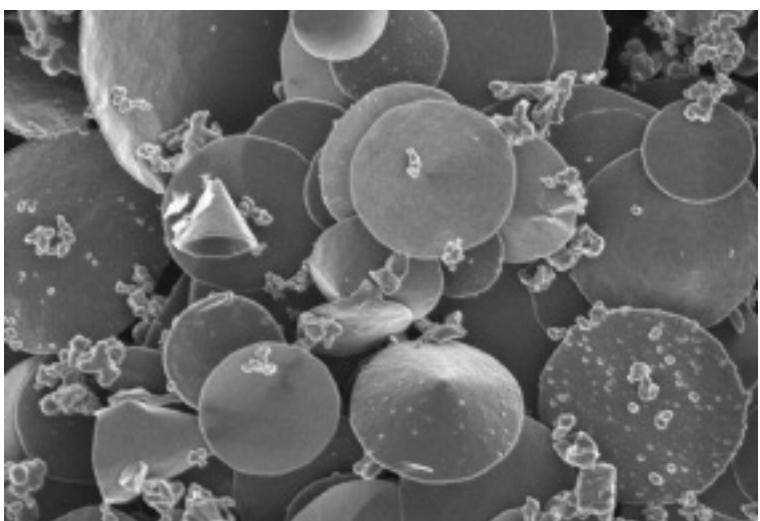


Fra Fysikkens Verden



Karbonmateriale med skiver, kjegler og amorf partikler
(Se artikkelen: Karbonkjegler og magiske væsker)

Nr. 2 – 2009

71. årgang

Utgiver:

Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:

Øystein Elgarøy
Øyvind Grøn

Redaksjonssekretær:

Karl Måseide

Innhold

E. J. Samuelsen og D. W. Breiby: Røntgenlaser.....	42
E. J. Samuelsen og D. W. Breiby: Solceller av organisk materiale ..	47
Svåsand, Helgesen og Skjeltorp: Karbonkjegler og magiske væsker	52
Juzeniene, Dahlback og Moan: Fysikkfeil i medisinsk forskning ..	57
Fra Redaktørene	38
FFV Gratulerer.....	38
Gunnar Løvhøiden	
Arne Valberg	
Ola Hunderi	
Ove Havnes	
Hva skjer	60
Fysikermøtet	
Fysikkolympiaden	
Bokomtaler	62
Leif Wedøe: Glimt fra eksperimentets historie	
Arne Totland og Truls Sevje: Thorium – miljøvennlig kjernekraft	
Nye Doktorer.....	65
PhD Jacob Linder	
PhD Bjarte Gees Bokn Solheim	
PhD Ane V. Vollnes	
Trim i FFV	67

Fra Redaktørene

Fysikermøtet går i år av stabelen på Røros 12–14. august. Som leder i en av faggruppene i Norsk Fysisk Selskap har en av redaktørene deltatt i arbeidet med å få universitetsfysikere til å melde seg på. Det har ikke vært enkelt. Arrangøren har kommet med gjentatte bekymringsmeldinger, men det ser ut til at deltagertallet blir så vidt høyt nok til at det er forsvarlig å avholde møtet.

Grunnene til at det er vanskelig å få folk til å melde seg på kan være mange. Driftsbudsjetten er trange og det må prioriteres hardt. Dersom valget står mellom å reise på et internasjonalt møte innenfor eget fagfelt og Fysikermøtet, er det forståelig at mange må velge det første.

De siste årene har Fysikklærerforeningen arrangert sitt møte i forbindelse med Fysikermøtet. Dette har vært en svært god ordning, i hvert fall sett fra en universitetsfysikers ståsted. Det har gitt kjærkommen anledning til kontakt med de mange dyktige fysikklærerne ute i skoleverket, og de har bidratt med mange interessante plenumsforedrag. Men Fysikermøtet faller muligens på et uheldig tidspunkt for lærerne, og de aller fleste skoler prioriterer dessverre ikke å gjøre det økonomisk mulig for sine fysikklærere å delta.

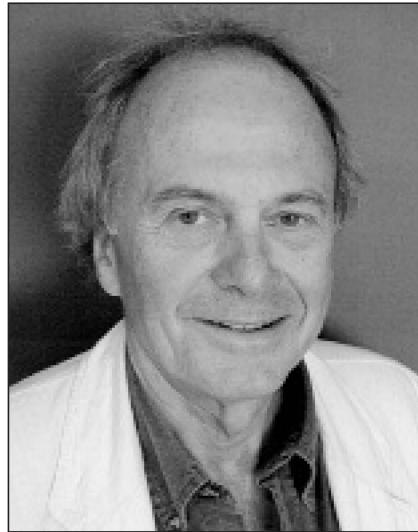
Det er mulig det er på tide å tenke nytt om Fysikermøtet. Bør det arrangeres på steder og til tider som gjør det enklere og billigere å delta? Bør det tenkes nytt om selve arrangementets formen? Hvem skal arrangementet primært være for? Fysikere på universiteter og høyskoler, studenter eller lærere?

Det er viktig å opprettholde Fysikermøtet som et treffpunkt for fysikkmiljøene i Norge. Men det er også klart at med synkende deltakertall vil det bli vanskelig å få noen til å ta på seg jobben med å arrangere møtet. Det kan derfor være lurt for Norsk Fysisk Selskap å bruke litt tid i tenkeboksen for å se hvordan arrangementet best kan føres videre.

∞

FFV Gratulerer

Gunnar Løvhøiden 70 år



Den 12. mars i år fylte professor Gunnar Løvhøiden 70 år, og Fysisk institutt i Oslo fikk nok en aktiv professor emeritus. At han i sin tid skulle velge kjernefysikk og høyenergifysisikk som sin arena var kan hende et resultat av tilfeldigheter. Løvhøiden er også alltid vært en kulturperson som har grunnet på de største spørsmål i livet. Filosofien har alltid stått ham nær, hans forståelse og toleranse overfor medmenneskers ulike syn og holdninger, hans refleksjon og hans klokskap har gjort ham til en vi gjerne lytter til. Han er en person som ser igjenom og bakenfor de mange motepregede retninger og holdninger innen vitenskap og i samfunnet for øvrig. Det er derfor kanskje ikke så overraskende at han som fysiker gradvis orienterte seg mot og etter hvert viet storparten av sin forskningstid og kraft til å forstå litt mer av hvordan verden ble til gjennom ”det store smellet”, og kanskje tiden før dette øyeblikket.

Etter embetseksamen orienterte Løvhøiden seg mot de fremste internasjonale forskningsinstitusjoner og grupper i sitt spesialområde. Hans første utenlandsopphold var ved Niels Bohr Institutet i Danmark, på den tid det internasjonale kraftsentrum innen strukturforskningen i kjernefysikk. Han ønsket å finne sammenhengen mellom hvordan de enkelte nukleonene i atomkjernen organiserte seg og hvordan de samtidig etablerte kollektive og koherente bevegelsesformer. Videre ville han vise hvor-

dan disse igjen påvirket nukleonenes bevegelse i skallstrukturer. Hans doktorgrad fra 1971 var viet dette feltet, et felt som fremdeles byr på mange ubesvarte spørsmål. At flere norske kjernefysikere arbeider med strukturproblemer også i dag kan i stor grad tilskrives den påvirkning og inspirasjon som Løvhøiden omga seg med.

Strukturforskingen førte ham til Mac Master-universitetet i Canada, der han både knyttet viktige faglige kontakter og gjorde utmerket forskning. Allerede i 1973 fikk han fast ansettelse som dosent ved Fysisk institutt i Bergen. Deretter reiste han til Los Alamos i New Mexico. Med Bergen som base bygget han gradvis opp en forskningsgruppe for å studere fenomener knyttet til ultrarelativistiske kollisjoner mellom tunge kjerner. At dette var en pionervirksomhet som åpnet for nye og spennende ekspedisjoner inn i den nukleære materialet har ettertiden i fullt monn vist. Den siste og hittil største satsingen ved kjerneforskningsenteret CERN er LHC-akseleratoren som kan produsere stråler av de tyngste kjerner med ekstreme energier. I år vil den bli tilgjengelig som instrument for vitenskapen.

Løvhøidens målrettete innsats for å finne metoder til å påvise eksperimentdannelse av kvark-gluonplasma, en tilstand man mener kan ha eksistert i de aller første øyeblikk etter "det store smellet", virket som en magnet på unge fremadstormende studenter og stipendiater. Da Løvhøiden valgte å skifte universitet i Bergen med universitetet i Oslo, der han bor i to minutters gangavstand til Fysisk institutt, bygget han raskt opp en spennende forskningsgruppe også i Oslo. Gruppene i Oslo og Bergen, begge med Løvhøiden som den samlende kraft, har i alle år vært norsk fysikkens viktigste bidragsyter til den felles vitenskapelige internasjonale innsatsen som ligger til grunn for LHC-sastningen i CERN.

Løvhøiden og hans medarbeidere har, fra midten av 1990-årene og til nå, vært sterkt engasjert i tre viktige samarbeidsprosjekter i CERN. Disse er NA57, BRAHMS og ALICE. Dette er store internasjonale prosjekter, og Løvhøidens gruppe har konsentrert sin virksomhet om reaksjoner mellom tunge ioner og mellom protoner, der de ekstreme forholdene forventes å gi informasjon om kvark-gluonplasma. Den norske gruppen er sterkt engasjert i så vel den rent eksperimentelle og instrumentelle delen som i analysen av data.

Norsk fysikk på alle nivåer setter stor pris på Gunnar Løvhøiden. Allerede i 1991 ble han medlem

av Det Norske Vitenskaps-Akademci. Han er president i Norsk Fysisk Selskap, og har deltatt i flere internasjonale styrer og råd. I 2005 var han den første mottaker av Birkelandprisen. Han legger stort arbeid i å gi studentene det aller beste, og er en meget høyt verdsatt lærer og en usedvanlig glimrende og engasjerende foreleser. Han er også lærebokforfatter. Samtidig er han i god fysisk form, bl.a. går han fremdeles så lange skiturer i Oslo-marka som hans jevnaldrende kolleger bare kan drømme om.

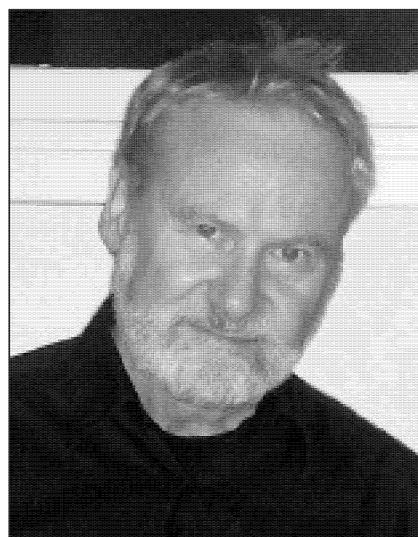
Hans mange utmerkelser og store internasjonale anerkjennelse har i liten grad påvirket hans framferd; han er sannsynligvis den minst høytidelige person i norsk fysikk. Dette demonstrerer han blant annet hvert år når han på kjernefysikkgruppens julebord, til stor jubel, underholder med Einar Roses uforglemelige vise om "Karl Johan og jeg på kjøretur".

