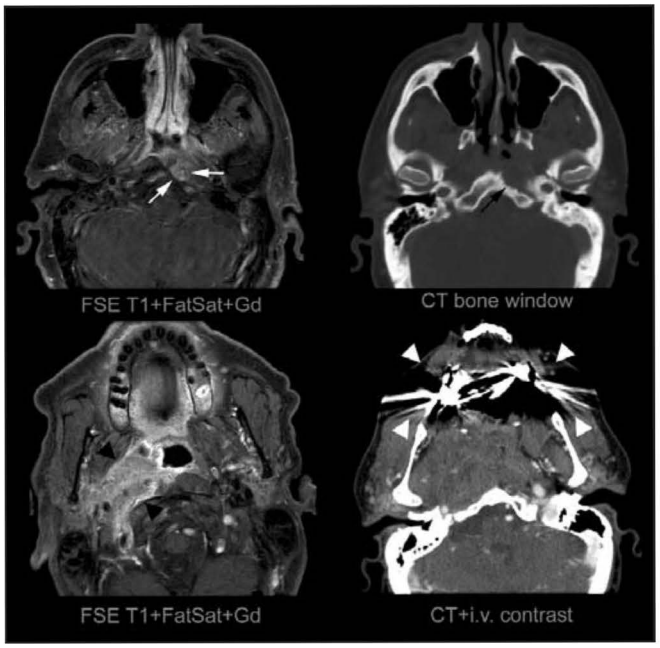
synkront (resonans), altså med larmorfrekvensen. For $B_0 = 1$ Tesla er protonets larmorfrekvens 42,58 MHz, en frekvens som svarer til FM-båndet på radioen. Kvantemekanisk, ved resonans "matcher" RF-feltets energi differansen mellom det høye og det lave energinivå, og er gitt ved $h \cdot f_0 = 2,8 \cdot 10^{-26}$ J.

Straks RF-feltet opphører så vil det eksiterte system deeksitere til grunntilstanden (relaksasjon). Ved dette vender resultanten tilbake til utgangsposisjonen (spin lattice relaksasjon) og protonpresesjonen bringes ut av fase (spin-spin relaksasjon). Hastigheten hvormed dette skjer karakteriseres ved relaksasjonstidene T1 og T2. Nettopp her ligger grunnlaget for kontrast. Forskjellige bløtvev og sykelige tilstander har forskjellige relaksasjonstider. Ved å variere RF-pulsenes lengde og form kan man aksentuere disse forskjeller avhengig av hva man ønsker å undersøke.

Relaksasjonsprosessen genererer et utgående RF-signal som fanges opp i spoler som ligger nær pasienten. I motsetning til CT hvor organismens elektroner passivt demper røntgenstrålenes intensitet, genererer organismen selv signalene som danner grunnlaget for bildedannelsen ved MRI, nærmest som et ekko fra kroppens indre. Mens CT avspeiler elektrontetthet, avspeiler MRI protontetthet og relaksasjonstider. Begge gir anatomisk informasjon som er viktig for planlegging av stråleterapi.

Ved å gjøre magnetfeltet posisjonsavhengig er det mulig å lokalisere utgående RF-signals origo. Protonene påvirkes kun av RF-pulser med larmorfrekvensen $f_0 = \gamma \cdot B_0$. Ved å overlagre et lineært variabelt magnetfelt B_1 (magnetgradient) vil resonansbetingelsen $f = \gamma \cdot (B_0 + B_1)$ bli posisjonsavhengig. Slike gradienter genereres i alle rommets 3 retninger. Gradientfeltet er mye svakere enn hovedfeltet og varierer kun med 20 mTesla fra pasientens isse til fot. Dette er nok til at man kan skille mellom larmorfrekvensen på protoner som ligger kun noen få millimeter fra hverandre. I nærvær av en gradient er altså det utgående RF-signal frekvensmodulert, som ved larmorlikningen konverteres til stedlig informasjon. Tilsvarende kan man ved hjelp av gradienter fasemodulere utgående RF-signal, som ved fourieranalyse også konverteres til stedlig informasjon. Figur 1 viser eksempler på MRI og CT med deres styrke og svakhet.

Magnetisk resonans var i utgangspunktet en metode benyttet til spektroskopi av kjemiske forbindelser. Biokjemiske forbindelser lar seg nå studere *in vivo*. Til dette trengs magnettomografer



Figur 1. Øverst: MRI og CT av hode med svulst til venstre i øvre del av svelget, bak nesehulen (nesesvelg). Bløtvevskontrasten er best på MRI. Dette skyldes at man har flere variable og spille på enn i CT. Infiltrasjon i ben sees imidlertid bare på CT (jfr. piler), idet benvev ikke avbildes på MRI (lavt vanninnhold). MRI og CT er tatt hhv. med og uten kontrastmiddel, som for MRI er gadolinium (påvirker "spinlattice" relaksasjon). Nederst: MRI og CT av hode med svulst til høyre i midterste del av svelget, bak munnhulen (munnsvelg). Igjen sees overlegen bløtvevskontrast på MRI. CT skjemmes av artefakter som følge av amalgamfyllinger (jfr. piler). Artefaktenes vifteform skyldes strålegangen (se tekst) og kan gi problemer under planlegging av strålebehandling. Begge undersøkelsene er tatt med kontrastmiddel som for CT inneholder jod.

med feltstyrke 1,5 tesla eller høyere. Dette kalles *in vivo magnetisk resonansspektroskopi* og kan bl.a. benyttes til å studere energiomsetning i vev, og til *in vivo* pH- målinger. Så langt har dette mest kommet til anvendelse ved karakterisering av sykelige prosesser i hjernen (svulster og infarkter).

I kjølvannet av MR-teknologien ligger to Nobelpriser i fysikk (I.I. Rabi (1944); F. Bloch og E.M. Purcell (1952)), og en i medisin (P. Lauterbur og P. Mansfield (2003)).[2,3]

PET (Positron Emisjons–Tomografi)

Den sentrale aktør i PET er elektronets antipartikkel, positronet (forutsagt av P.A.M. Dirac i 1928, påvist av C. Anderson i 1932. De fikk Nobelprisen i fysikk i hhv. 1933 og 1936). Metoden er

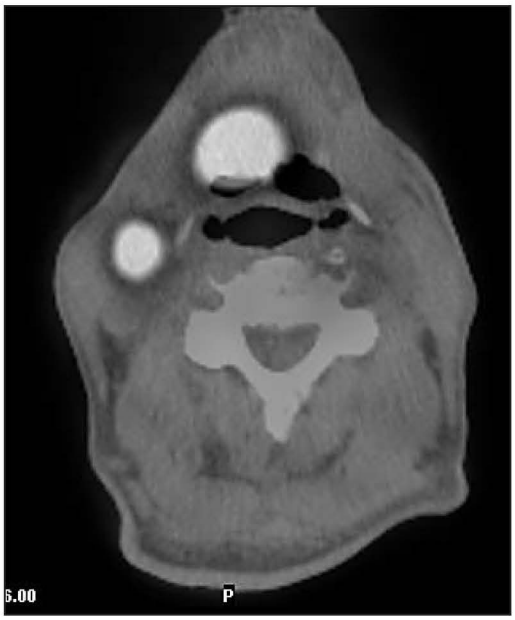
basert på at man injiserer en metabolitt (stoff som inngår i metabolismen/stoffskiftet) merket med en isotop som henfaller ved utsendelse av et positron. Positronet har kort levetid idet det annihilerer med et elektron under utsendelse av to antiparallelle fotoner, hver med energi 511 keV (elektronets hvileenergi). Fotonene registreres ved samtidighet (innen nanosekunder) i en ring av scintillasjonstellere som omslutter pasienten. Isotopen vil altså ligge på den rette linje mellom 2 aktiverte scintillasjonstellere. Ved å registrere ti-tusener av samtidige hendelser er det mulig å kartlegge radioaktivitetens, og derved metabolittens, lokalisasjon.

Ved PET anvendes nøytronfattige positronemiterende isotoper, og de mest aktuelle er ^{11}C, ^{13}N, ^{15}O og ^{18}F. Disse dannes ved proton/deuteron bombardement av hhv. ^{14}N, ^{16}O, ^{14}N og ^{20}Ne. De aktiverte nuklider har en meget kort halveringstid (2 til 110 min) og må underkastes kjemiske reaksjoner før de er medisinsk anvendbare. Dette må foregå i løpet av 2 til 3 halveringstider. I praksis vil det si at de aktive nuklider må dannes umiddelbart før bruk, helst på stedet. Dette gjøres ved hjelp av syklotronderiverte protoner og deuteroner. Syklotronen inngår derfor som en nødvendig del av et PET laboratorium. Inntil nylig har man ved Radiumhospitalet benyttet seg av syklotronen på Fysisk institutt, UiO, Blindern (nå Senter for Akseleratorbasert Forskning og Energifysikk (SAFE)). Den 24. oktober 2006 var det imidlertid offisiell åpning av det nye PET-senteret ved Rikshospitalet-Radiumhospitalet HF, som er utstyrt med egen syklotron.

I kreftsammenheng brukes oftest glucoseanalogen ^{18}F fluoro-2-deoksiglucose (FDG). Denne taes opp i hjerne, lever og de fleste kreftsvulster, og forblir intracellulært. Den kan brukes til diagnostisering, stadieklassifisering og monitorering av behandling.

^{18}F kan også brukes til å merke misonidazol (FMISO). Dette er et medikament som konsentreres i områder av svulsten som er i underskudd på oksygen. I fravær av oksygen er celler tre ganger mer stråleresistente. FMISO PET kan tenkes å brukes til å kartlegge områder i svulsten som trenger høyere stråledose (se nedenfor).

Sammenliknet med CT har PET dårlig anatomisk bildeoppløsning. En moderne PET-scanner er derfor integrert med en CT slik at det samtidige anatomiske bildet fra CT kan brukes til å lokalisere PET-funnet, se figur 2.



Figur 2. PET CT av munnhule/hals som viser svulst til høyre i tungeroten med spredning til en lymfeknute på samme side av halsen. Svulstene lyser opp fordi de inneholder radioaktivt merket glucose (sukker), dette fordi svulstene har et høyere stoffskifte enn normalvevet omkring.

Stråleterapi

Stråling er transport av energi i form av elektromagnetiske bølger eller ladete/uladete partikler. Stråleterapi står sentralt i behandlingen hos hele 40 % av de som helbredes for kreft. Strålingen virker ved å lage enkelt eller dobbelt trådbrudd i DNA. Dersom to enkeltbrudd ligger tilstrekkelig nær hverandre kan det resultere i et dobbeltbrudd som vi antar er årsaken til opphør av cellevekst.

Mindre enn ett år etter Røntgens oppdagelse ble strålene anvendt i behandling. Det gikk rimeligvis galt; man hadde ikke begrep om verken doser eller fraksjonering (måten man deler opp totaldosen i mindre enheter over tid på). Frem til at man greidde å etablere cellelinjer i kultur (1956) og pode svulster på forsøksdyr (1959), var det meste av vår viten innen stråleterapi basert på erfaring. Etter nevnte milepæler står vi imidlertid på noe tryggere grunn idet det er utviklet matematiske modeller for strålingens biologiske virkning.

Ulempen med røntgenstråler var at dosemaksimum lå/ligger i hudnivå. Huden ble således en begrensende faktor for hvor høy dose man kunne gi. Huden ble faktisk brukt som et primitivt dosimeter; "erythemdosen" var den dose som gjorde huden rød. Strålingens effekt bæres av sekundærelek-

troner, elektroner som frigjøres ved prosesser som fotoelektrisk effekt, comptonspredning og pardannelse. Jo høyere stråleenergi, jo mer fremadrettet blir de løsrevne elektronene. Elektronene avsetter sin energi i god avstand fra der de dannes. På den måten bygger dosen seg lagvis opp innover i kroppen, og dosemaksimum forskyves tilsvarende. For 4–15 MV bremsestråling ligger dosemaksimum i området 1–3 cm, og huden er ikke lenger dosebegrensende. Slik høyenergetisk stråling lar seg imidlertid ikke generere i et røntgenrør, kun i dertil egnede akseleratorer.

Nordmannen Rolf Widerøe sto sentralt i utvikling av akseleratorer. Således nedfelte han prinsippet for betatronen allerede i 1923. Widerøe oppdaget også prinsippet for resonant akselerasjon og bygget på dette prinsippet den første fungerende lineærakseleratoren. I dag er lineærakseleratoren "arbeidshesten" i en stråleterapiavdeling og leverer elektron- så vel som elektromagnetisk stråling. Den er isosentrisk montert, dvs. uansett hvordan den er orientert i forhold behandlingsbordet så går sentralstrålen gjennom et fast punkt i rommet, isosenter. Svulsten som skal behandles ligger vanligvis i isosenter.

Sentralt i stråleterapi står dybdedosekurven. Etter at den elektromagnetiske strålingen har nådd sitt dosemaksimum svekkes strålingen jevnt som følge av spredning, absorpsjon og inverskvadratloven. Mens elektromagnetisk stråling vekselvirker med elektroner ved ovennevnte prosesser, så vekselvirker ladete partikler via sitt coulombfelt. Energiavsetningen er proporsjonal med kvadratet av partiklenes ladning og omvendt proporsjonal med kvadratet av hastigheten. Dette gir et helt annet dybdedoseforløp; dosen er relativt konstant inn til den øker kraftig når partiklene bremses ned og til slutt stopper opp. Dette resulterer i den karakteristiske "Bragg peak".

Av hadroner er særlig protoner aktuelle i terapi sammenheng. Siden Bragg-peaken er relativt smal, av størrelsesorden millimeter, må protonstrålen moduleres. Bragg-peakens bredde kan økes ved å plassere et absorberende materiale med varierende tykkelse mellom kilde og målvolum. Protoner kan genereres i lineærakseleratorer, syklotroner og synkrotroner. I den senere tid er akseleratorer med mulighet for isosentrisk bestråling blitt kommersielt tilgjengelige. Prisen er imidlertid høy, det koster flere hundre millioner kroner å etablere en enhet med tilhørende utstyr og bygningsmasse. Akselerasjon ved hjelp av laser kan eventuelt bli et billigere alternativ, men det ligger minst 10 år frem i tid.

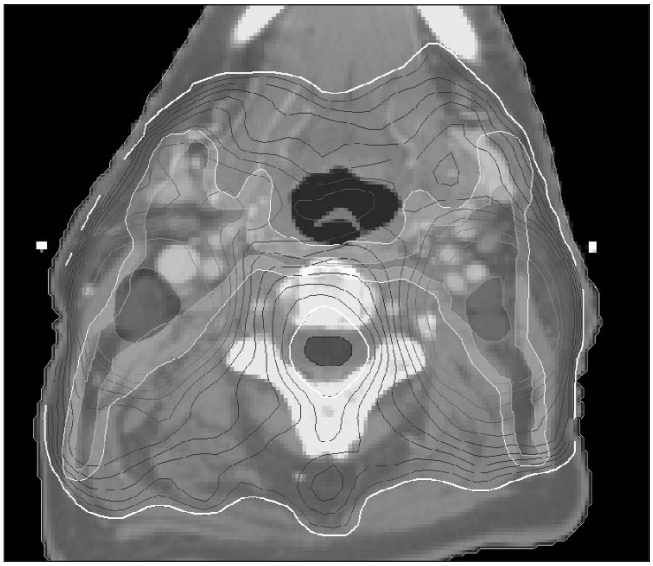
Elektroner vekselvirker i prinsippet som tyngre ladete partikler. Siden massen er liten er imidlertid spredningen større; Bragg-peaken observeres derfor ikke. Elektronstrålen svekkes brått i en dybde som i centimeter svarer til ca. 1/4 av energien i MeV (5 cm for 20 MeV). Dette er fordelaktig for svulster som ligger i området mellom hud og 5 cm dybde. Felles for protoner og elektroner er at energiavsetningen opphører i en viss dybde. Derved vil bakenforliggende strukturer ikke strålebelastes.

I stråleterapi er kravene til presisjon høye. Dose variasjonen over målvolumet bør ikke være større enn +/- 5 %, med et bratt fall mot omkringliggende og ofte stråleføIsomme organer, som for eksempel i hode-/halsregionen. Tidligere oppnådde man dette ved å bruke flere åpne felt som ble formet ved hjelp av blokker, kiler og filtre. I dag er lineærakseleratorene utstyrt med såkalte bladkollimatorer. Dette er blylameller med tykkelse 0,5 til 1,0 cm som slutter tett sammen og som hver enkelt styres av en motor ut og inn i det åpne feltet fra begge sider. Ved å beveges i rom og tid erstatter disse både blokker, kiler og filtre. Dette muliggjør forming av felt og variasjon av fluens (antall fotoner per arealenhet) på tvers av stråleretningen (Intensity Modulated Radio Therapy (IMRT)).

IMRT er uløselig knyttet til invers doseplanlegning, men ikke synonymt med den. Ved invers doseplanlegning tar man utgangspunkt i en ønsket dosefordeling og regner seg tilbake til hvilke moduleringer av strålebuntene som gir denne. Ideelt ønsker man seg en uniform dosefordeling over målvolumet og ingen stråling på kritiske organer. I praksis er dette umulig å oppnå; det blir ofte et kompromiss mellom det mulige og det ønskelige. Etter å ha tegnet inn målvolum og kritiske organer på CT-bilder, legges føringer for hvor lav/høy dose man kan tolerere til hhv. målvolum og kritiske organer. Med utgangspunkt i et odde antall (5, 7 eller 9) koplanare (i samme plan) felt regner computeren seg frem til en løsning som evalueres med en kostfunksjon. En ren fysisk kostfunksjon kan for eksempel være $K = \Sigma I(x,y,z)[\mathbf{D}(x,y,z) - \mathbf{D}^p(x,y,z)]^2$, hvor I er den vekt man tillegger hvert romelement spesifisert ved (x,y,z) (for eksempel målvolum versus kritisk organ), $\mathbf{D}^p$ og $\mathbf{D}$ er hhv. foreskreven og beregnet dosefordeling. Beregningen itereres, hele tiden i retning av lavere kostfunksjon, ideelt til et absolutt minimum. Den endelige plan overføres til lineærakseleratoren hvor den effektueres ved hjelp

av ovennevnte bladkollimatorer. IMRT muliggjør konkav dosefordeling rundt risikoorganer (figur 3).

Det er ingen lineær korrelasjon mellom fysisk dose og biologisk effekt. Det finnes biologiske kostfunksjoner som forsøker å relatere fysisk dose til biologisk effekt, men disse må foreløpig ansees som eksperimentelle og er ikke i rutinemessig bruk.



Figur 3. Doseplan som demonstrerer konkav dosefordeling omkring et risikoorgan (ryggmarg). Stråleskade i ryggmarg kan i verste fall føre til lammelse hvis omfang er avhengig av skadens nivå. Jo høyere oppe skaden sitter, jo verre utfall. Modersvulsten vises ikke, derimot spredningssvulst på begge sider av halsen. Disse ønskes bestrålt. Linjene representerer isodoser som er analoge til koter i et kart. Der hvor isodosene ligger tett er dosefallet bratt, og vis versa. Bildet viser jevn dose over det som ønskes bestrålt med bratt dosefall mot et risikoorgan.

Som man vil forstå er valg av endelig dosefordeling vanskelig. Spissformulert kan en si: Skal pasienten bli frisk og blind, eller skal han dø med synet i behold? Denne problemstillingen er svært utfordrende for lege så vel som for pasient. Fra legens side kreves erfaring og evne til kommunikasjon. Pasienten må være informert om mulige utfall av behandlingen for å kunne være med i beslutningsprosessen.

Svulster er svært heterogene hva gjelder celletetthet, hypoksi (lavt surstoffinnhold) og vekst-hastighet. Det er derfor slett ikke sikkert at en uniform dose over målvolumet er det optimale, snarere kan det tenkes at dosen bør variere iht. ovenfor nevnte variable. I den grad det finnes metoder til å avdekke disse kan dette tenkes å bli aktuelt ("dose painting"). Her er vi imidlertid helt i front, det gjenstår mange problemer å løse.

Man skulle kanskje tro at alle nyvinningene har redusert behovet for leger, fysikere og radiografer, men så er langt fra tilfelle. Faktisk er det slik at mangel på kompetent personale er til hinder for anvendelse og videre utvikling av nevnte metoder. Her er det mange spennende oppgaver og ta fatt på for realister i samarbeid med medisinere.[4–7]

Illustrasjonene er laget i samarbeid med Knut Håkon Hole, Trond Velde Bogsrud og Torbjørn Furre. Jeg vil ellers takke Dag Rune Olsen for gjennomlesning av manuskript og konstruktive forslag.

Litteratur

1. E.K. Henriksen: *Fra Crookes rør til computertomografi – Røntgendiagnostikk før og nå.* Fra Fysikkens Verden, **57,** 99–104 (1995)
2. T. Henriksen: *Nobelprisen i medisin 2003.* Fra Fysikkens Verden, **65,** 102–105 (2003)
3. E.O. Hole: *Strålingsdosimetri med ESR spektroskopi.* Fra Fysikkens Verden, **60,** 52–57 (1998)
4. J. Baarli: *Fra strålebiologiens historie.* Fra Fysikkens Verden, **57,** 104–109 (1995)
5. S. Webb: *The physics of radiation treatment.* Physics World, **11,** No 11, 3943 (1998)
6. Internett: *http://physicsweb.org/ articles/world/12/9/10/1*
7. Internett: *http://medicalphysicsweb.org*

∞

Skriv i
Fra Fysikkens
Verden!

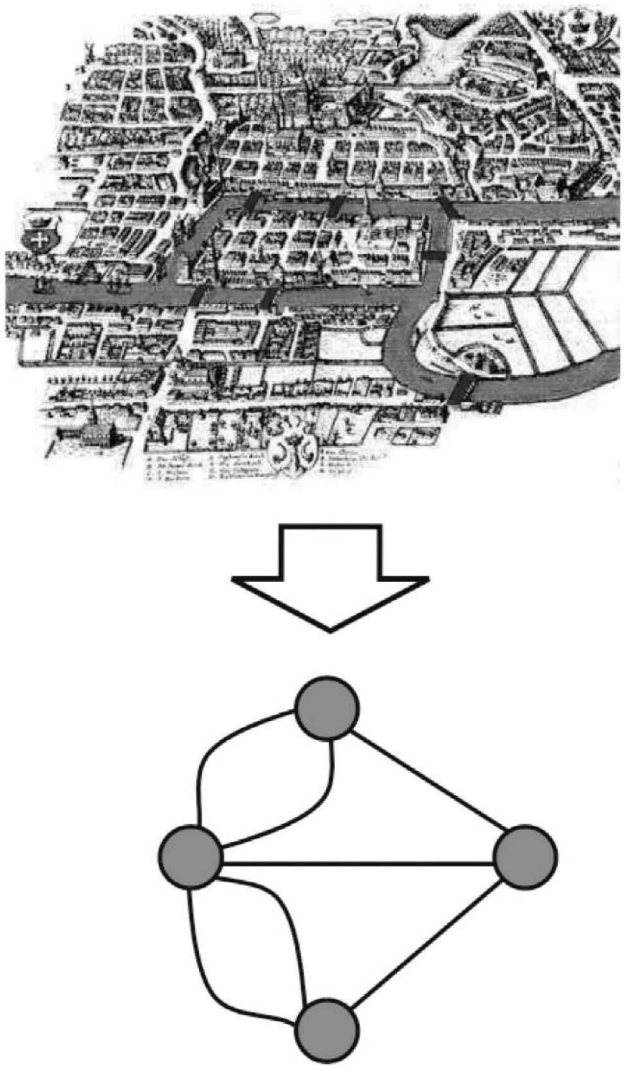
Nettverk - Hvilke nettverk tilhører du?

Henning Frydenlund Hansen og Christian André Andresen *

Rundt oss finnes en rekke nettverk. Noen er vi en del av, mens andre kommer vi i stor grad i kontakt med. Noen preger til og med våre liv. Hvilke nettverk er du en del av?

Bakgrunn

Studier av nettverk har inntil nylig vært en del av matematikken kalt grafteori. Grafteori så dagens lys i 1736 da Leonard Euler løste problemet "Königsbergs sju broer". Dette var et berømt problem inspirert av situasjonen i Königsberg i datidens Preussen, som i dag heter Kaliningrad og ligger i Russland. Byen ligger på begge sider av elva Pregel, se kart i øvre del av figur 1. Midt i elva ligger to øyer som på Eulers tid var forbundet til resten av byen med 7 broer. Folk diskuterte om det på en rundtur var mulig å passere alle broene nøyaktig én gang og ende opp på startstedet. I 1736 viste Euler at dette ikke ville være mulig. For å vise dette benyttet Euler seg av det som senere skulle bli kjent som grafteori innen matematikken, og som gav grunnlaget for moderne nettverksteori. Han erstattet broer mellom landområder med linker mellom noder slik at nodene representerte landområdene og linkene broer mellom dem. Dette abstrakte nettverket er vist i nedre del av figur 1. Euler fant ut at han kunne løse problemet ved å ta utgangspunkt i de enkelte nodenes konnektivitet, dvs. hvor mange linker som var forbundet med noden. I Königsberg-nettverket har tre noder konnektivitet 3, og én node har konnektivitet 5. Euler viste at det kun var mulig å lage en lukket rute i et nettverk om det ikke fantes noder med odde konnektivetet. (Prøv selv!) Generelt kan vi si at et nettverk består av noder og linker. Nodene er knutepunkt og kan representere alt fra konkrete ting som mennesker eller datamaskiner til abstrakte ting som ord eller organisasjoner/selskaper. Linkene binder nodene sammen

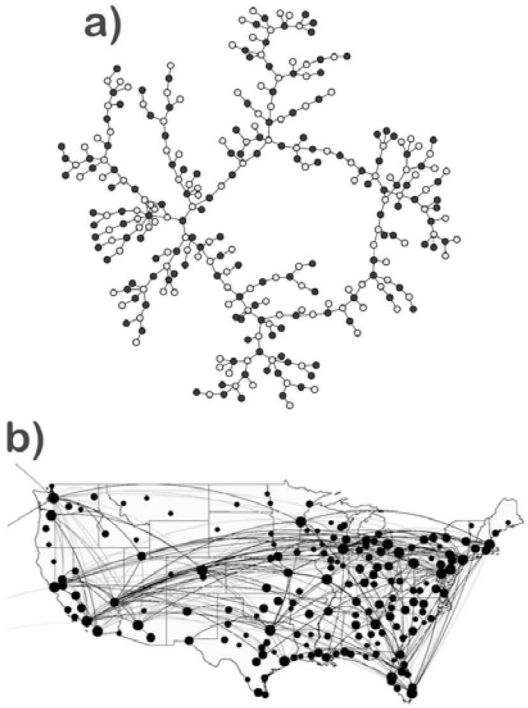


Figur 1. Øverst: Kart over Königsberg fra Eulers tid.[1] De sju broene over elva Pregel er markert. Nederst: Königsbergs sju broer representert som et nettverk.

og representerer forbindelser mellom dem. Linker kan for eksempel være hyperkoplinger på World Wide Web eller sosiale kontakter i nettverk av mennesker. Linkene kan også ha retning og ulik vekting. Et eksempel på et slikt nettverk er et handelsnettverk som viser handel mellom selskaper hvor linkene har retning (fra kjøper til selger) og en vekt

*Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

(verdien av det som blir handlet). Eksempler på komplekse nettverk er vist i figur 2.



Figur 2. Det er et stort mangfold av områder hvor nettverksteori benyttes. Her viser vi to svært forskjellige eksempler. a) Figuren viser kjæresteforhold i løpet av tre år ved en High School i USA. De mørke nodene er gutter, mens de lyse er jenter.[2] b) Nettverksrepresentasjon av utvalgte flyplasser og flyruter i USA.[3]

Hvorfor vil vi beskrive nettverk?

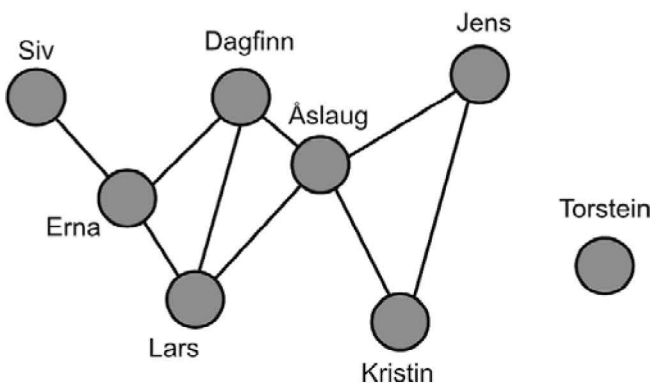
Hvorfor skulle det være interessant å undersøke egenskapene til ulike nettverk? Hvordan nettverk er bygget opp, påvirker hvordan de fungerer. For eksempel kan kanskje en god beskrivelse av Internett som nettverk gjøre det mulig å beskytte det bedre mot elektroniske angrep. Kanskje kan en nettverksbeskrivelse av proteinene i våre celler hjelpe oss å forbygge eller kurere sykdommer? Hvordan sosiale nettverk er bygget opp, kan være med å forklare hvordan for eksempel informasjon eller sykdommer sprer seg. Nettverk som beskriver forhold mellom administrerende direktører i amerikanske selskaper er blitt brukt til å avsløre blant annet innsidehandel. Noen ganger kan det være viktig å sørge for å ha robuste og stabile nettverk som for eksempel nettverket av transformatorer, kraftstasjoner og høyspentledninger som sørger for elektrisiteten vi er avhengig av hver dag. En bedre forståelse av nettverksteori generelt kan hjelpe oss på alle disse områdene.