På vegne av norske fysikere gratulerer vi Gunnar Løvhøiden med de fylte 70 år!

John Rekstad og Finn Ingebretsen

∞

Arne Valberg 70 år



Nyttårsaften i 2008 ble professor Arne Valberg, Institutt for fysikk, NTNU, 70 år. Arne Valberg har forsket og undervist ved fysikkinstututtene i Oslo og Trondheim som hovedsentra, men hans aktiviteter har hele tiden hatt tette kontakter og forbindelser til det internasjonale forskningsmiljøet innenfor hans interesseområder.

Arne fulgte opp et klassisk tema innenfor biofysikken: egenskapene til menneskets syn, og spesielt fargesynet. Det har utviklet seg til et stort område som omfatter nevrofysiologi, koding og informasjonsoverføring til synsentrum i hjernen m.v. Kanskje er det enklest å prøve å samle Arnes forskningsaktivitet under to rubrikker: fargesynets psykofysikk inkludert måling av farger, samt fargesynets nevrofysiologi.

Dr.philos.-graden ble tildelt fra Universitetet i Oslo i 1976 basert på avhandlingen "Color induction. A study of lateral interactions in human vision". Som bakgrunn hadde Arne gjennomført et cand.real.-studium i fysikk med dyptgående studier i utlandet, bl.a. ved det prestisjefylte Karl Miescher Laboratoriet for fargemetrikk ved Universitetet i Basel.

Sammen med grupper i bl.a. Freiburg og Göttingen, arbeidet Arne både med psykofysiske prosjekter og med nevrofisiologiske undersøkelser – på det sistnevnte området skal spesielt hans fruktbarende samarbeid med professor Barry Lee ved Max Planck Institute for Biophysical Chemistry i Göttingen, nevnes. Sammen påviste de blant annet at grunnlaget for øyets spektrale lysvirkningsgrad lå i de magnocellulære cellenes respons. Dette arbeidet knyttet på en overraskende måte forbindelsen til psykofysiske forsøk som Arne hadde utført under et forskeropphold i USA ca. 10 år tidligere. Finansiering skjedde i mange år ved midler fra NAVF.

Sammen med Thorstein Seim utviklet Valberg og Lee modeller som simulerte responsen til forskjellige typer celler som svarer på kromatiske eller akromatiske stimuli. Deres resultater er etter hvert arbeidet sammen i en modell for fargesyn og fargediskriminering basert på de relative bidragene fra seks basale celletyper. Nylig er også modellen blitt utvidet til å gjøre rede for akromatiske effekter.

Arnes akademiske tilknytning var først til Universitetet i Oslo og så til Trondheim, hvor han har vært professor siden 1991. Interessant nok ble hans professorat i Trondheim i de første årene finansiert av Thonning Owesens legat mot forpliktelse for Universitetet i Trondheim til å ta over professoratet etter et antall år. Framsynthet på flere fronter!

Arne Valberg foreleste i en rekke år fysikkfag i Oslo og Trondheim, men han har framfor alt kunnet gi kurs i sine spesialiteter, populært kalt "Syn og Farge", innenfor fysikkstudier, innenfor nevrovitenskapelige studier og programmer, innenfor arkitektstudiet osv. Som resultat av undervisningen og forskningen ga han i 1998 ut boken "Lys Syn Farge".

Den fikk god spredning og oppmerksomhet, og John Wiley & Sons ga i 2005 ut en engelsk, utvidet utgave på 460 sider, med tittelen "Light Vision Color". I de siste tre årene har Arne vært leder av "Fargelandsbyen" i et tverrfaglig kurs "Eksparter i team". Siste års landsby laget en bok om farger i natur, kultur, kunst og naturvitenskap, som vil bli utgitt på Tapir i løpet av 2009.

Arne har viet stor arbeidsinnsats til internasjonal komitéarbeid, bl.a. som nasjonal representant i Division I, Colour and Visison, av CIE (Commission Internationale de l'clairage), standardiseringsmyngheten for lys, belysning, farge og fargerom. Han er medlem av en rekke vitenskapelige selskap, bl.a. er han Fellow of the Optical Society of America. I 2009 ble han av det tyske Verband Farbe nominert til "The Judd Award" som deles ut av Association Internationale de la Colour (AIC).

Av internasjonal betydning var også en NATO Advanced Research Workshop som Arne var ansvarlig for på Røros i August 1990 ("Advances in understanding Visual Processes"). Sammen med Lee var Arne editor for samlingsvolumet fra denne konferansen ("From Pigments to Perception", NATO ASI Series, Plenum 1991). Flere av bidragene blir meget sitert i litteraturen.

I flere år har Arne vært sentral i interdisiplinære og strategiske programmer ved NTNU. Som leder av Programstyret for nevrovitenskap, tok han på slutten av 90-tallet initiativ til å opprette et tverrfakultært studieprogram innen nevrovitenskap. Grunnlaget ble lagt for det som nå er gruppene rundt Kavli Institute of Neuroscience, NTNU, og strategiske grupper rundt professorene Moser og Mustaparta, hvor man har koncentrert seg om nevrale mekanismer til sensorfunksjoner og til hukommelse. Et viktig EU-prosjekt i årene 2002–2006 fokuserte på fotoreseptorer dynamikk i "Age-related macular degeneration" (makula er en del av retina og rammes av nedbryting hos mange eldre). Spesielt bør også nevnes den kontakt som Arne Valberg og hans forskergruppe har hatt med Tambartuns statlige senter for synshemmde i Melhus. Denne kontakten mellom universitet og en nasjonal institusjon (både når det gjelder forskning, instrumentutvikling, undervisning, etc.) eksemplifiserer klart den nytte og glede som universitetsforskning på høyt nivå kan gi til klienter og "eksterne" institusjoner.

Arne Valbergs arbeider innenfor biofysikken har høyt internasjonalt nivå og har gitt spin-off innen diagnose og behandling, har ført til doktorgrader

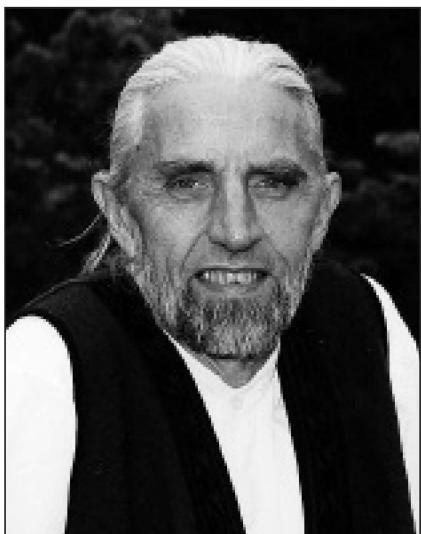
og til gode kontakter i akademia. Det er en glede å se hvordan basal og grunnleggende biofysikk kan bygge broer til anvendelser og praktisk betydning for mennesket og pasienten i samfunnet – i dette tilfellet for synshemmede. I sjeldent høy grad kan Arnes virksomhet derfor sies å ha vært viktig for forskning og for samfunnet i bred forstand.

Vi ønsker Arne Valberg fortsatt mange aktive år fremover!

Anders Johnsson og Tore Lindmo

∞

Ola Hunderi 70 år



Professor Ola David Rå Hunderi vart 70 år 4. februar 2009. Han er fødd i Lærdal, og tok gymnasiet i Sogndal, følgd av sivilingeniøreksperten i teknisk fysikk ved NTH i 1963. Etter militærente og eitt år ved NTH som vitskapleg assistent, bar det til utlandet med Ola. Først var det Universitetet i Maryland, USA, der han tok doktorgraden i 1970. Så vart det to år ved Victoria-universitetet i Wellington, Ny Zealand, og deretter fire år ved Chalmers i Göteborg. I 1976 var han tilbake i Trondheim, som forskar og vikarprofessor ved Institutt for metallurgi til 1981, også med engasjement i SINTEF. Frå 1982 har han vore professor i fysikk ved NTH og NTNU, med fagområde anvendt optikk.

Hunderi har ein stor vitskapleg produksjon, med over 180 publikasjonar, som dekker eit breitt spektrum av emne innanfor materialoptikk og optiske spektroskopimetodar på den eine sida, og fysikalsk

metallurgi på den andre sida. Han var med å utvikla optisk refleksjons- anisotropisk spektroskopi, og han gjorde pionerinnsats ved å introdusere numeriske simuleringar av kornvekst i metall-legeringar. Forutan å vere medlem av Norsk Fysisk Selskap, Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab og Norges tekniske vitenskaps-akademi, er han medlem av Norsk metallurgiske selskap, European Optical Society, American Physical Society, SPIE (the International Society for Optical Engineering) og er Fellow av The Institute of Physics (UK). Han har eit stort internasjonalt kontaktnett og har vore gjesteprofessor i Wellington (NZ), Berlin og Paris.

Ved NTNU er Hunderi kjent som ein inspirerande forelesar og ein god pedagog. Forutan forelesingsnotat i eigne fag er han medforfattar av det norskspråklege lærebokverket "Generell fysikk for universiteter og høgskoler" (1999), og han er medredaktør av oppslagsverket "Surface characterization" (1997). Han har vore rettleiar for mange titals hovudfagskandidatar og doktorandar, og ved 70-årsfeiringa vart han varmt hylla av mange av studentane sine.

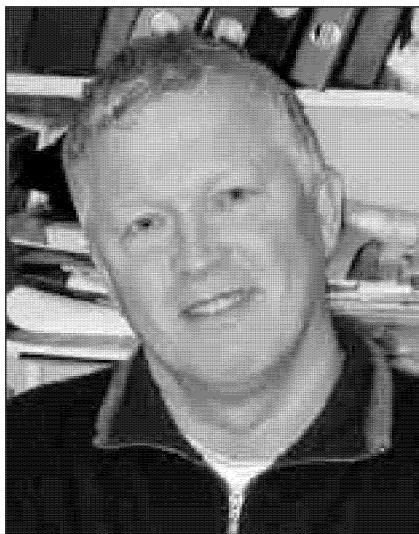
Hunderi har naturleg nok vore medlem, ofte også formann, i ei rekke komitear og styringsutval på universites-, fakultets- og institutt-nivå, og i Forskningsråds- komitear. Han har alltid vore ein kar med stor energi og tiltakslyst. Den enkeltsaka som kanskje er mest markant er initiativet til å få oppretta ei avdeling for fysikk ved SINTEF. Det var mange av oss kollegaer som var heller ambivalente då han la fram planane midt på 1980-tallet, m.a. fordi vi frykta den ubalanserte lønspolitikken mellom SINTEF og universitetet. Men ei Avdeling for anvendt fysikk vart oppretta, og Hunderi vart sjølv leiar for avdelinga i 1987–1993. Den lever i beste velgåande, om enn under nytt namn etter indre omorganiseringar i SINTEF.