Hvordan kan vi beskrive nettverk?

Nettverk kan beskrives på mange måter. Man legger spesielt vekt på 3 grunnleggende egenskaper når man beskriver nettverk. Den første er konnektivitetsfordelingen, det vil si fordelingen av antall linker per node. Den andre er tendensen til klikkdannelser (klustering) i nettverket, og den siste er diameteren til nettverket som sier hvor langt det er fra den ene "kanten" av nettverket til den andre. Hver av disse egenskapene vil bli presentert i nærmere nedenfor.

Hvordan fordeler linkene seg mellom nodene?

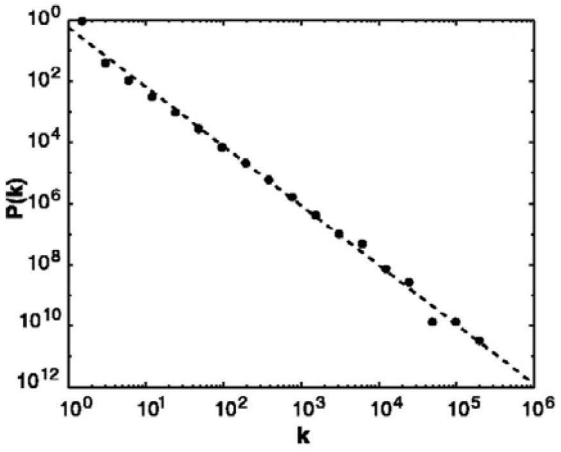
Som nevnt kan vi beskrive et nettverk ut fra dets noder og linkene mellom dem. Antall linker knyttet til en node kalles nodens konnektivitet, k. I nettverket vist i figur 3, har Erna tre linker til andre noder, altså $k_{Erna} = 3$, mens $k_{Jens} = 2$ og $k_{Torstein} = 0$. La oss tenke oss at vi har en sannsynlighetsfordeling, $p(k)$, som beskriver hvor sannsynlig det er for en tilfeldig utvalgt node å ha en gitt konnektivitet, k. Denne sannsynlighetsfordelingen, $p(k)$, inneholder viktig informasjon om nettverkets natur og oppbygning. For mange nettverk, fra World Wide Web til nettverk som beskriver vitenskapelig samarbeid, viser det seg at $p(k)$ følger en potenslov $p(k) \propto k^{-\gamma}$. En slik potenslov indikerer at det ikke finnes noen typisk skala i systemet. Resultatet av en skalafri sannsynlighetsfordeling, $p(k)$, er at de fleste nodene har få linker, mens noen få noder er lenket til svært



Figur 3. Et helt tilfeldig(?) nettverk av 8 venner. Linker mellom personer representerer vennskap.

mange andre noder. Dermed spiller de en viktig rolle for nettverktes funksjonalitet, og kalles ofte for "hubber" (hubs).

Mange har studert robustheten til slike nettverk når noder eller linker slettes som følge av feil eller angrep. Det viser seg at skalafrie nettverk er veldig robuste mot tilfeldige feil/angrep siden de består av mange noder som er forbundet til få andre noder. Derimot er funksjonaliteten (for eksempel et elektrisitetsnettverk sin evne til å fordele strøm) veldig sårbar mot selektive angrep, for eksempel ved at en "hub" angripes. Opphavet til slike fordelinger er også studert, og en mulig forklaring er "The ritch get ritcher"-prinsippet. I mange nettverk finnes det mekanismer som fører til at noder med mange linker har en større sannsynlighet for å få nye linker enn noder med få linker. Dette vil føre til at de største blir større, eller at de rike blir rikere, og dette resulterer i en potenslov for fordelingen. Et eksempel på en skalafri sannsynlighetsfordeling er vist i figur 4.



Figur 4. Sannsynlighetsfordelingen, $p(k)$, for Internett. $p(k)$ beskriver sannsynligheten for at et tilfeldig valgt node er forbundet til k andre noder. Fordelingen er skalafri som resulterer i at fordelingen gir en rett linje når den plottes med logaritmiske akser. Legg merke til at fordelingen går over hele 5 størrelsesordner!

Verden er mindre enn man skulle tro

Vi sier ofte at verden er liten. Det er mye som tyder på at dette er riktigere enn vi tror. La oss tenke oss at vi ønsker å beskrive "avstander" i et nettverk. Hvordan kan Siv komme i kontakt med Jens i nettverket i figur 3 når hun må følge linkene? Hun kan ta kontakt med Erna som kjenner både Dagfinn og Lars som begge igjen kjenner Åslaug, og Åslaug kjenner Jens. Siv må altså gå via minst 4 linker for å komme i kontakt med Jens. Om vi for alle mulige par av noder finner den korteste vei mellom disse, og til slutt tar den lengste av disse veiene, finner vi det som kalles nettverkets diameter, D. Diametrene til nettverk hentet fra den virkelige verden er ofte overraskende små. For veldig mange nettverk vokser D logaritmisk med antall noder, N, i nettverket, $D(N) \propto \log N$, eller saktere. Denne egenskapen kalles for "small-world"-egenskapen.

Denne nettverksegenskapen er ofte illustrert ved fenomentet "Six Degrees of Separation". Dette handler om at alle mennesker maksimalt er adskilt med 6 mellomledd, det vil si 6 venners venner osv. Et av de første forsøkene som ble gjort innen nettverksteori dreide seg om denne egenskapen.

Personer ble spurt om å delta i et forsøk med et kjedebrev som skulle ende hos en navngitt person. Brevene skulle kun sendes videre til venner som var kjent ved fornavnet. Kjeden av personer som videresendte brevet ble registrert. Det viste seg at i gjennomsnitt var det bare seks mellomledd fra opprinnelig avsender til endelig mottaker. Derav uttrykket "Six Degrees of Separation". Hovedårsaken til at avstanden er så liten er hubbene i nettverket som har mange linker og er forbundet til flere regioner. Dette kan sees i figur 2.

Klikkdannelser

Klikkdannelser i nettverk kalles ofte "klustering", og kan illustreres ved spørsmålet: *Hvor mange av dine venner er også venner?*

I figur 3 er Åslaug venner med Jens, Kristin, Lars og Dagfinn. Blant Åslaugs venner finnes to vennepar, Kristin og Jens, samt Dagfinn og Lars, men hverken Dagfinn eller Lars er venner med Jens eller Kristin. I hvor stor grad et nettverk består av godt sammenvevde klikker sier ganske mye om oppbyggingen av nettverket.

Graden av klikkdannelser i et nettverk er målt ved klusterkoeffisienten, C. Hver node har en lokal klusterkoeffisient, C_i, som er definert som antall virkelige linker mellom node i sine naboer, E_i, delt på antall mulige slike linker. For en node med konnektivitet k_i er antall mulige linker $\frac{1}{2}k_i(k_i-1)$, dermed blir $C_i = \frac{E_i}{\frac{1}{2}k_i(k_i-1)} = \frac{2E_i}{k_i(k_i-1)}$. For noden Åslaug i figur 3 er $k_{\text{Åslaug}} = 4$ og $E_{\text{Åslaug}} = 2$, og dermed er $C_{\text{Åslaug}} = \frac{2\cdot 2}{4\cdot(4-1)} = \frac{1}{3}$. Den globale klusterkoeffisienten, C, for hele nettverket er gjennomsnittet av alle de lokale klusterkoeffisientene, $C = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} C_i$. C ligger mellom 0 og 1, hvor 0 svarer til et nettverk hvor ingen noder linket til samme node er linket til hverandre, og 1 tilsvarer et nettverk hvor alle nodene er linket til hverandre.

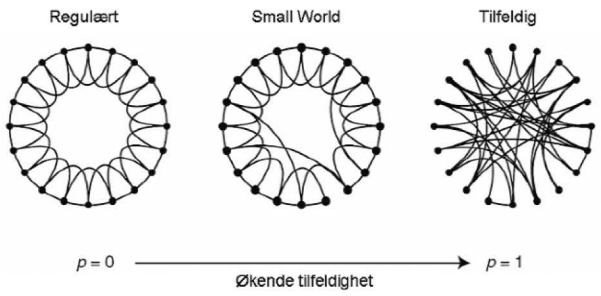
For de aller fleste nettverk viser det seg at graden av klustering, eller klikkdannelse, er mye større enn hva man har i rent tilfeldige nettverk. Det kommer kanskje ikke som noen overraskelse at mange av dine venner også er venner?

Small-World nettverk

Vi avslutter med et berømt eksempel som forklarer godt hvordan egenskapene, kort diameter og høy grad av klikkdannelser, kan oppstå i nettverk.

Watts og Stogatz introduserte i 1998 en klasse nettverk som de kalte "Small-World"-nettverk, og de laget en model som genererer en type slike nettverk.[5] Denne klassen har "Small-World"-egenskapen beskrevet over, men den har også en høy klusterkoeffisient samtidig som nettverket er glissent (sparse). At nettverket er glissent betyr at antallet linker er lite i forhold til N^2. Mer presist krevde Watts og Strogatz at $N \gg k \gg \ln N \gg 1$, hvor N er antall noder og k er antall linker per node. I modellen har alle nodene initielt det samme antall linker, og er fordelt på en sirkel, som vist i figur 5. Med en sannsynlighet p blir hver link flyttet til en tilfeldig node. Dette fører til at for $p = 0$ får vi et helt regulært nettverk, og for $p = 1$ får vi et helt tilfeldig nettverk.

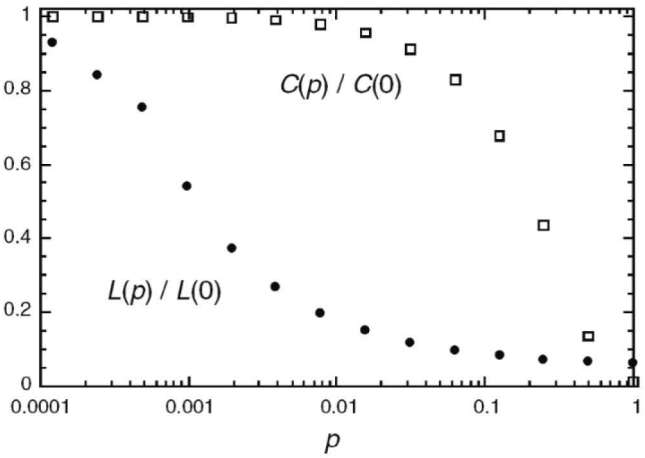
Deretter ble gjennomsnittlig node-til-node-avstand, $L(p)$, og klusterkoeffisient, $C(p)$, målt som funksjon av p i intervallet 0 til 1. Resultatene er vist i figur 6. Node-til-nodeavstanden faller av betydelig raskere enn klusterkoeffisienten, og det er et intervall for p der vi har en lav $L(p)$ og en høy $C(p)$ samtidig. I dette intervallet genererer modellen "Small-World"-nettverk. Fra figur 5 kan man tydelig se at det er de få, men lange, linkene som er flyttet som fører til liten $L(p)$ mens hver node fremdeles har mange av sine opprinnelige linker intakt, og dette gir en høy $C(p)$. (Figurene er hentet fra Watts og Strogatz.[5])



Figur 5. Modellen til Watts og Strogatz fra 1998. N antall noder er ordnet på en sirkel, og de er initielt forbundet til sine k nærmeste noder. Dette gir en høy klusterkoeffisient, C. Med en sannsynlighet p blir hver link fra hver node byttet ut med en link til en tilfeldig node. Dette gir langtrekkende linker som dramatisk reduserer diameteren til nettverket. Ved store p blir nettverket tilfeldig og mister sin store klusterkoeffisient.

Lyst til å vite mer?

Hvis du har lyst til å vite mer om nettverk, anbefales "Linked: The New Science of Networks" av Albert- László Barabási, en bok som gir en morsom og populærvitenskapelig fremstilling av nettverk.



Figur 6. Plot av normalisert node-til-nodeavstand og klusterkoeffisient som funksjon av p. Merk at det er et område hvor $L(p)$ er liten, men $C(p)$ fremdeles er stor. I dette området tilhører de genererte nettverkene "mall-World"-klassen. For små p er nettverkene regulære, og for store p er de tilfeldige. Merk at p-aksen er logaritmisk.

Referanser

1. Internett: *http://www.wikipedia.org*
2. P.S. Bearman et al.: *Chains of Affection: The Structure of Adolescent Romantic and Sexual Networks.* Am. Journ. Sociology, **110,** 44 (2004)
   Bilde laget av Mark Newman:
   http://www- personal.umich.edu/~mejn/networks.
3. Internett: *http://skhandelwal.com/airnet/*
4. L.A. Adamic et al.: *Power-Law Distribution of the World Wide Web.* Science, **287,** 2115 (2000)
5. D.J. Watts and S.H. Strogatz: *Collective dynamics of 'small-world' networks.* Nature, **393,** 440 (1998)

∞

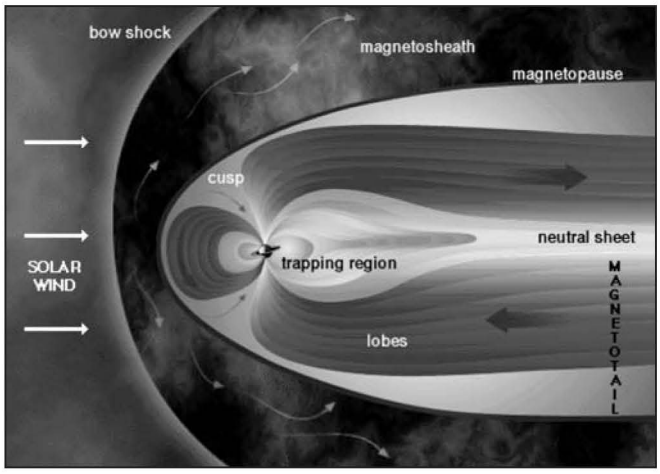
Hva skjer

Nytt nordlysobservatorium på Svalbard

I mai 2005 kom den gledelige nyheten til oss på Universitetssentret på Svalbard (UNIS) at det var bevilget midler fra Undervisnings- og forskningsdepartementet til et nytt nordlysobservatorium på Svalbard. Bakgrunnen for dette er at både den nasjonale og den internasjonale interessen for forskning på dagnordlyset har vært og er meget stor. I tillegg til at den gamle stasjonen i Adventdalen er bygningsmessig utdatert og for liten til å gi plass til nye instrumenter, er lysforurensning fra Longyearbyen blitt et økende problem i takt med ekspansjonen av byen ut mot Adventdalen. Det nye observatoriet, *"The Kjell Henriksen Observatory"*, vil bli bygd på fjellet Breinosa, samlokalisert med de andre forskningsinstallasjonene der.