På NTNU er der elles to godt synlege spor etter Hunderi sine idear. På brinken mot sørvest står ein stor kuleforma bolle med frostvæske i på eit høgt stativ, med ei krum, utskiftbar metallplate bak, slik at sollyset som blir fokusert av bollen, set merke på metallplata medan sola går. Konstruksjonen er dimensjonert etter Hunderi sine utrekningar. Slik har NTNU skapt sin spesielle årsferdskrivar. Og i Realfagbygningen heng ein 25 meter lang Foucault-pendel og svingar og fortel besøkande om at jorda roterer, installert i 2007 etter initiativ av Hunderi.

Emil J. Samuelsen og Anne Borg

∞

Humboldtprisen til Ove Havnes



Professor Ove Havnes ved Institutt for fysikk og teknologi, Universitetet i Tromsø, ble 21. april tildelt Humboldtprisen med et beløp på EUR 60 000 som anerkjennelse for utmerket innsats i utdanning og forskning. Havnes har gitt betydelige bidrag til støvplasmafysikk både teoretisk og eksperimentelt med anvendelser av støvplasmaforskning i den øvre atmosfære og i verdensrommet. Han fant opp en liten probe for å detektere ladete støvpartikler i mesosfæren og var den første som brukte små raketter for dette formålet. Havnes-parameteren karakteriserer ladningen av støvpartikler i et plasma. Havnes forutsa teoretisk og beviste eksperimentelt den såkalte "overshoot" effekten som skjer ved künstig oppvarming av mesosfæren med høyfrekvente radiobølger. Vi gratulerer Ove Havnes med en prestisjetung og velfortjent pris!

Cesar La Hoz

∞

Røntgenlaser

*Emil J. Samuelsen og Dag W. Breiby **

Røntgen er blant dei viktigaste forskingsverktøya som finst, og har gitt uvurderlege bidrag til alle greiner av naturvitenskapane. Det nyaste på området kallar ein for XFEL, "X-ray free electron laser", som kan vere meir enn 10 milliardar gonger sterkare enn røntgenstrålane ved synkrotronanlegget ESRF i Grenoble, og som i tillegg har eigne skapar som opnar for å studere prosessar ein ikkje kunne ha drøymt om å studere før. Spesielt interessant er avbilding på atom- og molekylnivå ved bruk av røntgenholografiske metodar, og å kunne studere kjemiske reaksjonar på naturens eigen tidsskala, femtosekund.

* Institutt for fysikk, NTNU, Trondheim.

Røntgen og vitskap

Wilhelm Conrad Røntgen skjøna nok at han hadde gjort ei stor oppdaging då han registrerte røntgenstråling for første gong i 1895, men han kunne vel snautt ha føresett den kolossale betydninga som røntgenstråling skulle få, både i fysikk, kjemi, biologi og medisin. Særleg nyttig er røntgen for materialforsking. Ein får kunnskap om prøva ein granskar ved å sende stråling inn og studere detaljane i strålinga som blir spreidd ut att. Tilsvarande eksperiment kan ein også gjøre med elektron, nøytron og synleg lys, som alle er komplementære teknikkar, kvar med sine sterke og svake sider. Røntgen utmerker seg spesielt med høg gjennomtrengingsevne i mjukt materiale, noko som opnar for ikkje-destruktive studium av biologisk materiale, som indre organ.

Røntgenstråling gir informasjon om *struktur og morfologi* gjennom diffraksjon og spreiling, om *elektroniske tilstandar* gjennom spektroskopi av ulike slag, og om *tilstand* gjennom ymse avbildingsteknikkar, mellom anna mikrotomografi, som svarar til CT som vi kjenner frå sjukehusa for bruk på pasientar.

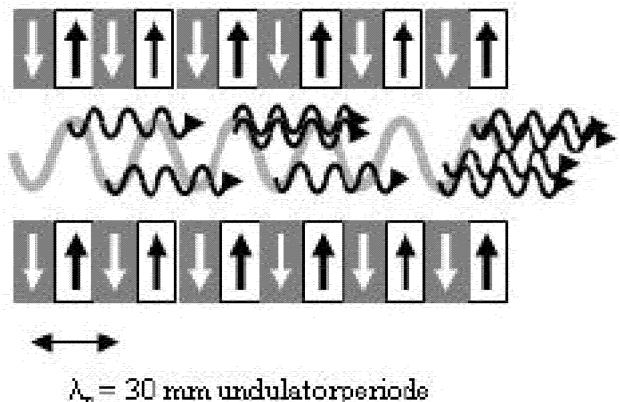
Røntgenkjelder

Elektromagnetisk stråling oppstår når elektriske ladningar blir akselererte, det vil seie endrar fart eller retning. "Klassisk røntgen", slik denne strålinga vart oppdaga, blir laga ved at ein elektronstraum blir akselerert over ei spenning på nokre titusen volt, og denne straumen treffer eit metall (ein anode). Elektrona bråstoppar mot metallt, noko som inneber ein kraftig negativ akselerasjon, og røntgenstråling blir sendt ut frå treffpunktet. Moderne utgåver av røntgenrør gir høgare strålingsutbytte ved at anoden roterer, og derfor kan fordele elektronstrålen over eit større område. Statiske og roterande røntgenkjelder er standard laboratorieutstyr.

Partikkelakseleratorar har vore i bruk som kjernefysisk verktøy ved blant anna CERN i over 50 år. Lada partiklar, særleg elektron og proton, blir akselererte til høg fart før dei blir brukte som prosjektil mot atomkjernar eller andre partiklar som skal studerast. Ofte blir partiklane sendt inn i ei rundbane, ein lagringsring eller *synkrotron*, før dei blir nytta. Men ladningar i rundbane er under stadig fartsendring og sender derfor ut elektromagnetisk stråling i banen sin, første gong observert i 1947. Slik stråling, som fekk nemninga *synkrotronstråling*, har vist seg å vere eit særskilt kraftig forskningsverktøy, og blir no framstilt i storskalaanlegg for eit vidt spekter av forskingsformål over heile verda. Stråleutbyttet er fleire hundretusen gonger sterkeare (høgare brillians) enn for laboratoriekjeldene.

Ved å la elektronstrålen passere gjennom innretningar med alternerande magnetfelt, påvingar ein, ved hjelp av lorentzkrafta, partiklane ei siksakkrørsle (i tillegg til banerørsla i lagringsringen) som forsterkar røntgenutbyttet ytterlegare. Ei skisse av ei slik innretning, som blir kalla *undulator*, er vist i figur 1.

Med synkrotronstråling, som ved anlegga ESRF i Grenoble, Hasylab i Hamburg og Maxlab i Lund, kan ein lage svært veldefinerte strålar, veleigna for å studere overflater og grenseflater, mikroprøver og minikristallar. Krystallstrukturar av proteinar



Figur 1. Ein undulator. Magnetiseringsretninga til magnetane er gitt med piler. Elektronstrålen kjem frå venstre og blir avbøyd av magnetelta, og får ei siksakkbane, eigentleg i eit plan loddrett på papirplanet. Elektromagnetisk stråling med polarisasjon i svingeplanet blir generert i svingane. Undulatoren er konstruert slik at dei ulike fotona frå eit gitt elektron vil bygge opp intensiteten koherent (amplitudesummasjon). I ein frielektronlaser vil det i tillegg vere korrelasjon mellom elektrona som gjer at intensiteten aukar ytterlegare.

og andre makromolekyl kan løysast på rutinebasis. Jamvel magnetismestudium er tilgjengelege med synkrotronrøntgen. Tidsoppløyste studium ned mot ps-oppløysing er muleg i gunstige tilfelle.

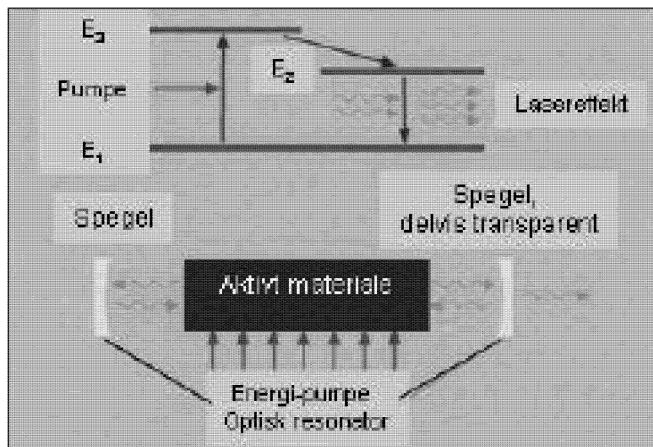
Denne artikkelen handlar om prinsippa og verkemåten for *XFEL*, "X-ray free electron laser", ein radikalt ny teknikk for å skape sterkt røntgenstråling, som bygger på ei sjølvforsterking av røntgenstrålen ved ein laserliknande effekt.

Laser for synleg lys

Ein laser er ei innretning utvikla for synleg og infraraudt lys som forsterkar strålen og gir han ei veldefinert retning. Laser er akronym for *Light Amplification by Stimulated Emission Radiation*.

Laseren har fire hovudkomponentar: Ei "energipumpe", eit "aktivt medium", eit "resonansrom" og eit "uttak". Energipumpa er ei innretning som tilfører energi som eksiterer det aktive mediet, ofte ein gass, til ein høg-energetisk kvantetilstand i så stor grad at ein oppnår "populasjonsinvertering", som betyr at hovuddelen av det aktive mediet er eksitert. Ein slik tilstand er ustabil, og eit foton med rett energi er i stand til å gi systemet eit puff som får det til å deksitere og sende ut mange foton i ei og same retning. Det aktive mediet er plassert mellom to speglar som fungerer som ein "resonator", slik at utsende foton kan komme tilbake og vere med på

å forsterke lysutsendinga. Lyset som til slutt blir "tappa" ut av laseren, har stor grad av *koherens* (samstemming, frå latin) og høg intensitet. Men for at "lasing" skal komme i stand krevst det at strålingsnivået først har komme over ei viss, kritisk grense. Ein illustrasjon av laseren og energinivåa er vist i figur 2.



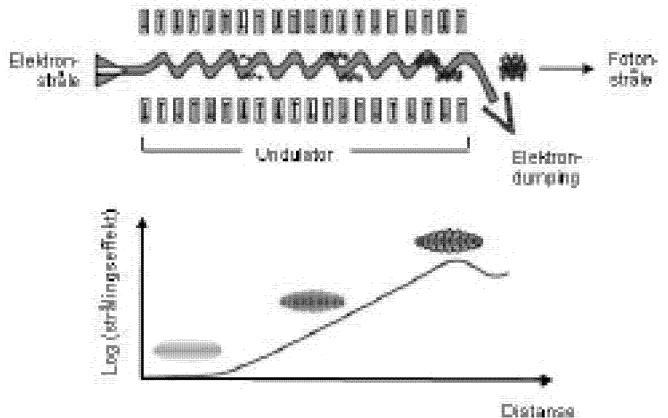
Figur 2. Prinsippet for ein optisk laser. Øvst: Energinivå og overgangane mellom dei for det aktive mediet. Nedst: Aktivt medium mellom speglar (resonatoren), energipumpa og lysstrålegangen. Utgangen for strålen er på høgre sida, gjennom ein delvis gjennomskinleg spegel.

Frielektronlaser for røntgen

Dette er den nyaste og mest spektakulære røntgenkjelda vi har. Her er det dei frie elektrona i ein undulator som fungerer som "aktivt medium" i ein laserliknande prosess. Forsterkinga skjer ved hjelp av ei veik, men viktig kopling som eksisterer mellom elektronstraumen og det elektromagnetiske feltet i strålen som blir skapt. "Energipumpa" er i dette tilfelle elektronstraumen sjølv. Der er ikkje noko "resonansrom", men elektrona blir samla i ein "mikroskur" nedstraums i akseleratoren av feltet i den produserte røntgenstrålen. La oss sjå nærmare på det som skjer.

Magnetane i undulatoren gir elektrona ei sikk-sakkbane som fører til røntgenemisjon "i svingane" pga. akselerasjonen der. Undulatoren er konstruert slik at bølgjene frå kvart elektron vil vere i fase fra sving til sving, og *amplitudane* av røntgenbølgjene adderer seg, sjå figur 1 og figur 3.

Der er ikkje fast faserelasjon mellom bølgjene frå *ulike* elektron, fordi dei passerer gjennom systemet uavhengig av kvarandre, dei er *ukorrelerte*. Men



Figur 3. Mikropulsdanning og intensitetsauke langs eit stykke av undulatoren der "lasereffekten" SASE set inn. Oppsplitting av ein puls frå akseleratoren i mikropulsar er illustrert på tre stadiar. Avstanden mellom mikropulsane er ei bølgjelengd. Talet på mikropulsar i kvar puls er mykje større enn det teikninga gir inntrykk av, typisk $\sim 10^5$.

dersom elektronpulsane frå akseleratoren er korte nok i tid ($\sim \mu\text{s}$), og undulatoren lang nok ($\sim \text{km} (!)$), vil også strålinga frå alle elektrona i pulsen vere i fase og gi ein sterk resultantstråle ut. Det er her den laserliknande effekten i frielektronlaseren kjem inn: Elektronfordelinga i strålen vil nemleg bli påverka av det elektriskefeltet i røntgenstrålinga. Jamvel med ein homogen innkommende elektronstråle vil det oppstå fluktusjonar i elektronstråleiken. Ein fluktusjon vil skape ei endring i E -feltet, som i sin tur vil påverke den same fluktusjonen, som slik blir forsterka. Denne effekten går under namnet *SASE*, "Self Amplified Stimulated Emission". Effekten fører til at elektronstraumen etter kvart, nedover langs flygebanen inni undulatoren, blir broten opp i "mikropulsar" med pulsavstand lik bølgjelengda til E -feltet. Ved full forsterking er alle elektrona overført til slike skurer, og ettersom pulsane er i fase, vil ein få koherent røntgenstråling ut med ein intensitet som er proporsjonal med *kvadratet* av elektronfluksen i akseleratoren. Mikropulsdanninga og intensitetsauken som funksjon av posisjon i undulatoren er illustrert i figur 3. SASE-effekten er lettast å få til med stråling med lengre bølgjelengder enn røntgenstrålar har. Eit anlegg for ultrafiolette bølgjelengder, kalla FLASH, har vore i drift i Hamburg sidan år 2000.

Som i vanlege laserar for synleg lys er det i elektronlaseren krav til ein miniumstettleik i elektronpulsane for at sjølvforsterkinga skal komme i gang. For å få stråling med korte bølgjelengder som røntgen, nyttar ein ein *lineær* elektronakseler-

ator som gir ut ein *pulsa* partikkelstråle med pulslenger i nanosekundområdet (10^{-9} s). Pulsane blir først komprimert med diverse knep til under eitt pikosekund (10^{-12} s), som svarar til pulslenger i 50-mikrometers storleik. Med så korte pulsar som utgangspunkt vil SASE- effekten lettare komme i gang også for røntgenbølgjelengder. Likevel er det i framtidige XFEL anlegg nødvendig med undulatorar som er opptil eit par hundre meter lange for å skape elektronstrålar der alle elektronar er komne i fase og såleis kan gi ut omtrent 100 % koherent røntgenstråling. Denne strålinga vil også vere bortimot 100 % polarisert med E-feltet loddrett på planet for undulatormagnetfeltet.

XFEL i Hamburg

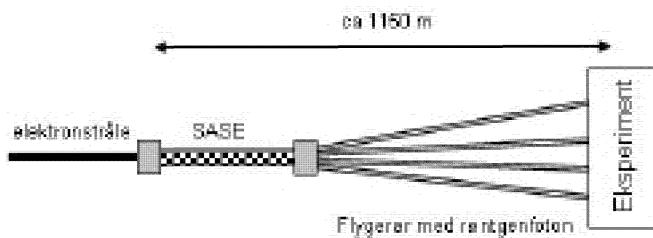
I januar 2009 vart det første spadestikket tatt i Hamburg for å bygge eit felleseuropéisk *XFEL*-anlegg for røntgenstråling med venta oppstart i 2014. Kostnadene er estimert til 986 millionar euro. Tyskland skal dekke 60 % av dette, medan resten er fordelt på dei andre deltakarlanda, som per i dag er Sverige, Danmark, Storbritannia, Spania, Italia, Sveits, Frankrike, Ungarn, Polen, Slovakia, Hellas, Russland og Kina. Noreg er førebels ikkje med.

Anlegget skal ha ein 2,1 km lang lineær elektronakselerator, ein linac, som vil gi elektronenergiar opp til 17,5 GeV. Det svarar til relativistisk partikkelfart, praktisk talt lik lysfarten. Linac-en blir lagt i ein tunnel med diameter 5,2 m. Ein skal nytte magnetar av grunnstoffet niob, som vil bli haldne nedkjølte til -271 °C med flytande helium. Elektronstrålen vil bli sendt inn i eit system av undulatorar (figur 1), som skal bestå av modular som til saman utgjer omlag 250 m. Elektronstrålen blir til slutt styrt inn i stråleabsorbatorar, medan røntgenstrålane blir styrte til eksperimentasjonar. Røntgenbølgjelengdene skal vere mellom 0,1 og 6 nm, dvs. frå "hard" til "mjuk" røntgen. Strålane vil vere pulsa med 30 kHz, og kvar puls vil vere kortare enn 100 femtosekund (10^{-15} s). Den totale lengda på installasjonen blir 3,4 km. Elektronar vil starte ved synkrotronanlegget DESY, sørvest i Hamburg, og eksperimentasjonane blir i landsbyen Schenefeld i kommunen Pinneberg i delstaten Schleswig-Holstein. Anlegget blir underjordisk, mellom 6 og 38 m under bakken. Også eksperimentasjonane blir under jordnivået.

Ei skisse av den siste kilometeren av anlegget er vist i figur 4. I byggetrinn I skal det vere fem strålelinjer, kvar med to eksperimentasjonar. Fem

nye linjer skal kunne utviklast seinare i eit trinn II.

Det er etter kvart komne mange frielektron-laserar i drift rundt i verda. Dei fleste leverer stråling med infraraude og ultrafiolette bølgjelengder. I Stanford, USA, er ein røntgenlaser under utvikling og er planlagt i drift i 2010. Den skil seg frå Hamburg-anlegget ved ein mykje lågare elektronpulsfrekvens.



Figur 4. Skjematisk oversyn over XFEL-strålegang frå utgangen av den lineære akseleratoren, om SASE- undulatoren der røntgenstrålinga blir til, fram til fire eksperimentasjonar lengst til høgre. Merk dimensjonane!

Forsking med XFEL

I tabell 1 er sett opp kvalitative samanliknande parametrar for ulike typar av røntgenkjelder. Vi ser at dei eksepsjonelle eigenskapane til XFEL-strålane er særskilt høg intensitet i pulsane, polarisert og koherent stråle, og kortpulsa tidsstruktur, ned i femtosekundområdet. Denne kombinasjonen opnar for nye forskingsområde.

Tabell 1. Kvalitative samanliknande parametrar for ulike røntgenkjelder. (Brillians er eit mål for intensitet med eining foton/(s mm² mrad² 0,1 % bandbreidd)).

Kjelde	Tids-gang	Brilli-ans	Polari-sasjon	Kohe-rens
Stasjonær anode	Kontinuerleg	10^{10}	Ingen	Ingen
Roterande anode	Kontinuerleg	10^{12}	Ingen	Ingen
Synkrotron ESRF-mod.	Skur (ms)	10^{24}	Lineær >90 %	<10 %
XFEL, Hamburg	Skur, (μ s - fs)	10^{33}	Lineær ~100 %	~100 %

For å sjå kva ein XFEL kan nyttast til er det instruktivt å kikke nærmare på enkelte av dei ti eksperimentasjonane som er planlagde i første utbygging ved XFEL.

- Ultrarask koherent diffraksjon av enkelpartiklar, kløstrar og biomolekyl. Strukturbestemming av enkelpartiklar.
- Materialavbildning og dynamikk. Avbildning av ”nano- småting” *in situ*.
- Femtosekund diffraksjonsekspertiment: tidsopp løyste studiar av dynamikk og kjemiske reaksjonar i faste stoff, væsker og gassar.
- Høg energitettleik i materiale: materiale under ekstreme forhold, for eksempel tette plasma.
- Små kvantesystem: studiar av atom, ion, molekyl og kløstrar i ekstreme felt, deriblant ikkje-lineære fenomen.
- Koherent spreiing av mjukrøntgen: struktur og dynamikk i biologiske prøver.