Litt historikk

Svalbard har en unik beliggenhet for studier av dagnordlys. Ikke noe annet sted i verden ligger forholdene så godt til rette for studier av dette vakre og mystiske polarlyset. Svalbard ligger rett under den magnetiske polarkløften – et lite område som bare dekker noen få breddegrader. Polarkløften kan sammenlignes med en trakt som leder partikler fra sola rett ned i atmosfæren over Svalbard, se figur 1. Det er disse partiklene som skaper dagnordlyset. At partiklene kommer direkte fra sola og ned i atmosfæren gjør det lettere å studere de prosessene som leder fram til nordlyset. Longyearbyen er med sin infrastruktur meget godt egnet for å studere soljord vekslervirkningen. Vår forståelse av det nære verdensrommet har økt betraktelig siden de første dagnordlysstudiene ble startet i 1978 i Endalen, rett utenfor Longyearbyen.



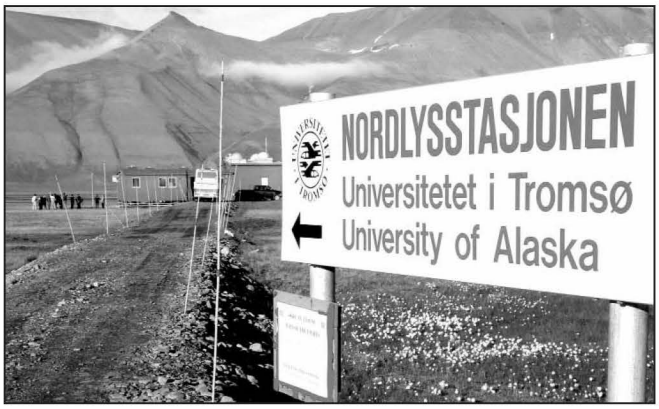
Figur 1. Magnetosfæren og dens inndelinger. Legg merke til den magnetiske kløfta, "Cusp" på engelsk. (Illustrasjonen er hentet fra NASA.)

Vår tidligere veileder, professor Kjell Henriksen ved Universitet i Tromsø (figur 2), så tidlig mulighetene som åpnet seg etter at flyplassen i Longyearbyen ble åpnet i 1975. I samarbeid med professorene Charles Deehr, Abas Sivjee og Roger Smith fra Geofysisk Institutt i Fairbanks, Universitetet i Alaska, ble Nordlysstasjonen satt opp ved Vinkelstasjonen i Endalen i 1978. Det var viktig med et internasjonalt samarbeid, siden studier av dagnordlyset krever kostbare og spesialiserte instrumenter. Før dette prosjektet ble startet hadde man ikke gjort noen grundig studie av dagnordlyset. Det ble ofte referert til som et statisk og lite aktivt nordlys uten finstrukturer.

Figur 2. Kjell Henriksen (1938–1996).

Dette prosjektet førte til en ny oppfatning av dagnordlyset der fargesammensetning, intensitet og bevegelse ble studert nøye. I tillegg ble det gjort målinger av vinder og temperaturer i nordlyshøyden. I 1984 ble stasjonen flyttet til den gamle flyplassen i Adventdalen, og er blitt utvidet flere ganger siden, se figurene 3 og 4.

I 1993 tok UNIS over den daglige driften av den gamle stasjonen. Dette førte til at stasjonen kunne brukes året rundt, men med spesielt høy aktivitet i vintermånedene november til februar. Stasjonen ble også viktig i forbindelse med undervisning i den



Figur 3. Nordlysstasjonen i Adventdalen (2003). Foto: Charles Deehr.

midlere og øvre atmosfære, og er nå brukt som et treningslaboratorium for slike studier. Stasjonen har per dags dato 25 instrumenter fra 17 forskjellige institusjoner fra 8 nasjoner.

Hvert instrument brukes i en eller flere kampanjer i løpet av sesongen. Rundt 30 forskere er innom stasjonen hvert år i en uke eller mer. Det publiseres i gjennomsnitt en artikkel per måned hvor data fra stasjonen brukes. 14 doktorgradsstudenter og et trettitalls hovedfagstudenter har brukt stasjonen i sine studier. Nordlysstasjonen representerer en av de tyngste forskningsaktørene på Svalbard.

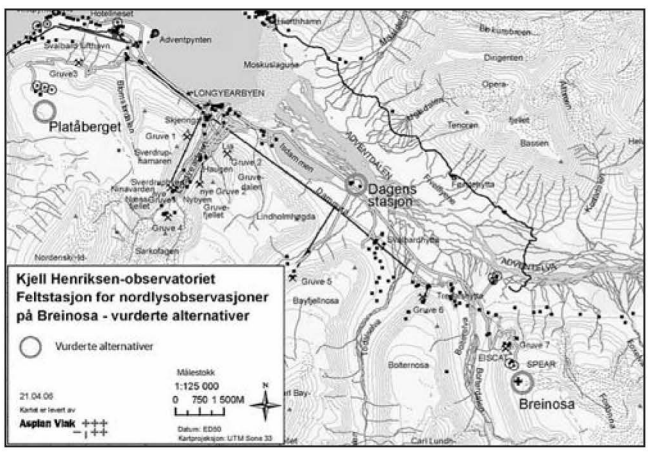
Framtiden

Det nye observatoriet er lokalisert til Breinosa ved Gruve 7, se figur 4. Dette er det lengste man kan komme unna Longyearbyen med bil. Avstanden i luftlinje til Longyearbyen er over 12 km.

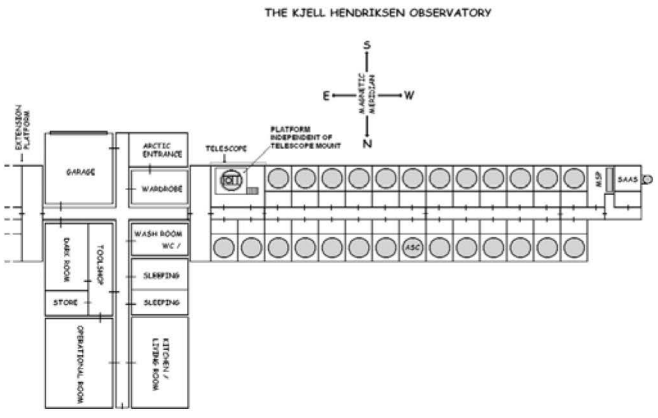
Det nye observatoriet blir liggende over 500 meter over havet, og har gode observasjonsforhold i alle himmelretninger. På grunn av plasseringen til observatoriet, ligger Longyerbyen under siktelinjen mot horisonten. En annen fordel er at observatoriet er nær radaranleggene til EISCAT (The European Incoherent Scatter Association) som studerer den øvre atmosfæren ved hjelp av radarteknologi. Denne samlokaliseringen er svært nyttig når man skal studere prosesser i det optiske nordlyset og ionosfæren samtidig. En vil i praksis kunne se opp mot nordlyset langs samme magnetiske feltlinje. Denne kombinasjonen av å bruke forskjellige instrumentmetoder, gjør at vi kan se på nordlyset "med nye øyne". Her er mange muligheter!

Det er Statsbygg Nord som er byggeherre for observatoriet. Etter Undervisnings- og Forskningsdepartementets vedtak har vi vært gjennom en lang saksbehandlingspeiode med Lokalstyret i Longyearbyen og Sysselmannen. Etter konsekvensutredninger og lokale høringer er vi nå endelig klar for å starte med bygging av vei (1 km), perling av påler i permafrosten til plattform og konstruksjon av selve bygget.

Selve observatoriet består av 3 hoveddeler: en service- og to instrumentseksjoner. Alt monteres på en stabil plattform. I første omgang vil 32 instrumentmoduler installeres på første instrumentseksjon (figur 5 viser hovedprinsippet). Denne konfigurasjonen sikrer fri sikt i det jordmagnetiske meridianplanet (30° mot NV). Hele stasjonen blir ca. 100 m lang. Hver instrumentmodul består av en glasskuppel med utsikt til himmelhvelvingen og et atskilt rom for plassering av kontrollelektronikk. Oppholds- eller servicemodulen er atskilt fra instrumentseksjonen slik at kondensering og ising på kupler unngås. Observatoriet vil ha egen datafiber tilknyttet Internett via UNIS i Longyearbyen. Data fra instrumentene vil da kunne leveres til resten av verden i sann tid.



Figur 4. Kart over Adventdalen.



Figur 5. Prinsippskisse for det nye nordlysobservatoriet, *The Kjell Henriksen Obsevatory*, på Breinosa, Svalbard.

Nordlysstasjonen var den første faste innstallasjonen for romrelatert forskning i nærheten av Longyearbyen, og har betydd mye for utviklingen av den store infrastrukturen for forskning i Longyearbyens nærområde. Med det nye observatoriet klart til bruk på Breinosa, vil Nordlysstasjonen fortsatt være en viktig og aktiv del av utforskningen av det nære verdensrommet fra Svalbard.

Fred Sigernes og Dag A. Lorentzen
UNIS

∞

Fysikk i skolen

Nye programfag i realfag

Høsten 2007 har innføringen av Kunnskapsløftet nådd 2. klasse i videregående skole (Vg2). Da skal de klassiske realfagene ta i bruk nye læreplaner. To nye realfag skal også se dagens lys: **Geofag** og **Teknologi og forskningslære.** Begge fagene bør være interessante for fysikklærere og fysikere, fordi det er mange berøringspunkter mellom disse fagene og fysikkfaget. I denne artikkelen tar jeg for meg Teknologi og forskningslære (ToF).

Innholdet i Teknologi og forskningslære

Det er flere skoler i Norge som har drevet forsøk med fag som er kalt forskningslære, mens andre har arbeidet med teknologi. Disse skolene har høstet verdifulle erfaringer, blant annet gjennom å samarbeide med nærliggende industri og forskningsinstitusjoner. Erfaringer fra disse skolene har vært med på å prege læreplanen for det nye faget.

I omtalen av faget kan vi lese:
Programfaget skal gi grunnleggende innsikt i naturvitenskapelige og teknologiske utfordringer og problemstillinger i samfunnet. Det skal søke å gi en helhetlig forståelse av at teknologi og naturvitenskap er i utvikling, og at det skaper etiske utfordringer. Samtidig skal programfaget gi et grunnlag for å vurdere og diskutere teknologiske produkter og konsekvensene av dem for samfunnet.

Teknologi og forskningslære legger opp til at elevene skal kunne bruke læringsarenaer også utenfor skolen, gjerne i kontakt med næringsliv og forskningsmiljøer der det er mulig. Det betyr at faget skal vise realfag i praksis. Kanskje faget nettopp av den grunn vil kunne få flere elever til å velge realfag i høyere utdanning, fordi de får mer innsikt i hva realister gjør i ulike yrker? Det er lite kunnskap blant elever om hva slags arbeid realister kan få i samfunnet utover det å bli lærer.

Faget har både en praktisk og en teoretisk tilnæring; blant annet legges det vekt på konstruksjon og utprøving av teknologiske innretninger. I den teoretiske tilnæringen skal elevene få noe innsikt i vitenskapsteori og vitenskapsfilosofi i en historisk ramme.

Teknologi og forskningslære er bygget opp slik at ToF 1 (vanligvis i Vg2) legger mest vekt på teknologiperspektivet, mens ToF 2 (vanligvis i Vg3) legger mest vekt på naturvitenskapelige problemstillinger.

ToF 1 og ToF 2 har begge 140 årstimer (5 skoletimer per uke) til rådighet. Det finnes også en variant som kalles ToF X som er på 84 årstimer (3 skoletimer per uke). Dette faget skal kunne gis til elever som velger realistvarianten av matematikk som fordypning. De slipper nemlig et fellesfag i matematikk i Vg 2 på 3 timer. Dette "hullet" kan de blant annet fylle med 3 timer ToF. Det er mye som tyder på at X-varianten vil være et aktuelt tilbud til elevene på en del skoler.

Hovedområdene i faget

ToF X Den unge ingeniøren
Den unge forskeren
Teknologi, naturvitenskap og samfunn

ToF 1 Design og produktutvikling
Den unge ingeniøren
Den unge forskeren
Teknologi, naturvitenskap og samfunn

ToF 2 Naturvitenskapelige arbeidsmetoder
Forskning, teknologi og samfunn
Den unge forskeren
Vitenskapsfilosofi og vitenskapsteori

Mer informasjon om faget finnes på Internett:
http://skolenettet.no/moduler/templates/Module_Article.aspx?id=29151&epslanguage=NO

Eksempler på omtale av hovedområder

Design og produktutvikling

Hovedområdet handler om utvikling av produkter. Det dreier det seg om arbeid på elektroniske kretser og hvordan det kan benyttes i utviklingen av pro-

dukter som er basert på egne ideer. Sentralt i hovedområdet er testing eller simulering, utprøving, skalering og kvalitetsvurdering av det ferdige produktet med tanke på form, funksjon, estetikk og miljøaspekter.

Forskning, teknologi og samfunn

Hovedområdet handler om samspillet mellom vitenskap, teknologi og samfunn. Videre dreier det seg om teknologisk og vitenskapelig virksomhet i en økonomisk, miljømessig og etisk sammenheng. Hovedområdet handler også om hvordan forskningsresultater og ny teknologi formidles ut i samfunnet av medier og interessegrupper.

Hvordan skape en identitet for faget?

Teknologi og forskningslære er ikke noe universitetsfag eller studiefag, men det kommer som et eget programfag i skolen. Hvordan skal faget organiseres og hvem skal undervise i faget? Hva slags lærerutdanning vil gi et godt grunnlag for å undervise i faget?