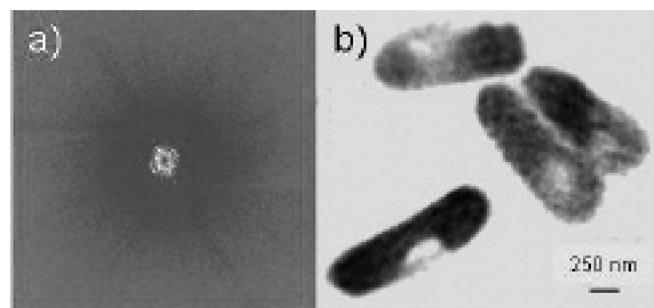
Ein kan studere direkte tidsutvikling ved faseomvandlingar og kjemiske reaksjonar, og også biologiske prosessar der typiske tidskonstantar er i pikotil femto- sekundområdet. Slike studiar må ofte gjerast saman med utstyr for ytre påverknad i form av pulsa elektriske og magnetiske felt, sjokkbølgjer og laserlys, som må ha frekvensar i terahertzområdet eller høgre. På dette feltet kan ein vente å oppdage revolusjonerande nye aspekt av materalfenomen, inkludert ikkje-lineær fysikk.

Den høge graden av koherens i strålen gjer XFEL- røntgen ideelt for å studere dynamikk i uordna materiale som polymerar og væsker ved hjelp av *korrelasjons- og spraglespektroskopii* (speckle spectroscopy), med ei oppløysing i 0,1-nanometer området. Dette er analogt med tilsvarende studium med synleg lys med 500-nanometer oppløysing på overflateruhet og makropartikkeldifusjon.

Intensiteten på strålen vil i mange tilfelle vere så høg at prøvematerialet tar skade eller jamvel fordampar, etter kort tid i strålen. Men spreiingssignalet vil på si side vere større, og tida kortare for å få signifikant informasjon, slik at ein rekk å studere ferdig før prøva er øydelagt. Ved proteinstrukturstudiar er det svært ofte groinga av krys-tallar som er flaskehalsen, men med XFEL røntgen vil det venteleg vere muleg å bestemme strukturen på grunnlag av spreiing frå berre små kløster av molekyl, utan krystallisering i det heile. Dette vil ha enorm betydning for framtidig innsikt i kjemi, biologi og generell materialvitenskap.

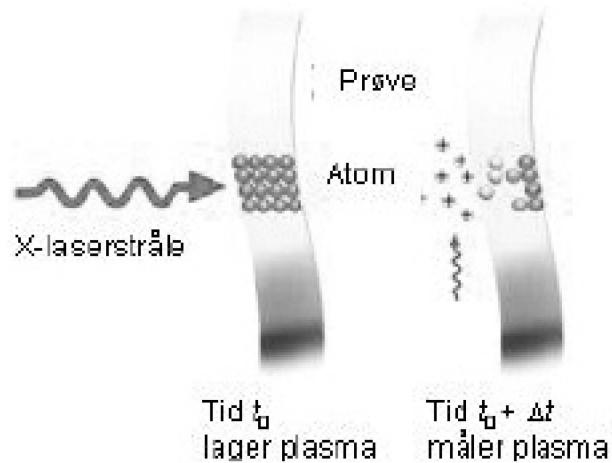
Eit eksempel på bruk av koherent røntgendiffraksjon på eit biologisk materiale er vist i figur 5, med ”spraglemønstra” diffraksjon frå ei

prøve av kolibakteriar (*E. coli*). Når koherensgraden i strålen er kjent, er det muleg, på ein iterativ måte, å rekonstruere prøva frå diffraksjonsbildet fordi spraglemønstret kjem fram ved interferensar mellom spreiinga frå dei ulike delane av prøva. Prøva var forbehandla med KMnO₄, og det er i stor grad mangan-atoma som gir kontrasten i bildet. Arbeidet er gjort ved synkrotronanlegget SPring8 i Japan. Desse innleiande studiane med ordinær synkrotronstråling, med liten koherens og oppløysing, gir sterke løfte om at XFEL vil gi revolusjonerande meir detaljerte resultat, slik som indre struktur av enkeltdelane inne i bakteriane.



Figur 5. Diffraksjon med koherent røntgenstråle av *E. coli*-bakteriar (a) og matematisk rekonstruert prøve (b). (Frå J. Miao et al., Proc. Nat. Acad. Sci. (USA) 100, 110–112 (2003))

Eit eksempel på framtidig bruk av XFEL er studium av høgtemperaturplasma. Røntgenstrålen frå XFEL treffer eit materiale med så stor intensitet at det fordampar og dannar plasma, som illustrert på figur 6. Ei seinare (nokre femto- eller pikosekund!) fotonskur i den pulsa røntgenstrålen kan så nyttast til å studere eigenskapane til plasmaet. Dette er ein måte å simulere forhold i enkelte stierner.



Figur 6. Plasmadanning ved ein ultrasterk røntgenpuls frå XFEL. Ei ultrakort tid, Δt , seinare kjem ein ny kort røntgenpuls og måler eigenskapane til plasmaet.

Konklusjon

Bygginga av røntgenlaserar er ei naturleg utvikling i eit vitskapeleg fagfelt som har enorm påverknad på samfunnet omkring. Medan oppdaginga av røntgen var eit stort gjennombrot i seg sjølv, er nye bruksområde seinere komne som perler på ei snor: medisinsk avbilding, spreiling, diffraksjon, DNA og proteinstruktur, synkrotronstråling og tomografi. Det er grunn til å tru at XFEL inneber eit like stort teknologisprang som synkrotronane var for nokre tiår sidan. Når vi kan snakke om femtosekund studiar og direkte avbilding av kjemiske reaksjonar, er det klart at vi har å gjøre med ein varsle revolusjon, med omgripande konsekvensar både naturvitenskapleg og kulturelt.

Litteratur

1. Rønten i materialforskning:
Emil J. Samuelsen: *Materialinnsyn med røntgen*. Fra Fysikkens Verden 57, nr. 4, 112-117 (1995)
2. Synkrotron-røntgen:
<http://www.esrf.eu/aboutus/aboutsynchrotron>
3. Frielektronlaser:
Elke Plönjes, Josef Feldhaus og Thomas Müller: *Taking free-electron lasers into the X-ray regime*. Physics World, July 2003, p. 33-37

∞

Solceller av organisk materiale

Emil J. Samuelsen og Dag W. Breiby *

Organiske solceller er framleis på forskningsstadiet, og virkningsgraden så langt er på berre 5-6 %. Men feltet blir likevel rekna for å vere så lovande og potensielt viktig at forskings- og utviklingsaktiviteten er formidabel, og det er von om å forbetre virkningsgraden til 10-15 %.

Innleiing

Dagens kommersielle solceller er baserte på bruk av halvleiarmaterialet *silisium* og har ein energivirkningsgrad rundt 15 %, dvs. at ein så stor del av energien i sollyset som fell inn på cella blir overført til elektrisk energi. Forskingsutgåver av silisiumceller har virkningsgradar opp mot 25 %, og diverse kombinasjonsceller av andre *uorganiske materiale* kan gi opp til 30-40 %. For dei såkalla "tredjegenerasjons celler" er forventa tal heilt opp i 60 %.

Organiske solceller blir ikkje utvikla for å tevla med Si-cellene, men for å supplere dei. Dei vil vere

billege, lette, bøyelege og robuste, veleigna for bruk under spesielle forhold, som ved tokt og ekspedisjonar i fjell og villmark, og dei vil kunne integrerast i utstyr og tekstilar.

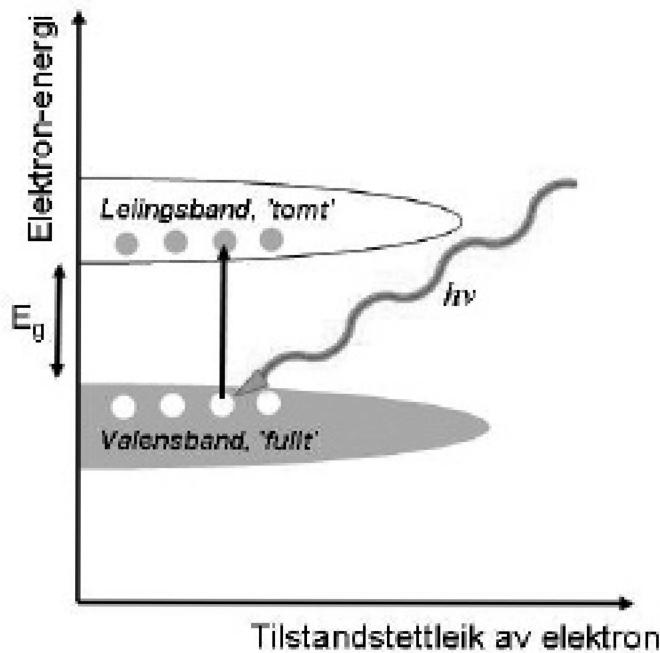
Solcellefysikk

Solceller er kvantefysikk i praksis. Kvantefysikken fortel oss at lyset består av energikvant, $h\nu$ (h er planckkonstanten og ν er lysfrekvensen), og at det elektroniske systemet i materialet berre kan motta energi i bestemte, materialgitte dosar. Materialt uforstyrra i grunntilstanden har ein energi E_0 . Ytre påverknad kan eksitere materialet til ulike tilstandar med høgre energiar, E_i , kalla *energinivå*. Det inneber at lyset berre kan bli absorbert i eit materiale dersom $h\nu \geq E_i - E_0$.

Solcellematerialet, både dei uorganiske som *Si* og *GaAs*, og dei organiske som vi skal drøfte her, er halvleiarar. Det har utvikla seg ein terminologi for halvleiarar der grunntilstanden for dei elektrona som deltar, blir nemnd "valenstilstanden", med energi E_V , og den nærmeste eksiterte tilstanden er "lei-

* Institutt for fysikk, NTNU, Trondheim.

ingstilstanden”, med energi E_C . Differansen $E_G = E_C - E_V$ har fått nemninga *energigapet*, sjå figur 1.



Figur 1. Energiforhold for ein halvleiari. Eit lyskvant eksiterer halvleiaren og skaper eit leiingselektron og eit hol når kvanteenergien $h\nu$ er større enn bandgapet E_G . Før eksitasjonen er valensbandet 'fullt' og leiingsbandet 'tomt', dvs. at det ikkje er plass til fleire elektron med energi svarande til valensenergien, og at ingen elektron har energi svarande til leiingsenergien.