Naturfagsenteret har tatt initiativ til å samle ulike fagfolk for å utvikle etterutdanningskurs for dette faget og for å finne fram til aktuelt stoff som kan være støttende for de lærerne som skal undervise i faget. Det vil bli opprettet egne nettsider innenfor nettstedet *www.naturfag.no* der lærere kan hente både fagartikler og undervisningsideer.

Faget har stor spennvidde, og det kan ikke knyttes til bare ett studiefag. Problemet er derfor å finne fram til lærere som kan undervise i hele faget. Kanskje undervisningsansvaret må fordeles mellom flere lærere, fordi faget spenner så vidt. Det er opp til den enkelte skole å organisere undervisningen innenfor de rammene som læreplanen gir. Lektorer i fysikk og kjemi har en kompetanse som ut fra min vurdering gir et brukbart utgangspunkt for å undervise i faget. I tillegg vil det være nyttig med lektorer med teknologisk bakgrunn i teamet som skal ha ansvar for faget.

Det skal bli spennende å følge dette fagets videre utvikling. Det er mange utfordringer for de skolene og lærerne som ønsker å gi dette tilbudet. Men samtidig gir det også en del spennende muligheter når det gjelder å knytte nærmere bånd mellom skole, næringsliv og forskningsmiljøer. Erfaringer fra skoler som har gitt tilbud i forskningslære tidligere, hevder at elever bør ha realfag som matematikk, fysikk eller kjemi i fagkretsen, for å få størst mulig utbytte av dette faget.

Anders Isnes
Naturfagsenteret

∞

Konferanser

Wadahl-møtet 2006: Kondenserte fasers fysikk, med atomfysikk

Faggruppen for kondenserte fasers fysikk, med atomfysikk, holdt sin årlige konferanse på Wadahl høgfjellshotell, Gålå, 13–15. september 2006. Faggruppens årlige møter er annethvert år en del av det store fysikermøtet, og i mellomliggende år, som i 2006, er det blitt arrangert et eget møte for faggruppen. Konferansen i 2006 var det andre møtet av dette slaget holdt på Wadahl høgfjellhotell. Både det første Wadahl-møtet i 2004 og møtet i 2006, samlet mer enn 60 deltagere, og i begge tilfellene var ca. 10 land representert.

Wadahl-møtet i 2006 hadde 8 "lange" (40-minutters) inviterte fordrag, hvorav 5 ble gitt av utenlandske deltagere, og 3 ble gitt av deltagere som representerte norske miljøer. Alle disse foredragene ble "sponset" ved at COMPLEX- (3 foredrag) og FUNMAT- (4) grupperingene og atomfysikkmljøet ved Universitetet i Bergen (1) betalte for reise og opphold for foredragsholderne.

De inviterte 40-minutters foredragene var:

- Kjetil Børkje (PhD-student, NTNU): *Physics of Non-centrosymmetric superconductors with significant spin orbit splitting*
- Mario Engelsberg (professor, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil): *Water diffusion in porous systems, gels and colloids: A nuclear magnetic resonance study*
- Ronald Griessen (professor, Vrije Universiteit, Amsterdam, Nederland): *Magnesium-based light transition metal alloys: physics and applications to solar collectors, hydrogen sensors and batteries*
- Johan Mauritsson (professor, Lund, Sverige): *Attosecond pulse generation and application*
- Mark Pitt (forsker, Institutt for energiteknikk, Kjeller): *Surface nano-precipitates in the Ti enhanced $NaAlH_4$ system*
- Daniel Rothman (professor, MIT, Cambridge, MA, USA): *Earth's Carbon Cycle as a Problem of Reactive Diffusion*
- Bjørnar Sandnes (forsker, Universitetet i Oslo, Complex): *Pattern formation: building mazes with grains*

- Rinke Wijngaarden (professor, Vrije Universiteit/FEW/N&S/VS, Amsterdam, Nederland): *Complex superconductors: surface roughening and avalanches in the 'fluxscape'*

I tillegg til disse hovedforedragene ble 17 20-minutters foredrag gitt som påmeldte bidrag, enten spontant eller etter invitasjon. Dertil talte postersesjonen 24 bidrag.

Inviterte 20-minutters bidrag ble gitt av:

- Professor Paul Dommersnes (Universite Paris7/NTNU, Complex): *Transport and topology in surfactant nanotube network*
- Professor Tom H. Johansen (Universitetet i Oslo, Complex): *Dendritic avalanches of magnetic flux in superconducting films*
- Førsteamanuensis Morten Kildemo (NTNU): *XPS study of the electronic properties of the Ce/4H-SiC interface, and the formation of the $SiO_2/Ce_2Si_2O_\gamma/4H$-SiC interface structure upon oxidation*
- Professor Knut Jørgen Måløy (Universitetet i Oslo, Complex): *Growth activity during fingering in a porous Hele Shaw cell*
- Professor Fernando Oliveira (Universidade de Brasilia, Brasila, Brasil): *Slow relaxation and anomalous diffusion*
- Professor Bo-Sture Skagerstam (NTNU, Complex): *Topics in Cavity Quantum Electrodynamics*

Som det framgår av foredragstitlene var programmet variert og dekket flere områder ved den internasjonale forskningsfronten innenfor kondenserte fasers fysikk, nanofysikk og atomfysikk. De øvrige bidrag og postere ga en god oversikt over det som rører seg innenfor kondenserte fasers fysikk og atomfysikk i Norge.

Møtet varte fra onsdag lunsj til fredag lunsj, og med til sammen 50 foredrag og postere ble programmet ganske intenst. Men det ble allikevel satt av en hel ettermiddag til felles sosiale aktiviteter i form av en fjelltur eller rafting i Sjoa. Inntrykket som sitter igjen, er at alle de 70 deltagerne satte pris på både det faglige og det sosiale programmet.

Av omlag 10 deltagende masterstudenter fikk 4 tildelt stipend fra Norsk Fysisk Selskap til dekning av alle utgifter forbundet med møtedeltagelsen. Alle masterstudentene og 40 av de øvrige deltagerne, var fra COMPLEX-grupper ved NTNU, UiO og IFE, noe som viser at COMPLEX (*www.complexphysics.org*) er den mest aktive gruppen innenfor kondenserte mediers fysikk i Norge for tiden. 25 nye medlemmer til NFS ble rekruttert ved møtet.

Arrangementskomiteen retter en stor takk til Rolf Dahl fra NTNU, for hans hjelp med praktisk tilrettelegging i forbindelse med arrangementet.

Møtet ble arrangert av styret i faggruppen for kondenserte fasers fysikk, med atomfysikk, bestående av Jon Otto Fossum (NTNU), Geir Helgesen (IFE) og Ladislav Kocbach (UiB).

Jon Otto Fossum og Geir Helgesen ønsket ikke gjenvalg til styret, og følgende nye styre ble valgt for faggruppen: Ole Martin Løvvik (UiO/IFE), Ladislav Kocbach (UiB) og Bo Sture Skagerstam (NTNU).

Jon Otto Fossum

∞

Birkelandforelesningen 2006

Birkelandforelesningene i Oslo har en lang tradisjon. I samarbeid mellom Universitetet, Det Norske Videnskaps- Akademi og Norsk Hydro ble den første forelesningen arrangert i 1987, og senere har det med noen få unntak vært en årlig Birkelandforelesning. Den første ble holdt av professor Hannes Alfvén ved Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm (nobelprisvinner 1970), som snakket om *"The Auroral Research in Scandinavia"*, og den siste ble holdt 21. september i år av professor Margaret Kivelson fra UCLA, USA, som foreleste om *"A Century after Birkeland: Auroras and related phenomena at moons and planets"*.

Nordlys har vært et hovedtema for forelesningene, men også andre emner innenfor geofysikk og romforskning - hovedområder for Kristian Birkelands forskningsvirke – har vært tema. Noen år har Birkelandforlesningen vært del av et større arrangement, for eksempel i 2005 som var et jubileumsår for Norsk Hydro og Birkeland. Det ble da arrangement et seminar i Universitetets gamle festsal, der professor William Burke fra Air Force Geophysics Laboratory, USA, holdt en forelesning om *"Kristian Birkelands Message from the Sun – its meaning then and now"*.

I år ga Margaret Kivelson et fascinerende foredrag for et fullt auditorium i Videnskaps-Akademiet om status for studier av nordlys og magnetiske forhold rundt andre planeter og måner, med Birke-

lands innsats innenfor nordlysforskning og studier av magnetiske felt i rommet som bakgrunn. Vi har hatt mange fremragende foredrag i denne serien, men årets forelesning rangerer blant de beste. Også studentene i romfysikk ved Fysisk institutt i Oslo, som bruker en lærebok der Margaret Kivelson er medforfatter, satte pris på å se henne "live".

I 2004 ble Norsk Hydros avdeling Hydro Agri, skilt ut som eget selskap, YARA International ASA, og YARA overtok da som partner i samarbeidet om Birkelandforlesningene. Norsk Romsenter har også kommet med i de siste årene. Alle parter er positive til i å fortsette disse forelesningene, og dato for den neste er allerede satt til 27. september 2007. Vi ser fram til en ny spennende forelesning den dagen!

Tore Amundsen

∞

Kommentarer

Relativitetsteorien og GPS

Jeg har følgende kommentar til Øyvind Grøns artikkel "Relativitetsteorien og GPS-systemet" i FFV 3/06, s 69.

Grøn sier i sin artikkel at en ville gjøre en feil posisjonsbestemmelse med GPS dersom en ikke korrigerer 38 μs pr døgn for relativistiske effekter i klokkene. Han siterer Ashby (Physics Today, Mai 2002, s 41) på at feilen dx i posisjonsbestemmelsen med 38 mikrosekund feil på klokka skulle bli $dx = cdt = 11{,}4$ km pr døgn, hvor c er lyshastigheten. Grøn mener imidlertid at det er feil, og at feilen i posisjonsbestemmelsen skulle være gitt av klokkefeil og satellittens fart v, med en resulterende feil på bare 15 cm pr døgn.

Jeg mener Ashby har rett. Det Grøn beregner er feilen i satelittens posisjon. Men det som interesserer en GPS- bruker er om det blir feil i visningen på instrumentet pga klokkefeil i satelitten.

For å se hvordan en slik visningsfeil oppstår må en se hvordan GPS-brukeren bestemmer sin posisjon. På et gitt tidspunkt sender satelitten en beskjed til GPS-en om hvor satelitten er, og hva klokka er idet beskjeden sendes. GPS-en mottar denne beskjeden en liten stund senere, og ut fra tidsforsinkelsen og lyshastigheten kan den beregne hvor langt unna satelitten den er. Ut fra satelittens posisjon kan den finne ut hvor den er selv (for krysspeiling trenger den signaler fra minst to satelitter til). Dersom vi gjentar målingen etter en dag, uten å gjøre relativistiske korreksjoner av satellittklokka, så vil satellitten bomme 15 cm på sin egen posisjon idet den sender beskjeden. Det er ikke så mye. Men det som er verre er at den sender feil tid: Klokka går jo 38 μs for fort. Når GPS-en får beskjeden med den gale tida, tror den at den beskjeden startet fra satellitten 38 μs seinere enn den egentlig gjorde. Derfor tror GPS-en at satellitten er 11,4 km nærmere enn den egentlig er.

Einstein er derfor viktigere for sjøfolk og fjellfolk enn Grøn antyder, faktisk så viktig at GPS-en ville vært helt ubrukelig uten relativistiske korreksjoner.

Frode Vassenden
FRVA@statoil.com

∞

Svar fra Øyvind Grøn

En fysisk størrelse som kan beregnes fra relativitets teorien, er forskjellen i hastighet for en standard klokke i en av satellittene i GPS-systemet og en klokke i ro i en gitt posisjon på jordas overflate. Klokken i satellitten går 38 μs raskere per døgn enn klokken på jorda.

Det som ikke følger av relativitetsteorien er hvor stor feil i oppgitt posisjon på jordoverflaten det ville føre til hvis man ikke korrigerte for dette. Det er et teknisk spørsmål og avhenger av hvordan posisjons angivelsen er konstruert.

Det har imidlertid vært vanlig å si at en tidsfeil på Δt svarer til en feil i den oppgitte posisjonen på $c \cdot \Delta t$, der c er lyshastigheten. I så fall svarer 38 μs til en feil i posisjonsangivelsen på 11,4 km.

En oversettelse fra et tidsintervall på ett sekund til en avstand på ett lyssekund er imidlertid fysisk meningsfull bare for lys eller andre systemer som går med lyshastigheten.

En GPS-satellitt beveger seg med farten 4 km/s i forhold til jordoverflaten og vil ha flyttet seg 15 cm i løpet av 38 μs. Dersom vi tar 38 μs feil når vi oppgir posisjonen til en satellitt i GPS-systemet, vil den altså befinne seg 15 cm fra der vi trodde den var. På denne måten akkumuleres, slik Frode Vassenden skriver, en feil på 15 cm per døgn i satellittens posisjon dersom det ikke korrigeres for de relativistiske tidseffektene.

Frode Vassenden skriver videre: "Når GPS-en får beskjeden med den gale tida, tror den at den beskjeden startet fra satellitten 38 μs seinere enn den egentlig gjorde. Derfor tror GPS-en at satellit-

ten er 11,4 km nærmere enn den egentlig er." Dette er en naturlig tanke siden lyset da har hatt 38 μs kortere reisetid, og dermed har reist 11,4 km kortere mellom satellitten og mottageren.

Men systemet virker ikke på denne måten. Man vet hvilke baner satellittene befinner seg i, og posisjonen langs banen blir jo bare 15 cm feil.

Klokkene i satellittene justeres med en frekvensregulator som tar hensyn til de relativistiske effektene. Nødvendigheten av denne justeringen ble oppdaget også av de som ikke hadde kjennskap til relativitetsteorien. Etter initiativ fra fysikere aksepterte de militære lederne for prosjektet å bygge inn en slik frekvensregulator i satellittene, men den ble ikke slått på til å begynne med. Etter tre uker var det imidlertid åpenbart at satellittklokkene gikk for fort, og regulatorene ble slått på.

Kjennskapet til relativitetsteorien gjorde at man var forutseende nok til å bygge regulatorer slik at det bare var "å slå på knappen" da det ble åpenbart at det var nødvendig. Mangel på kjennskap til rela tivitetsteorien hadde nok kostet det amerikanske militære budsjettet ganske mange dollar, siden det å rette opp en feil er dyrere enn å være forutseende.

Det alle er enige om, er hvor store de relativistiske virkningene er på satellittklokkene i GPS-systemet. Hvilken betydning dette har for posisjonsbestemmelsene er imidlertid ikke så opplagt siden det avhenger av tekniske detaljer i konstruksjonen av systemet.

Øyvind Grøn
Oyvind.Gron@iu.hio.no

∞

Kvitt eller dobbelt

Fysikkfaget trenger medieoppmerksomhet. Det er viktig at ungdom vender tankene bort fra underholdningsvås og tar til å interessere seg for den spennende naturen de er omditt av. Naturvitenskap og teknikk må rekruttere unge og evnerike talenter. Derfor var det kjekt at den ivrige Jørn Mjelva fikk slippe til med emnet *"Moderne fysikk"* i det tradisjonsrike *"Kvitt eller dobbelt"* progammet hos NRK. Han la for dagen en smittende begeistring for fysikken og var den beste reklame for faget.

Dessverre synes jeg han fikk en skammelig behandling. Spørsmålene var påfallende dårlig formulert og røper en fagdommer som ikke har dybdekunnskap i sitt fag. Fysikk innebærer å forklare naturfenomener en observerer, ved hjelp av de spilleregler (naturlover) vi mener å ha funnet fram til. Det er selve naturprosessene som er vesentlige. Det er særdeles lite interessant å spørre etter navn og tallstørrelser. Jeg minnes at den ærverdige Albert Einstein ga klar beskjed om at den slags pugg heftet han seg ikke ved, men slo det først opp i tabeller når han eventuelt hadde bruk for det.

Når det legges vekt på slik død viten, vil selvsagt et fag oppleves like kjedelig som den evige salighet. Hvem bryr seg om å huske at størrelsen på Schwarzschildradius for jordkloden er omtrent 1/2 centimeter? Det vesentlige er å vite hvilke naturfenomener en vil oppleve innenfor og utenfor denne spesielle grensen. Det er også ganske vagt å spørre om hva et kvant er. Det viktige er at naturen er kvantisert.

Verre er det at i den runden der Jørn ble dømt nord og ned, var de to spørsmålene han valgte bort særdeles tvilsomme. Når en spør etter den norske betegnelsen på *"accreation disc"*, så viser det en utrolig mangel på språkfølelse å oversette til *"akkresjonsskive"*. Vi som etter fattig evne prøver å skrive populært, kaller dette en "tilvekst-" eller "oppsamlingsskive". Et ord bør gi umiddelbar assosiasjon. Jeg fatter ikke hvordan fagdommer tenker når han spør om dette. Han kan da ikke regne med at gutten har tilegnet seg fysikkkunnskapen ved å lese engelske lærebøker? Jørn skulle testes i fysikk, ikke i engelsk.

Det er absolutt feil å hevde at den matematiske betegnelsen på et svart hull er *singularitet*. Begrepet singularitet er mye mer omfattende. For eksempel representerer selve *Big Bang* en singularitet, men den singulariteten er hvitere enn snø. Den matematiske betegnelsen på et svart hull er ganske enkelt ikke annet enn: svart hull.

Jeg tok kontakt med programansvarlig og hoveddommer etter denne fadesen. Jeg gjorde dem oppmerksom på at to meningsløse spørsmål faktisk medfører at de har forandret spillreglene for Jørn. Av fem spørsmål måtte han svare riktig på alle fem for å klare seg. De unnskyldte seg med at han hadde fått snill behandling i forrige spørsmålsrunde, der han visstnok ikke hadde vært skikkelig presis da han fikk spørsmål om begrepet *"spagettifisering"*. Derfor skal jeg opplyse at dette ordet ikke har noen plass i fysikkens språk. Men Jørn svarte helt korrekt da han skildret hva som skjer med gjenstander når de blir utsatt for enorme tidevannskrefter. Her er det altså ikke tale om vennlig behandling, men kløne spørsmålsstilling.

Jeg tør påstå at fagdommer ikke har gjort skikkelig arbeid. Han kjenner tydeligvis ikke sin egen begrensning og kan ikke ha drøftet disse spørsmålene med kompetente og aktive forskere som behersker dette fagområdet. Slike fagpersoner finnes i vårt land. Rett nok er de ikke kjendiser for allmennheten. Som vår kloke forfatter Sigurd Hoel sa: *"Når en setter seg opp på den høye hest, er det en avgjort fordel å nå ned til stigbøylene."* Det er tydelig at media nå innbiller seg at det som er gildt for publikum, er programmer preget av skrik, skrål og de rene klovnestreker. Egentlig viser dette en nedlatende holdning og mangel på respekt for ungdom med grundig kunnskap. Jeg blir stadig forundret over at det er den samme snevre krets av "eksperter" som får uttale sin offentlige mening om tidens aktuelle spørsmål og blir innkalt for å delta som orakler i debatten om vanskelige problemer. Så denne fagdommeren er så langt fra den eneste kjendisen som media tror vil bringe det ønskede antall seere/lesere. Men jeg minnes med vemod den tid da en lun og vennlig Gunnar Haarberg ledet programmet med alvor og verdighet. Jeg synes Jørn Mjelva bør få en kraftig oppmuntring. Egentlig burde han få en ny sjanse. Han har krav på en uforbeholden unnskyldning. Slike gutter vil fysikken (og gamle Norge) ha!

Henning Knutsen

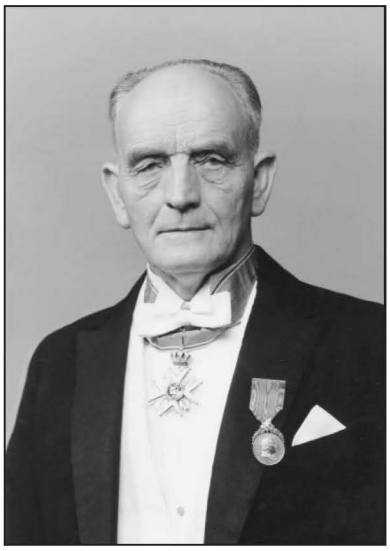
∞

Bokomtale

Inger Hylleraas Bø (red. John Midtdal): Gjetergutten som dro ut i verden. Eige forlag, 2006, (612 sider) 350 kr.

Den andre sida av Hylleraasen

Vi som møtte Egil Hylleraas den tida vi studerte, møtte ein professor av det gamle slaget som vi hadde uendeleg stor respekt for. Det sto age av Hylleraas og dei fire grå bøkene hans som var hovudfagspensum i fysikk. Knappe og konsentrerte som bøkene er, var dei ei kjelde til både sorg og glede. Ingen som gjekk opp til eksamen hadde fått med seg alt som der sto. Og la det vera sagt: Forelesingane hans kunne knapt seiast å bli framførte av



Egil Hylleraas som Kommandør av St. Olavs Orden (1964).

ein stor humorist. Det var lite av den moderne innstillinga av at "fysikk skal vera gøy". Likevel visste vi som hadde lese den populærvitskaplege boka hans "Atomene" og den sjølvbiografiske talen som han heldt på Hylleraassymposiet i Florida (trykt i Hylleraasheftet i Rev.Mod.Phys. **35**, 421–431 1963) at det var ei anna side av den ærverdige professoren. Men aldersskilnaden var så stor – Hylleraas var like gamal som dei yngste studentane hans er i dag, og vi som den gongen var unge studentar torde aldri å vende oss til han om ting utanfor fysikken.

Det var (og er), sant å seia litt rart å stå i vestibylen på fysikkbygningen, og sjå korleis Per Krogh har måla Hylleraas som ein ung mann under Einsteins metriske tensor som han forklarar til ein av gamlekarane på Fysisk. Per Krogh visste at Egil Hylleraas var ein stor mann, den fyrste professoren i teoretisk fysikk her i landet, og ein av pionerane som hadde overtydd verda om at Heisenberg og Schrödingers kvantemekanikk kunne forklare strukturen av materien.

Det blir ofte gløymt at Bohr-Sommerfelds teori for energitilstandane til hydrogenatomet faktisk verka betre enn den nye kvantemekanikken da han kom. For andre atom var derimot Bohr-Sommerfeld-teorien ein katastrofe. Det var i åra 1928 og 1929 at fysikarsamfunnet verkeleg vart overbevist om at Heisenberg hadde rett, og at ei ny tid var opprunnen. Paul Dirac fann fyrst si relativistiske likning for hydrogenatomet, og Egil Hylleraas viste like etterpå at toelektronproblemet fann si løysing innafor den nye kvantemekanikken. Hyller-

aasmetoden og Hylleraas-koordinatane er levande den dag i dag.

Men kva slags menneske var Egil Hylleraas? Det kan vi få eit temmeleg godt svar på i dag: Inger Hylleraas Bø har skrive bok om far sin, med titelen: "Gjetergutten som dro ut i verden." Det er ei mangslungen bok. Gjennom å fortelja om livet til Hylleraas, gjev ho ei velskreven framstilling, der samfunnsutviklinga i landet vårt frå slutten av 1800-talet og fram til 1965, dannar bakteppet for livet og arbeidet til faren. Hylleraas var fyrste presidenten i Norsk Fysisk Selskap og han var den som starta "Fra Fysikkens Verden" der han var redaktør i 17 år frå 1939.

For lesarane av denne bokmeldinga er det naturleg å interessere seg for kva som var, og kva som vart av Universitetet i Oslo frå han kom dit i 1918 som student. Og også for det unge Christian Michelsens Institutt i Bergen der han arbeidde frå hausten 1931 til han vart professor i Oslo ved nyttår 1937. På grunn av det internasjonale gjennombrotet hans som stipendiat hos Max Born i Göttingen frå hausten 1926 og utover, får vi kjennskap til brevvekslinga som han hadde med hovudpersonane i utviklinga av den nye fysikken, og til arbeidet med å få til eit skikkeleg fysikarmiljø her heime. Vi klagar og klagar. Og det med rette. Men les kva *han* klagar over og bli overtydde om at vi har det lettare!

Boka handlar langt meir om andre ting enn fysikk, og det er godt lesestoff for heile familien som den familiekrøniken ho er. Her er det stoff til mange TV-program!

Det heile startar med livet i Engerdalen, der eit folk berga seg på skrinn jord, om boklærdomen som kom sigande og førde til at far hans vart lærar og gardbrukar på Mellom-Hylleråsen. Egil var yngst i ein stor og evnerik syskenflokk, med ei mor som var av spelemannsætt. Han levde som fjellbygdsborn flest, med gjæting, fisking, gardsarbeid, tømmerhogging og Norsk Barneblad til han var 17 år og familien bestemde seg for at dei kunne hjelpe han på toårig middelskule. I breva hans frå ungdomen er sjølvsagt pengesorger eit alltid tilbakevendande tema. Men heile livet er han oppteken av heimegrenda og folket der. Av hus, hestar og andre skapningar. Av fiske, moltehaust, røyskattfangst, smørpris og alt som høyrer livet til.

Frå tida som elev ved Ragna Nielsens skole i Kristiania (1916–18) får vi ikkje berre bilete frå livet til ein bondestudent i krigstider, men også om generell rasjonering, om tome magar, og om ein slottspark som blir pløgd opp til potetåker.

Det er forresten eit fotografi frå 1943, ein seinare krig, som eg trur syboliserer Hylleraas si livsinnstilling: Han pløyer opp plenen framfor Universitetet på Blindern. Dei som dreg plogen hans er Werner Romberg (far til rombergalgoritmen i integrasjonsteori, seinare professor ved NTH og i Heidelberg) og Steingrim Skavlem (seinare professor i Bergen).

De må lesa denne boka! Gjerne nokre sider om gongen. Det er variert stoff! Om det av og til kan vera brev som er vel daglegdagse, så er det så mange andre ting også der: Det er omsorg, bekymringar, kjærleik og død. Det er krigshendingar frå Oslo og Engerdalen der de brente våre gårder, de drepte våre menn – det er kald krig og det er sorg over manglande støtte til vitenskapeleg arbeid. Det er reisebrev frå det store utland, det er kjendisar av fyrste klasse. Heile persongalleriet frå forskningsråd og universitetsliv i norden, før og etter krigen, møter ein der. Det er om sorger, gleder, ære, heider og slit. Det er ei finfin (jule-)gåvebok!

Boka kan bestillast frå Inger Hylleraas Bø, Fagertunveien 14, 1353 Bekkestua (tlf. 67 53 94 32).

Hallstein Høgåsen

∞

Nye Doktorer

Ingelin Clausen

Cand.scient. Ingelin Clausen forsvarte 16. juni 2006 sin avhandling *An implanted micro electro mechanical system for permanent measurement of human brain pressure* for graden dr.scient. ved UiO.

Ved Fysisk institutt, UiO, er det utviklet en sensorprototyp for permanent måling av trykk i hjernen hos pasienter som er operert for vannhode. Ny teknologi gjør det mulig å lage veldig små sensorer. Den utviklede trykkmåleren er ca. 5 mm^2. Undersøkelser viser at sensorene reagerer på små trykkforandringer i hjernen. Beregninger konkluderer med at sensoren kan måle trykkforandringer på 5 millibar. En silisiumskive på størrelse med en CD gir ca. 31 000 sensorer, og det kreves omfattende tilpasninger før de kan opereres inn i en menneskehjerne. I avhandlingen beskrives teknologiske løsninger på dette.

Det er ønskelig at sensoren virker tilfredsstillende i 10 år før den må byttes ut. For at dette skal oppnås er det viktig å beskytte den mot de fuktige omgivelsene i hjernen. Avhandlingen omfatter en grundig drøfting av problemstillingen, og en aktuell biokompatibel beskyttelsesfilm er testet. Resultatene viser at trykksensoren fungerer tilfredsstillende etter at den er belagt med en slik film.

Avhandlingen er del av et samarbeidsprosjekt mellom UiO, Rikshospitalet og SINTEF. Veiledere har vært Ola H. Sveen, Aasmund Sudbø og Tryggve Lundar. Ingelin Clausen er nå ansatt som forsker ved SINTEF IKT, Mikrosystemer og nanoteknologi.

∞

Live Eikenes

Siv.ing. Live Eikenes forsvarte 28. september sin avhandling *Transport of therapeutic macromolecules in tumour tissue: The impact of enzymatic degradation* for dr.ing.-graden ved NTNU.