Organiske solceller

Litt forenkla kan ein seie at valenstilstanden i uorganiske halvleiarar er ein tilstand der elektrona er knytte til atoma, medan dei er ”flyttbare” i leiingstilstanden og kan vandre bort frå atomet dei høyrde til. Det blir då liggande igjen ei positiv ladning på atoma som elektronet forlet, eit positivt ”*hol*”. I mange tilfelle kan også holet flytte seg i materialet. Det skjer ved at elektron frå eit nabootom ”hoppar inn i” holet, og det atomet får då eit hol hos seg, men holet kan vandre vidare til neste atom ved ny innhopping, osv. Eit lyskvant $h\nu$ skapar altså eit elektron-hol- par når det eksiterer halvleiaren og blir absorbert.

For at vi skal ha ei fungerande solcelle trengst eit grep for å få den negative ladninga (*n* for ’negativ’) og den positive ladninga (*p* for ’positiv’) til heilt å skilje lag og gå ut i kvar sin leidning. Til det må det framskaffast eit indre elektrisk felt.

For Si-cellene blir dette gjort ved at ein del av materialet blir dopa med *bor*, *B*, og resten med *fosfor*,

P. Konsentrasjonane er låge, av storleik 10^{-6} ppm (parts-per-million). Bor-dopinga fører til eit overskot av vandrande positive ’hol’ i materialet, kalla *p-doping*, medan fosfor-dopinga fører til overskot av frie elektron, kalla *n-doping*. Andre materiale enn bor og fosfor blir også nytta. I kontaktsona vil ein del hol ”skvulpe” over i n-delen, og ein del elektron skvulpar over i p-delen. Det gir opphav til eit elektrisk felt med positiv retning frå n-delen til p-delen. Eit slikt felt gjer at ladningane som vart skapte av lyskvantet nær grenseflata, vil gå til kvar si side, og vi har fått ei straumkjelde.

Organiske halvleiarar

Dei organiske halvleiararmateriaala er *konjugerte*, dvs. at dei kjemiske bindingane mellom karbonatoma vekslar mellom enkle og doble bindingar. Eit eksempel er molekylet *pentacén*, $C_{22}H_{14}$, vist i figur 2, som har relevans for organiske solceller og elektronikk. Ein ser av figuren korleis enkle og doble bindingar vekslar langs molekylet.

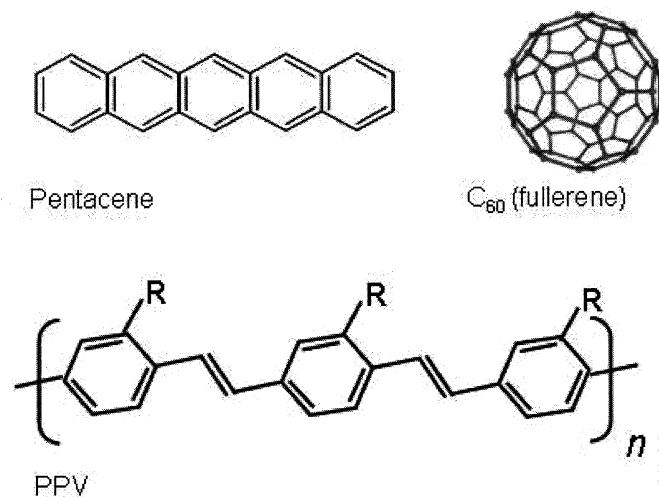
Svært viktige er også dei *polymere halvleiarane*. Heile polymerkjeda er konjugert, som det skal vere for ein organisk halvleiari. Eit eksempel er *PPV*, kortnamn for *poly-fenylénvinylén*. Molekylskjelettet er vist i figur 2. Sidegruppa, eller *substituenten R*, kan varierast av kjemikarane. Den kan vere av betydning for å gjere polymeren løyseleg i mange organiske væsker, slik som kloroform.

Sidegruppa påverkar også bandgapet E_G , som slik kan regulerast etter behov med rett valt substituent. At ein kan ”syntetisere” gap-storleiken kjemisk er ein viktig føremon ved bruk av organiske materiale i solceller. Typiske verdiar for gapet i halvleiande polymerar er 1,5– 2,5 eV, som svarar til lysbølgjelengder mellom 500 og 830 nm (grønt – raudt).

Den konjugerte tilstanden i figur 2 svarar til ”valenstilstanden” med energi E_V . Ein eksitert tilstand er der dei ekstra elektrona frå dobbeltbindingane er ”delokaliserte” til å kunne vandre rundt i molekyl- eller polymerskjelettet, altså ein ”leiingstilstand”, med energi E_C . Når eit lyskvant blir absorbert i halvleiaren, blir materialet eksitert ved at eit elektron blir delokalisert og kan flytte seg langs karbonbindingane, medan ein lada plass, eit positivt hol, blir skapt der eksitasjonen skjedde. Desse hola er også i stand til å vandre og kan delta i ladningstransport. *Mobiliteten* til elektronet og hollet er til vanleg ulike.

I polymerar opptrer negativ og positiv ladning

som blir skapt ved eksitasjonen, oftest i par nær kvarandre, kalla "eksiton". Eksitona kan forflytte seg i polymergitret, men ladningane kan også finne saman igjen, *rekombinere* og gå tapt. Eksitona har ei typisk diffusjonslengd av storleik 10 nm før dei rekombinerer. Det krevst litt energi ($\sim 0,1$ eV) for å bryte opp eit eksiton. Inhomogenitetar gjer separeringa av ladningane lettare.



Figur 2. Kjemisk skelett av dei organiske halvleiarane pentacén, fullerén, polyfenylénvinylén, *PPV*. I kvar 'knek' er der eit karbonatom, *C*, eller ei *CH*-gruppe. (For fullerén er dobbelbindingane ikkje teikna inn.)

Ladningstransport mellom molekyl eller polymerkjeder skjer ved *hopping*. I polymerar er der ofte mykje uorden i kjedearkitekturen, og leiingseigenskapane er i betydeleg grad påverkelege av korleis materialet er framstilt og etterbehandla.

Organiske solceller

For å få ei polymer solcelle til å fungere må ein vere i stand til å separere den positive og den negative ladninga før eksitonet rekombinerer og blir borte. Det indre elektriskefeltet som trengst for det, blir laga på ein noko annan måte for organiske celler enn for Si-cell: ein nyttar *to ulike* materiale som elektrodar, som har ulik elektronaffinitet eller arbeidsfunksjon (Φ_M). Parameteren er uttrykk for kor sterkt elektrona er knytte til elektroden; høg verdi betyr sterkt tilknytting. Eit eksempel er *indium-tinn-oksid*, ein halvleiari som kan deponerast på glas, og som går under namnet *ITO*: $\Phi_{ITO} \approx 4,8$ eV. *ITO* har den fordelen at det er gjennomsiktig for lys og kan nyttast som vindauge for det innfallande lyset. Aluminium har ein noko lågare verdi,

$\Phi_{Al} \approx 4,2$ eV. *ITO* og *Al* blir ofte brukte som dei to elektrodane. Også andre metall blir brukte, som *Au*, *Ca* og *Mg*.

I organiske celler treng ikkje det aktive cellematerialet å vere dopa fordi kontaktmateriala fungerer på eit vis som doping, dvs. gir elektronoverføring. Det er forskjellen mellom arbeidsfunksjonane som då er avgjerande.

Enkeltlag-solceller

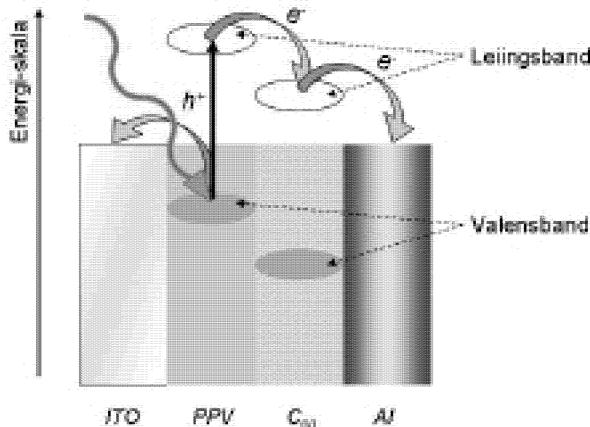
Den enkleste organiske solcella får ein ved å plassere ein polymer som *PPV* (sjå figur 2) mellom elektrodar av *ITO* og *Al*, men virkningsgraden er låg, berre 0,1 %, oppnådd i 1993. Det har vist seg vanskeleg å oppnå betre tal seinare. Heldigvis finst det betre løysingar som vi skal sjå.

Enkeltlagcella kan inverterast: Om ein sender ein straum inn i cella gjennom elektrodekontakta, vil *PPV* lyse. Det er då ein *organisk lysemittende diode*, ein *OLED*. Fargen til *OLED* kan veljast kjemisk via substituenten, ettersom detaljane i molekylstrukturen er bestemmande for gapet E_G .

Dobbeltlag donor-akseptorsolceller

Eitt problem med enkeltlagcella er at ho må vere tynn, berre nokre nanometer, for å redusere rekombinasjonstapet, samtidig som slike tynne lag absorberer berre ein liten del av lyset som fell inn. Ein annan vanske er at ho ikkje effektivt nok bryt opp "eksitona" i negativ og positiv ladning og separerer dei. Ei stor forbetring får ein ved å la cella bestå av *to* tynne lag av *ulike* halvleiarmaterialer, kvart med ulik arbeidsfunksjon. På den måten vil dei to materiala dope kvarandre, og i røynda verke som "donor" og "akseptor" for elektron. Merk at begrepa *donor* og *akseptor* her blir nytta med eit noko anna meiningsinnhald enn i vanleg halvleiarteknologi, der dopelementa som blir tilført halvleiaren i ppm-konsentrasjonar, går under nemninga *donor* og *akseptor*.

Fullerén, C_{60} , som består av 60 karbonatom (figur 2) er ein *akseptor* som tar opp eit elektron. Det etterlèt seg eit hol i polymeren, som såleis får karakter av ein *donor*. *Fullerén* i fast form er ein nesten gjennomsiktig halvleiari med bra leiingsevne. Arbeidsfunksjonen er $\Phi_{C60} \approx 4,5$ eV, litt større enn for *Al*. Ei skjematisk oppstilling av energiforholda er synt i figur 3, etter at jamvekt er etablert mellom elektrodane, slik at *det kjemiske potensialet* (fermivåget) er felles for alle materiala i systemet.