Et hovedproblem ved kreftbehandlinger er at både kreftceller og normalt vev blir ødelagt. En behandling er derfor utviklet hvor terapeutiske molekyl bindes spesifikt til kreftcellene så skadene på normalt vev blir minimale. Slik behandling er basert på store molekyl som har problem med å nå fram til kreftcellene. Transporten er basert på diffusjon og konveksjon drevet av en konsentrasjonsgradient og en hydrostatisk trykkgradient over kapillærveggen og gjennom matriksen som omslutter cellene. Trykkgradienten over kapillærveggen er bestemt av forskjellen mellom blodtrykket i kapillærer og i den interstitielle væsken. Transporten gjennom denne væsken begrenses av nettverket av strukturproteinet collagen som befinner seg i en gel av polysakkarider.

Eikenes' doktorgradsarbeid har gått ut på å studere om enzymbehandling basert på collagenase og hyaluronidase som bryter ned den interstitielle matriksen, påvirker transportprosessene og øker opptaket og distribusjonen av de kreftspesifikke makromolekylene i tumorvev. Resultatene har vist at opptaket av to kliniske relevante makromolekyler har økt etter enzymbehandling av tumorvevet. Dette skyldes at enzymene øker trykkgradienten over blodåreveggen og øker diffusjonen av det terapeutiske molekylet.

Arbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTNU, med professor Catharina de Lange Davies som veileder, og er finansiert av NTNU og Den norske kreftforening. Live Eikenes er nå post doc. ved MR-senteret i Trondheim.

∞

Erlend Randeberg

Siv.ing. Erlend Randeberg disputerte 30. mai for dr.scient.-graden ved UiB med avhandlingen *Electric spark ignition of sensitive dust clouds in the sub 1 mJ range.*

Mange stoffer vil brenne med stor hastighet og voldsomhet når materialet er finkornet i en støvsky. Faren for eksplosjoner utgjør dermed en reell trussel i mange industrier der pulver håndteres. Kunnskap om hvilken energi som kreves for tenning er derfor viktig, men vanlig testapparatur er begrenset til gnistenergier ≥ 1 mJ.

Doktorarbeidet omhandler utvikling av utstyr for å generere elektriske gnister med svært lav energi og dette brukes til å undersøke hvorvidt slike gnister kan tenne støvskyer. En metode for å generere gnister ned mot 0,01 mJ demonstreres. Nyutviklede metoder og måleutstyr er tatt i bruk for å få nøyaktige målinger av energien i gnisten. Flere støvskyer viste seg å kunne tennes ved vesentlig lavere gnistenergier enn tidligere rapportert. Dette er av stor betydning for å kunne bestemme hvor energirike gnister som kan aksepteres i et industrianlegg. En metode for hvordan elektriske gnister kan tenne støvskyer er også undersøkt, og dispergeringen av støvskyen benyttes til å initiere gnistnedbrytning og mulig antennelse. Også under slike betingelser kan tennenergier under 1 mJ oppnås for enkelte typer støvskyer. Med bakgrunn i denne kunnskapen pekes det på behovet for å utvikle ny apparatur for testing av tennsensitiviteten til lettantennelige støvskyer.

Arbeidet er utført ved Institutt for fysikk og teknologi ved UiB med professor Rolf K. Eckhoff som veileder, og er finansiert av Norges forskningsråd. Randeberg er nå ansatt i IRIS, tidligere Rogalandforskning, og arbeider med gassteknologi.

∞

Håkon Sagberg

Cand.scient. Håkon Sagberg forsvarte 27. januar 2006 sin avhandling *Micromechanical optical filters for spectroscopy*, for graden Doctor scientiarum ved Universitetet i Oslo.

Sagbergs doktorarbeid viser at det er mulig å lage miniatyriserte instrumenter for måling av f.eks. temperatur, gasskonsentrasjon eller kjemisk sammensetning, basert på optiske prinsipper. Vi kan lage mikromaskiner med bevegelige deler som har dimensjoner sammenlignbare med lysets bølgelengde, omtrent en hundredel av diameteren til et menneskehår.

Doktorarbeidet tar for seg en ny anvendelse av slike maskiner: optisk måleteknikk. I slikt måleutstyr plukkes de relevante bølgelengdene i lyset ut med optiske filtre. Mikromekaniske filtre kan utnytte lysets bølgenatur til å kontrollere avbøyning og vekselvirkning mellom lysstrålene fra flere mikroreflektorer. Sammenliknet med tradisjonelle optiske filtre har slike filtre fordeler som lav pris, kompakt utforming, og høy modulasjonshastighet.

Håkon Sagberg har konstruert, fått bygget og testet mikromekaniske optiske filtre og utviklet metoder for beregning av styringssignalene for filtrene. Arbeidet omfatter også utvikling av nye måleteknikker som kan være aktuelle for framtidige filtre. Arbeidet har vært utført ved Fysisk institutt, UiO, og delvis ved SINTEF i Oslo og ved Stanford University i California. Veiledere har vært professor Aasmund S. Sudbø, Universitetsstudiene på Kjeller, og professor Olav Solgaard, Stanford University.

∞

Bjørn Hallvard Samset

Cand.scient. Bjørn Hallvard Samset forsvarte 24. februar 2006 sin avhandling *Charged particle production in p+p collisions at sqrt(s)=200GeV* for graden PhD. ved Universitetet i Oslo.

En atomkjerne er lik et glassmaleri når den kommer mot deg med nær lysets hastighet. Den går da over fra å være en klump av protoner og nøytroner til en ny og hittil ukjent type stoff kalt Farge-Glass-Kondensat (FGK). FGK kan lære oss mye om den sterke kjernekraften som er den sterkeste og minst kjente av naturkreftene. Dette er en mulig konklusjon på det første publiserte arbeidet i Bjørn H. Samsets PhD.-avhandling.

Samset har deltatt i eksperimentet BRAHMS ved Brookhaven National Laboratory i New York, der atomkjerner kollideres med nær lysets hastighet i akseleratoren RHIC. Han har studert kollisjoner mellom protoner og mellom deuterium og gullkjerner ved de høyeste energier som hittil er oppnådd. Resultatene sier noe om det nye stoffet FGK og om Kvark-Gluon-Plasma. Et Kvark-Gluon-Plasma kan sees på som atomkjerner i smeltet form, og Samsets konklusjoner viser at et slikt stoff igjen trolig er dannet ved RHIC.

Doktorarbeidet er utført i samarbeid med 50 fysikere i 11 land. Resultatene belyser muligheten for to nye former for stoff som hittil ikke har kunnet studeres systematisk, og andre grunnleggende egenskaper ved den sterke kjernekraften. Veiledere har vært professor Trine S. Tveter og professor Gunnar Løvhøiden.

∞

Atle Svandal

Cand.scient. Atle Svandal disputerte 22. februar for PhD-graden ved UiB med avhandlinga *Modelling hydrate phase transitions using mean-field approaches.*

Blandingar av gass og vatn kan ved spesielle trykk og temperatur danne eit isliknande stoff, hydrat, som har ein krystallstruktur der vassmolekyl dannar små holrom med plass til eit gassmolekyl. Mange gassar kan danne hydrat, men CO_2 og metan er serleg interessante. Det fins store mengder metan i hydratform i reservoar under havbotnen. Ved å pumpe CO_2 ned i desse reservoara vil det teoretisk vere mogleg å vinne ut metan samstundes som ein lagrar klimagassen CO_2. For at ei slik utvinning skal vere effektiv treng me finne ut meir om korleis hydrat oppfører seg under ei slik omdanning.

Atle Svandal har gjort teoretiske simuleringar av kinetikken for faseovergangar frå komponentar i fluidfase (vatn og metan eller CO_2) til hydrat. Han har også studert smelting av hydrat når desse vert utsette for reint vatn, ved fasefeltteori. Termodynamiske data for dei ulike fasane er utleia av molekyldynamiske simuleringar. For dei aktuelle systema er dynamikken knytt til varmetransport funnen å vere fleire størrelsesorden raskare enn massetransport. For system med signifikante forskjeller i fri energi mellom start- og sluttfasane, vil massetransport i dei fleste tilfelle vere den dominerande kinetiske begrensinga. Dette forenklar modelleringa og gjer det mogleg å utleie enkle samanhengar for faseovergangskinetikken som også kan brukast i teoretiske studium av konsept for utvinning av energi frå hydrat.

Arbeidet er utført ved Institutt for fysikk og teknologi med professor Bjørn Kvamme som rettleiar, og var finansiert av Noregs forskingsråd.

∞

Lina Lutnes Uri

Cand.scient. Lina Lutnes Uri forsvarte 3 mars 2006 sin avhandling *Compaction of ductile granular media: An experimental study,* for graden Dr.scient. ved Universitetet i Oslo.

Prosjektet er en eksperimentell studie av hvordan en samling av formbare kuler pakkes eller fortettes under gravitasjon. Mange systemer består av myke og formbare korn, og derfor er disse av stor interesse både vitenskaplig og industrielt. En fortetningsprosess av myke korn er også relevant for hvordan sedimenter pakkes sammen langt under havbunnen, og for forståelsen av hvordan sedimentkorn fordeler trykk mellom seg, noe som kan være svært viktig for olje- og gassindustrien.

I dette arbeidet er det målt kornposisjoner og total høyde av en samling formbare korn i en sylinder og mellom to plater, som funksjon av tid mens pakningen siger sammen under gravitasjon. Trykket på bunnen av pakningen er også målt som funksjon av tid, og viser en kompleks oppførsel som kommer av kornenes evne til å skifte form. Ved å sammenligne pakninger av formbare kuler med pakninger av harde kuler, ses store forskjeller i strukturen, noe som understreker betydningen av formbarhet i pakkeprosesser. Strukturen i pakninger av formbare korn ser derimot ikke ut til å være vesentlig forskjellig om de pakkes ved konstant hastighet istedenfor trykk.

Arbeidet er utført ved Fysisk institutt og senteret Physics of Geological Processes ved UiO, med professor Jens Feder og professor Torstein Jøssang som veiledere.

∞

Bjørn Thomas Vik

Cand.scient. Bjørn Thomas Vik forsvarte 24. mars sin avhandling *Global tracker for the ALICE High Level Trigger* for graden PhD. ved UiO.

ALICE-eksperimentet ved LHC-laboratoriet ved CERN skal måle kollisjoner mellom to stråler av blykjerner, hver med hastighet nær lysets. Hensikten med å studere slike kollisjoner er å få kunnskap om den sterke kjernekraften. Datamengden i disse kollisjonene er så enorm at det ikke er mulig å lagre alle. Det er derfor utviklet et system kalt High Level Trigger (HLT) som skal analysere kollisjonene mens eksperimentet pågår, og i sann tid lete etter spesielle signaturer for å lagre de interessante kollisjonene. Et viktig element i HLT-systemet er derfor sporgjenfinning av ladde partikler.

I doktorgradsarbeidet er det introdusert en metode for sporgjenfinning ved hjelp av kalmanfilter. En av hovedgrunnene for å bruke denne metoden er at den er spesielt godt egnet til å forbinde spor mellom alle de forskjellige detektorene i ALICE. Kalmanfilteret finner partikler med god effektivitet samtidig som det er meget raskt.

I tillegg er en bestemt signatur som HLT skal lete etter, undersøkt. Tunge partikler, kalt quarkonium, henfaller blant annet til dielektroner (e+e). En detektor i ALICE registrerer elektroner, men med en stor bakgrunn av elektroner fra andre kilder og fra andre typer partikler som feilaktig detekteres som elektroner. HLT analyserer partiklene og reduserer bakgrunnen med en faktor på mer enn ti.

Professorene Trine S. Tveter og Gunnar Løvhøiden har vært veiledere. Vik er nå forsker ved Forsvarets forskningsinstitutt.

∞

Trim i FFV

Kommentar til Cavoritt-problemet

Jeg har moret meg veldig med "Cavoritt-problemet". Etter å ha kommet til omtrent de samme resultater som i drøftingen gjengitt i FFV 2/06, begynte jeg imidlertid å se på jordas ferd rundt sola. Derfor kom det intet forslag fra meg i første omgang. Men etter å ha lest denne forenklingen som består i å betrakte jorda som et stillestående, roterende legeme i en fast avstand fra sola, tillater jeg meg å påpeke følgende.

I løpet av ett døgn bøyer jorda av ca. 1 grad i sin bane rundt sola (360 grader på 365 døgn). Det blir derfor en mindre forenkling å se bort fra at jorda roterer. Siden tildragelsen skjer kl. 06:00 om morgenen, befinner OT seg forrest i fartsretningen til vår planet. Dette er av mye større betydning for hans videre bevegelse enn Trondheims "rusletempo" rundt jordaksen.

Jorda beveger seg rundt sola med en fart på bortimot 2,6 mill. km pr. døgn, så selv om en grads avvik høres lite ut, betyr det at OT befinner seg ca. 45 000 km lenger unna sola enn studenten neste morgen (hvis jorda ikke roterer)! Nå begynner dette å bli rimelig komplisert, så jeg nøyer meg med dette innspillet da jeg ikke vet nøyaktig høyde på bygninger og trær i området.

Per Hauger

∞

Svar fra forfatterne

Vi syns det var gledelig å få en tilbakemelding på Cavoritt-problemet! Vi takker for innspillet, og konstaterer at det er helt riktig at vi ikke trakk inn jordas bevegelse rundt sola i våre beregninger. Vi antydet dette i siste avsnittet i diskusjonen i FFV 2/06. Mulighetene til utvidelse av problemstillingen er store, men vi ville begrense oss.

En inspirasjon til vår problemstilling var poeten/kunstneren Trond Botnens humoristiske dikt "Da Egenvekten" fra diktsamlingen "Nattordbok" (Gyldendal, 1970). Hvordan fløy egentlig disse monumentene? Kom de seg over åskanten, og over hvilken ås?

DA EGENVEKTEN

Da egenvekten for
tilhugget sten og bronse
forsvant skapte det
problemer for oss alle.

Over hele byen
tok monumentene av
fra sine sokler
og steg til himmels.
SAS DC-9 flight
til London kom inn i
meteorittregn av
norske bronsedyr
såsom høner, foler
og små rådyr
og falt gråtende i
Nordsjøen.

Nasjonalgalleriets
fasade ble stygt
skadet av byster
som med vold banet seg
vei til
friheten.

Det var på mange måter
en katastrofal dag
men det var et
betagende syn da
Vigelandsanlegget
forsvant over
åskanten.