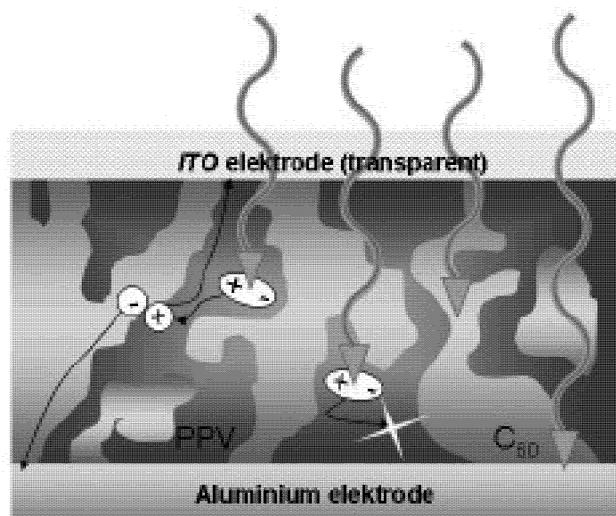
Figur 3. Energiforhold og ladningsovergangar når eit foton med tilstrekkeleg kvanteenergi eksiterer donor i ei dobbeltlag donor-akseptor-solcelle. Her er polymeren *PPV* donoren, og fullerén *C*₆₀ er akseptoren. Positiv ladning går til *ITO*-elektroden, og negativ ladning til aluminium-elektroden. Ladningsseparering skjer fordi materiala har høvelege verdiar for arbeidsfunksjonane og energigapet. Ved likevekt har dei eit felles ferminivå (kjemisk potensial).

Virkningsgraden er framleis for låg. Ein har sjølvsgart prøvt å legge mange lag på kvarandre, men kontrollen med grensesjikta blir dårligare dess fleire lag som blir deponerte, og framstillinga av cellene blir komplisert. Utviklinga har tatt ei noko anna retning for å få høgre utbytte.

Solceller av donor-akseptorblandingar

Dette er den mest lovande typen av organiske solceller i dag. Varianten vart lansert ved fleire forskingslaboratoarium rundt 1995, der ein av dei tre nobelprisvinnarane i kjemi for 2000, amerikanaren Alan Heeger frå Santa Barbara, spela ei framtredande rolle.

For denne type celler lagar ein ei blanding av *donor* og *akseptor*, t.d. baserte på *PPV* og *fullerén*, i eit felles løysemiddel. Blandinga blir lagt i eit om lag 300 nm tjukt lag på ein elektrode som *ITO*. Også bøyelige, polymere elektrodemateriale finst, som dopa *polyetylendioksy tiofen PEDOT*, som er gjennomskinneleg, noko som gir ei "full-polymer" solcelle. Når løysemidlet fordampar, vil *PPV* og *fullerén* skilje seg ut i kvar sin faste fase på nanometerskala. Det viser seg at dei to materiala dannar inhomogene, uregelmessige, forgreina mønster inn i kvarandre, og på den måten får ei stor felles kontaktflate. Avhengig av mengdeforholda vil kvart av materiala danne samanhengande kontaktar ("perkolasjon"). Over det heile dampar ein den andre elektroden, t.d. *Al*, sjå figur 4.



Figur 4. Solcelle av inhomogen blanding av donor og akseptor. Her er *PPV* donor og *fullerén* akseptor. Fotonet skaper eit eksiton (+ -) som anten diffunderer til ei grenseflate og vert splitta i eit elektron og eit hol, og gir straum i elektrodane, eller rekombinerer og forsvinn. Tjukkleiken av laget er typisk 100–300 nm.

Når lys fell inn på ei slik celle, vil eksitona som blir danna i polymeren, ha stort sannsyn for å diffundere fram til nærmeste grenseflate, der ladningsseparasjonen finn stad slik som for tolags-cellula. Ladningane skil lag på grenseflata og går til kvart sitt materiale, som dei kan følgje fram til elektrodane gjennom nettmønstret sitt. Leiingsevna i polymerane er ikkje spesielt stor, og sannsynet for rekombinering på vegen er betydeleg, slik at der vil vere ein god del tap undervegs, jamvel om avstanden frå eksitasjonspunktet til elektrodane er mindre enn 100 nm.

Virkningsgraden for *donor-akseptor-blandings-solceller* blir rapportert til å ligge rundt 5 %, men forskingsgruppene meiner at verdiar på over 10 % er oppnåeleg ved optimalisering av framstillingsmetodane og med tilsettingar som modifiserer grenseflatene. Mobiliteten i materiala kan også forbetraast. Dei mest optimistiske nemner 20 %. Aktuelle donormateriale er *polyfluorenar* og *polyalkyltiofenar*, den siste har vi studert mykje ved NTNU. Ein muleg veg framover er å lage cellemateriale der donor og akseptor er kjemisk samanhekta, såkalla blokkpolymrar. Det vil kunne gi kontroll med morfologien for dei to fasane som blir danna.

Status og utfordringar

Organiske solceller er enno ikkje ferdigutvikla.

Virkningsgraden er framleis betydeleg lågare enn for *Si*-celler. Ein har tru på at forbetrinigar med i alle fall ein faktor 2 er muleg. Men organiske solceller blir ikkje utvikla med tanke på å tevle med *Si*-cellene, men heller for å supplere dei. Dei vil vere fleksible, billege og miljøvenlege.

Langtidsstabiliteten er førebels ikkje spesielt god ved at cellemateriala endrar karakter under påverknad av fukt og oksygen, men her er gode forseglingsløysingar funne, slik som overdekking med vanlege polymerar som *Polyetylen-tereftalat PET*. Også belysninga, spesielt av den ultrafiolette delen av solspektret, påverkar og endrar materiala. Små tilsetjingar av visse kjemikaliar kan ha betydeleg effekt på morfologien i cellematerialet, og det blir rapportert at brukstider for cellene i storleik fem år er oppnådd. Fem år reknar ein gjerne for nødvendig minstelevetid for kommersielle solceller, men for billege celler er kanskje kortare levetid aksepterbart, jfr. levetida for mobiltelefonar.

Tynne og bøyelige celler er nøkkelord i samanheng med organiske solceller. Det krev at også det gjennomsiktige substratet som lyset skal falle inn gjennom, er av polymer, og her er *PEDOT* i blanding med polystyrén-sulfonat eit tilfredsstillande materiale som alt er kommersielt tilgjengeleg.

Enkel framstilling er eit anna poeng. Polymer-laga kan sprøytast på lagvis, slik at masseproduksjon frå rull til rull er muleg, omtrent som ved avstrykking. Eventuelt mönstra påføring kan skje ved trykking.

Form og plassering av dei organiske cellene er enklare enn for dei uorganiske. Fleksibiliteten inneber at cellene kan lagast i alle tenkelege former, og slik skal kunne plasserast alle stader der det finst rom for dei.

Spesialområde for bruk kan vere der fleksibilitet er viktig, t.d. solceller på funksjonelt tekstil. Andre område kan vere der vekta spelar ei rolle, slik som på bilar og fartøy, og for innretningar som må frakta lange avstandar. Ein kan tenke på behov for oppladningsstraum for mobile telefonar og fjernsyn ved turar og ekspedisjonar i fjell og villmark, og for å sikre militæravdelingar, politi og vaktmannskap i felten.

Det er stor forskingsaktivitet på organiske solceller rundt i verda, i mange tilfelle kopla saman med utviklinga av organiske TV-skjermar og organisk basert elektronikk. Konarka Technologies i USA har nyleg lansert ei organisk celle kommersielt. I Sverige er det aktivitet knytt især til Universitetet i Linköping. Også Danmark og Finland har aktivitet

Konklusjon

Vi har drøfta prinsipp og verkemåte for solceller av organisk materiale. Den store interessa for organiske solceller både frå akademia og industrien har samanheng med at råstoffa er bilde og miljøvenlege, serieproduksjon er enkelt, og cellene kan gjerast tynne, lette og fleksible, med mange nye bruksområde. Dei første kommersielle produkta er alt lanserte, og fleire nisjeprodukt vil følgje i åra som kjem.

Referansar

Tynnfilm solceller:

M. Pagliaro, G. Palmisano og R. Ciriminna: *Flexible Solar Cells*. Wiley-VCH (2008)
http://www.solareserver.de/solarmagazin/solar-report_0807_e.html

Uorganiske solceller:

E.S. Marstein, S.E. Foss og T.W. Reenaas: *Tredje generasjon solceller*. Fra Fysikkens Verden 70, Nr. 2, 55–61 (2008)

∞

Studér
fysikk!

Karbonkjegler og magiske væsker

Eldrid Svåsand, Geir Helgesen og Arne T. Skjeltorp *

Karbon er et grunnstoff som inngår i svært mange forbindelser i naturen og utgjør ca. 20 % av alt organisk materiale. I ren form forekommer karbon i seks forskjellige former: diamant, grafitt, fulleren, nanorør, nano-kjegler og i amorf, uordnet form. Disse ulike formene av karbon har nå fått viktige industrielle anvendelser. Noen av disse vil bli beskrevet her.

Introduksjon

Industrielt produseres det årlig over 8 millioner tonn "carbon black" som er en form for rent amorft eller nanokrystallinsk karbon. Dette materialet brukes som fyllstoff og til forsterkning i bildekk og andre gummivarer, som pigment i maling, som laserskriverpigment samt som tilsatsmateriale for å lage ledende plast. Grafitt og diamant har også viktige industrielle anvendelser.

I motsetning til denne masseproduksjonen av sotlignende karbon, er det meget kostbart å framstille fulleren, og særlig karbonnanorør, som kan produseres ved såkalt "chemical vapor deposition" (kjemisk dampavsetning) eller ved en karbonplasma prosess. Disse rørene består av en enkel vegg, eller av flere vegger utenpå hverandre. For å forstå de unike egenskapene til nanokarbon, må en ta utgangspunkt i grafitt som består av karbonsekstringer, såkalte heksagoner, i nettinglignende lag stablet oppå hverandre med atomene i hvert annet lag forskjøvet litt mot sentrum av heksagonene i lagene under og over. Bindingen mellom karbonatomene i en ring er sterkt, mens lagene ikke holdes sammen med kjemiske bindinger, men med svake van der Waals-krefter som skyldes elektriske ladningsfluktusjoner. Et enkelt lag av grafitt kalles vanligvis

for grafén, og det var først i 2004 at det for første gang var mulig å separere og studere egenskapene til grafén.⁽¹⁾

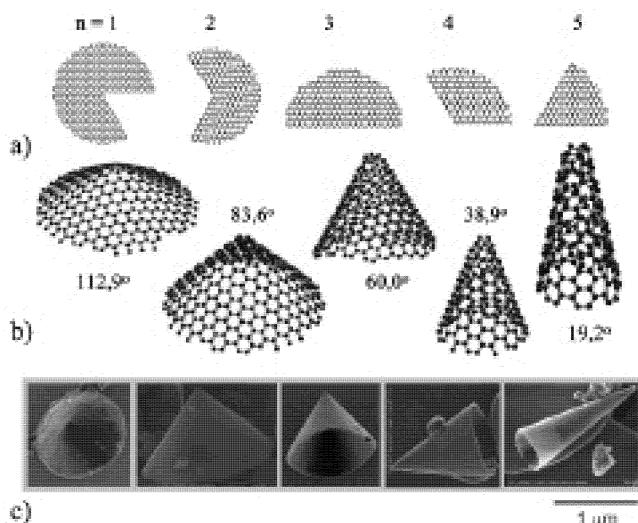
Karbonnanorør ble første gang påvist i 1991 av S. Iijima som fikk Kavliprisen i nanoteknologi i 2007.⁽²⁾ Disse rørene kan tenkes som opprullede rør av en stripe grafén. Det er svært mange måter å tenke seg dette gjort på avhengig av rulleretningen i forhold til krystallstrukturen av grafén og av diametern på røret. Det viser seg at 1/3 av enveggede nanorør er metalliske, mens 2/3 er halvledere. Dette skyldes kvantiseringsreglene for elektronbaner som går rundt røret. Nanorørene er svært mye sterkere pr. vektenhet enn stål. Dette har gjort nanorørene interessante til bruk i sterke, og om ønskelig elektrisk ledende, kompositmateriale.