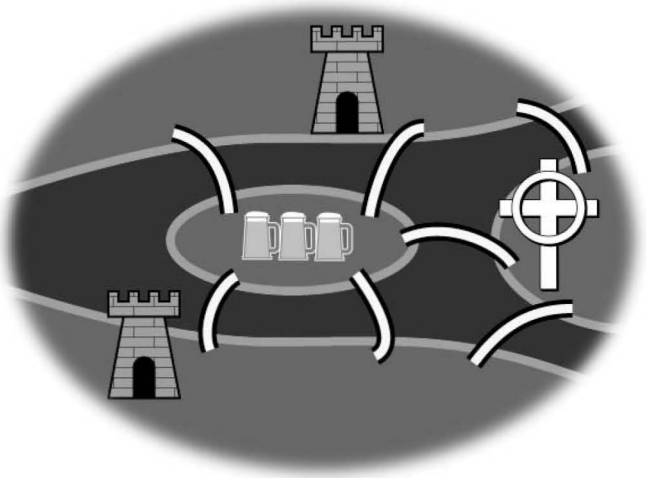
Med denne humoristiske innfallsvinkelen vil vi gjerne rette opp to feil i vårt løsningsforslag i FFV 2/06: Ligning (6) side 57 beskriver y-posisjonen (ikke x- posisjonen som var gitt i formel (3)). Og i nest siste avsnittet på samme side står det i en formel '$n \cdot 2d$', men det skal jo være '$n \cdot 2\pi$'. Forfatternes feil!

Anders Johnsson og Gunnar Stette

∞

Julenøtt: Broene i Königsberg

En gang bodde det to rivaliserende prinser i Königsberg. Prins Nord bodde nord for elva, og prins Sør bodde sør for elva. På en av øyene lå byens største kirke hvor biskopen holdt til, og byens beste vertshus lå på den andre øya, som vist på figuren.



Det var vanlig blant byens innbyggere å sitte på vertshuset og skryte av at de hadde klart å finne en rute over byens sju broer slik at de kom tilbake til startstedet etter å ha krysset alle broene én gang.

En dag finner prins Nord ut at han vil bygge en ny bro som skal gjøre det mulig for ham å starte hjemmefra, gå over alle broene kun én gang og ende på vertshuset. Han vil bygge broen på et sted som gjør det umulig for prins Sør å gjøre det samme. Hvor vil prins Nord bygge den åttende broen?

Nå vil prins Sør også bygge en bro som gjør det mulig for ham å starte hjemme, gå over alle broene kun én gang og ende på vertshuset. Denne broen skal gjøre det umulig for prins Nord å gjøre det samme. Hvor bygger prins Sør den niende broen?

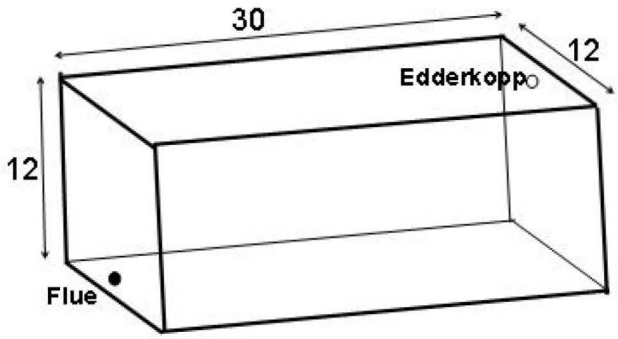
Biskopen ser seg lei på at mange av byens innbyggere havner på vertshuset og drikker seg fulle. For å bekjempe drukkenskapen vil han bygge en tiende bro som vil gjøre det mulig for alle å starte hjemmefra, uansett hvor de bor, gå en tur over alle broene eksakt én gang og ende hjemme. De må gjerne gå innom vertshuset for å ta et lite glass, men biskopen håper at alle vil gå hjem for å sove. Hvor bygger biskopen den tiende broen?

∞

FFVT 4/06

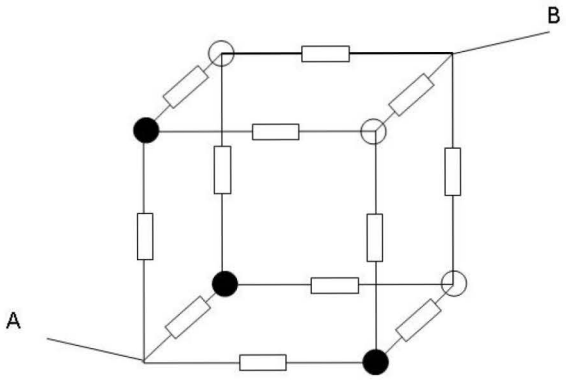
Edderkoppen og flua

En liten edderkopp og en flue er innestengt i et skrin med dimensjoner 12 x 12 x 30 cm (se figur). Flua sitter én cm over "gulvet", midt på den ene kortveggen. Den er stiv av skrekk siden den har oppdaget edderkoppen, og sitter helt urørlig. Edderkoppen sitter én cm under "taket", midt på den andre kortveggen, da den oppdager flua. Hvor lang er den korteste vegen edderkoppen må gå for å komme til flua? (Edderkoppen er like flink til å bevege seg i taket som på vegger og gulv.)



Løsning FFVT 3/06

Elektriske motstander på én ohm var koplet sammen som sidekanter i en kube, som på figuren. Oppgaven var å finne ut hvor stor motstanden var mellom punktene A og B.



De tre hjørnene nærmest A (merket med fylte ringer) må ha samme potensial siden de har like omgivelser. Vi tenker oss derfor disse tre hjørnene koplet sammen i et punkt C. Det samme resonnementet gjelder for de tre hjørnene nærmest B (merket med åpne ringer) som tenkes koplet sammen i et punkt D.

Motstanden fra A til C utgjøres av tre parallelle motstander på én ohm, til sammen 1/3 ohm.

Motstanden fra C til D utgjøres av seks parallelle motstander på én ohm, altså 1/6 ohm.

Motstanden fra D til B blir lik den fra A til C, nemlig 1/3 ohm.

Den totale motstanden fra A til B blir dermed 5/6 ohm.

∞

Nytt fra NFS

Fysikermøtet 2007

Det neste store Fysikermøtet i regi av Norsk Fysisk Selskap går av stabelen **8–10. august i Tromsø,** på et av byens større hoteller. Arrangementskomiteen ledes av prof. Asgeir Brekke ved Institutt for fysikk og teknologi, og er bredt sammensatt med medlemmer fra Universitetet i Tromsø, Kongsbakken videregående skole og NAROM (Nasjonalt senter for romrelatert opplæring). Komiteen er nylig kommet i gang med møteforberedelsene. Et av hovedtemaene blir naturlig nok romforskning, men på dette stadiet ønsker vi å invitere alle faggruppene i Norsk Fysisk Selskap til å komme med innspill og forslag både til sammensetning av programmet og på inviterte foredragsholdere.

Vi vil gjøre vårt beste for at møtet skal bringe sammen flest mulig fysikere fra hele landet i et minnerikt arrangement som alle vil ønske å delta på, eller ønske at de kunne delta på... *Husk å merke av dagene i kalenderen!* Vi vil komme tilbake med mer konkret annonsering på egne web-sider etter hvert.

På vegne av arrangementskomiteen
Åshild Fredriksen

∞

Priser til utdeling på Fysikermøtet

Norsk Hydros Birkelandpris i fysikk

Norsk Hydro ASA vil i 2007 gi 25 000 kr til en fagpris i fysikk som skal deles ut av Norsk Fysisk Selskap.

Prisen gis for fremragende norsk forskning innen fagområdet fysikk. Det vil bli lagt hovedvekt på at arbeidet skal være av høy faglig kvalitet. Prisen bør normalt ikke deles av mer enn to personer.

Simrad Optronics pris i elektro-optikk

Simrad Optronics A/S vil i 2007 gi 15 000 kr til en fagpris i elektro-optikk.

Prisen kan gis til én eller flere norske forskere som har sitt arbeidssted i tilknytning til norske institusjoner. Prisen gis for forskningsarbeid av høy faglig kvalitet innenfor elektro-optikk eller innenfor et fagområde der elektro-optiske metoder er anvendt. Både grunnleggende og anvendt forskning kan tilgodeses. Arbeidet bør være av nyere dato, fortrinnsvis innenfor de fem siste år.

Norsk Fysisk Selskaps Undervisningspris

Norsk Fysisk Selskap, med støtte fra Aschehoug, Cappelens Forlag, NKI-forlaget, Norsk Undervisningsforbund og Statoil, vil i 2007 dele ut Norsk Fysisk Selskaps Undervisningspris på 15 000 kr.

Prisen deles ut til én eller flere som gjennom sitt arbeid har gitt et konkret bidrag til utvikling av fysikkundervisningen i skolen (grunnskole og videregående skole). Formålet med prisen er å styrke fysikkundervisningen og belønne en innsats av høy faglig kvalitet. Innsatsen må kunne dokumenteres i form av artikler, rapporter, bøker eller andre læremidler. Det arbeid som fører til en pris bør helst være av nyere dato (gjerne innenfor de siste fem år).

For mer informasjon om prisene, se Internett *http://www.norskfysikk.no/nfs/priser/*

Vi oppfordrer våre medlemmer til å sende inn begrunnede forslag til kandidater til Norsk Fysisk Selskap, Institutt for fysikk, Høgskoleringen 5, 7491 Trondheim, innen 15. april 2007.

∞

Nye medlemmer 23. oktober 2006

Lars Ramstad Alme
Brinken 10, 7014 Trondheim

Olav Aursjø
Fysisk institutt, UiO, Pb 1048 Blindern, 0316 Oslo

Elise Bergli
Fysisk institutt, UiO, Pb 1048 Blindern, 0316 Oslo

Joakim Bergli
Fysisk institutt, UiO, Pb 1048 Blindern, 0316 Oslo

Bente Bjørkhaug
Spikkestadv. 119A, 3430 Spikkestad

Hege S. Bjørnsen
Sunnlandsskrenten 43, 7032 Trondheim

Dmitry Denisov
Fysisk institutt, UiO, Pb 1048 Blindern, 0316 Oslo

Spyros Diplas
Borger Withs gate 1, 0482 Oslo

Paul Dommersnes
13 Rue D'Houtpoul, 75019 Paris, France

Ivar Farup
Høgskolen i Gjøvik, Pb 191, 2802 Gjøvik

Ahmed Gmira
Institutt for fysikk, NTNU, 7491 Trondheim

Jorunn Hølto
Tiedemannsgt. 26B, 7030 Trondheim

Mihailo Jankov
Fysisk institutt, UiO, Pb 1048Blindern, 0316 Oslo

Ingvild Julie Thue Jensen
Threschowsgt. 23B, 0477 Oslo

Øystein Johansen
Fysisk institutt, UiO, Pb 1048 Blindern, 0316 Oslo

Mari Juel
Schøyensgt. 10 D, 7030 Trondheim

Tone Haug Lund
Rådhusplassen 15, H0303, 1430 Ås

Yves Meheust
Institutt for fysikk, NTNU, 7491 Trondheim

Armen-Sjur Minassian
Kongsberg Maritime AS, Pb 111, 3191 Horten

Michael Niebling
Fysisk institutt, UiO, Pb 1048 Blindern, 0316 Oslo

Anne-Cathrine Nilsen
Suomaluodda 15B, 9520 Kautokeino

Christian A. Nilsen
Brøsetv. 159B-17, 7050 Trondheim

Åge Andreas F. Olsen
Knut Valstadsv. 22, 0690 Oslo

Asle Opsahl
Dybdalsvei 2, I-182, 7051 Trondheim

Thomas Ramstad
Institutt for fysikk, NTNU, 7491 Trondheim

Øystein Rudjord
Jon P. Erliens vei 5, H0206, 0858 Oslo

Helene Rødal
Arne Bergsgårdsvei S-14, 7033 Trondheim

Mateusz Røstad
Fysisk institutt, UiO, Pb 1048 Blindern, 0316 Oslo

Håkon Sagberg
Haakon den godes vei 16, 0373 Oslo

Stephane Santucci
Fysisk institutt, UiO, Pb 1048 Blindern, 0316 Oslo

Børge Schelderupsen
Christian Fredriksgt. 82A, 7030 Trondheim

Svein Åsmund Slungård
Jonsvannsveien 45, 7051 Trondheim

Margrethe Steine Solevåg
Museumsvegen 8, 6413 Molde

Rune Strandberg
Institutt for fysikk, NTNU, 7491 Trondheim

Harald Georg Svendsen
Carl-von-Ossietzky-str 34, D-14471 Potsdam, Germany

Henrik Tollefsen
Institutt for fysikk, NTNU, 7491 Trondheim

Jørn Inge Vestgården
Anna Rogstadsv. 20, 0592 Oslo

Jan Ludvig Vinningland
Chr. Michelsensgt. 31, 0568 Oslo

Erik Wahlström
Bøckmans veg 85, 7022 Trondheim

Helge Weman
Telekom., NTNU, 7491 Trondheim

Bjørn Helge Østerås
Nils Lauritssønsvei 12B, 0854 Oslo

∞

B-BLAD

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

Retningslinjer for forfattere

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

President:
Professor Anne Borg
Institutt for fysikk, NTNU
e-post: anne.borg@phys.ntnu.no

Visepresident:
Professor Gunnar Løvhøiden
Fysisk institutt, UiO.
e-post: gunnar.lovhoiden@fys.uio.no

Styremedlemmer:
Forsker Gunnar Arisholm
Forsvarets forskningsinstitutt, Kjeller
Førsteaman. Øystein Elgarøy
Inst. for teoretisk astrofysikk, UiO.
Forsker Ole Martin Løvvik
Senter for materialvitenskap og nanoteknologi, UiO.
Førsteaman. Kjartan Olafsson
Inst. for fysikk og teknologi, UiB.
Forsker Rolf V. Olsen
Inst. for lærerutd. og skoleutvikling, UiO.
Professor Einar Sagstuen
Fysisk institutt, UiO.
Professor Jon Samseth
Høgskolen i Akershus, Nordbyhagen.

Selskapets sekretær:
Stip. Henning Frydenlund Hansen
Institutt for fysikk, NTNU,
Høgskoleringen 5, 7491 Trondheim.
Tlf.: 73 59 07 26, Fax.: 73 59 77 10
e-post: henning.hansen@phys.ntnu.no
Bankgiro: 7878.06.03258

Fra Fysikkens Verden

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

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

Redaksjonskomité:
Førsteaman. Åshild Fredriksen
Inst. for fysikk, UiTø.
Professor Per Osland
Inst. for fysikk og teknologi, UiB.
Professor Per Chr. Hemmer
Inst. for fysikk, NTNU.
Førstelektor Ellen K. Henriksen,
Fysisk inst., UiO.

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

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