Karbonkjegler

Det fins flere måter et grafénark kan "rulles opp" på. I stedet for at begge sidene av en grafénstripe forbindes for å få et rør, kan en fjerne en sektor på 60° fra en sirkulær bit av "karbonnettingen". Deretter forbindes atomene på hver side av kuttet, og en får dannet et kjegleformet karbonmolekyl. Denne kjeglen består av et perfekt grafénark med heksagoner (seksringer) bortsett fra akkurat på toppen hvor en får dannet en femring, en pentagon. Det kan da vises fra enkel geometri at toppvinkelen på kjeglen er 112,9°. Tilsvarende kan en fjerne sektorer på $n \times 60^\circ$ med $n = 2 - 5$, og få spissere kjegler med toppvinkler $\alpha = 2 \arcsin\left(\frac{6-n}{6}\right)$, som vist i figur 1.

Ringer med mindre enn fem karbonatomer er ustabile, og det vil i stedet dannes n pentagoner jevnt fordelt mellom heksagonene nær kjegletoppen. Disse kjeglene, og mange andre mulige karbonstrukturer, ble først foreslått teoretisk, men trolig hadde ingen forventet at de skulle dukke opp av seg selv uten noen form for "skreddersydd" framstilling. Det viser seg imidlertid at disse kjeglene

*Institutt for energiteknikk, Kjeller, og Fysisk institutt, UiO.



Figur 1. Skjematisk modell for dannelsen av karbonkjegler fra grafén; a) sektorer på $n \times 60^\circ$ fjernes fra et sirkulært karbonlag, b) den gjenværende bit sammenføyes til en kjegle og c) kjegler dannet av titalls slike kjegleformede lag (avbildet i et skanning elektronmikroskop).

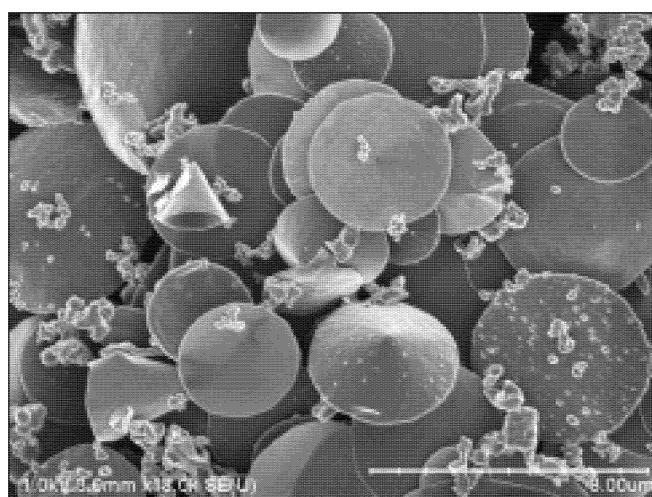
kan dannes spontant under produksjon av andre former for nanokarbon. Første gang de ble sett var i 1994 av en forskergruppe på University of Hawaii, som fant noen få spisse kjegler i karbonmateriale de hadde produsert. Tre år senere (1997) fant en forskergruppe under ledelse av Thomas Ebbesen, som nå arbeider på universitetet i Strasbourg, at slike karbonkjegler finnes i store mengder i visse typer industrielt nanokarbonmateriale produsert etter den såkalte "Kværner Carbon Black and Hydrogen Process".⁽³⁾ Dette er en storskala industrip prosess for å framstille "carbon black" og hydrogengass ved spaltning av råolje, noe som gjør produksjonskostnadene svært lave sammenlignet med produksjon av nanorør.

Råmaterialet til karbonkjeglene består av rundt 70 % karbonskiver som kan tenkes som kjegler med toppvinkel på 180° ($n = 0$), 10–20 % av materialet er kjegler med de fem forskjellige toppvinklene, og resten er "carbon black"-lignende uordnede partikler og aggregater. Skivene er 1–5 μm i diameter, mens kjeglene er ca. 0,5–3 μm lange. Vegtykkelsen på begge slagene er 10–30 nm, altså et forhold på 100–200 mellom lengde og tykkelse. Figur 2 viser et elektronmikroskopbilde av dette karbonpulveret.

Det foregår nå forskning på hvordan kjeglene kan separeres fra skivene og fra hverandre, avhengig av toppvinkelen. Dette er imidlertid ikke lett siden kjeglene inneholder samme materiale, og størrelsene er omtrent de samme. En må da finne fysiske metoder som kan skille dem på formen, enten ved å

utnytte hydrodynamiske, elektriske eller magnetiske effekter.

Dessuten arbeides det med å forbedre produksjonsprosessen slik at en kan produsere materiale som inneholder mest kjegler, og helst av en på forhånd bestemt størrelse. Det viser seg også at kjeglene og skivene er dekket med et lag av amorft karbon som helst burde vært fjernet. Dette kan en imidlertid omdannes til krystallinsk grafitt-lignende materiale ved å varmebehandle kjeglene ved 2700 °C. Det dannes da fine, krystallinske områder på kjegleoverflatene.



Figur 2. Karbonråmaterialet bestående av skiver, kjegler og små amorse karbonpartikler.

Hva karbonkjegler kan brukes til

Selv om karbonkjeglene har en interessant og unik form, er en ikke garantert at de kan brukes til noe nyttig. Da karbon-60-molekylet (C_{60}), som ser ut som en fotball med nøyaktig 12 pentagoner på overflaten, ble oppdaget i 1985, trodde mange at man kunne bruke dette til smarte oppfinnelser, og mange ideer ble prøvd ut. Men det er ennå ikke funnet noen praktisk industriell anvendelse av dette fantastiske molekylet. Vi som arbeider med karbonkjegler gjør hva vi kan for at det ikke skal gå likeden med kjeglene.

Den første anvendelsen, som allerede er patentert, er å bruke kjeglene som lagringsmedium for hydrogengass. Skal vi redusere utsippene av CO_2 til atmosfæren, trenger vi et karbonfattig drivstoff til biler. Hydrogengassen er ideell i så måte, men bør kunne lagres i biler på en sikker måte. Absorpsjon av hydrogen i nanoporøse materialer eller lette

metallpulvere, gir en sikrere lagring enn å bruke gasstanker med høyt trykk (300–700 atmosfærer).⁽⁴⁾ For at dette skal bli praktisk gjennomførbart uten altfor store endringer i bilenes design, trengs pulvermaterialer som absorberer minst 6 vektprosent hydrogen. Karbonkjegler er en av de lovende kandidatene som kanskje kan oppnå dette målet.

De mekaniske egenskapene til nanokjegler og nanodisker er også interessante for å lage sterke kompositmaterialer. Det foregår en aktiv forskning over hele verden for å bruke nanorør i slike materialer, men siden kostnaden på rørene er svært høy, er dette noe som foreløpig har svært begrensede anvendelser. Billige nanokjegler/-skiver kan være en bedre kandidat for å lage disse sterke kompositene. At kjeglematerialet er elektrisk ledende muligjør framstilling av f.eks. elektrisk ledende plastkomposit. Dette forskes det på både ved Universitet i Oslo, NTNU i Trondheim og Institutt for energiteknikk på Kjeller, samt hos samarbeidspartnere i England, Hellas og Polen. Det fins også et utall andre anvendelsesmuligheter, men i det følgende skal vi bare gå inn på én anvendelse – elektroreologiske væsker – som vi har studert nøyne.

Små partikler med stor styrke

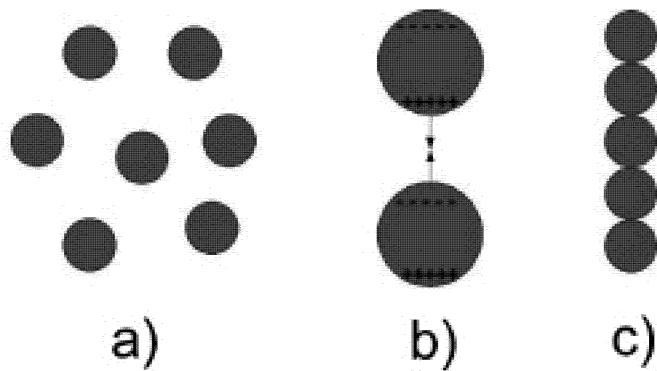
Elektroreologi er læren om hvordan strømnings egenskapene til væsker eller dispersjoner påvirkes av elektriske felt. Hva er det så som er så magisk med elektroreologiske væsker (ER-væsker)?

Ved å utsette dispersjonen for et elektrisk felt opplinjer partiklene seg i feltretningen og danner kjeder, noe som fører til økt viskositet (seighet) i systemet. Denne effekten kalles den elektroreologiske effekten.⁽⁵⁾ Endring av viskositeten kan skje i løpet av hundredels sekunder, og viskositeten kan endres med en faktor større enn 1000! Når det elektriskefeltet slås av, returnerer blandingen til sin opprinnelige tilstand. Denne egenskapen blir utnyttet i utallige applikasjoner fra clutches, bremser og ventil til dempesystemer og tettningspakninger.

En ER-væske kan enkelt lages ved å blande maismel i en vegetabilsk olje, eller enda bedre, i silikonolje. I vårt tilfelle blandet vi karbonkjeglematerialet med silikonolje for å studere de elektroreologiske egenskapene til dette systemet.

Hva er det som gjør at en slik væske oppfører seg på denne måten? Og hvorfor er det bare noen typer materialer som viser denne effekten? For det første må væskefasen være elektrisk isolerende mens partiklene må ha en viss elektrisk ledningsevne (kon-

duktivitet). I et slikt system som er i et ytre elektrisk felt, vil partiklene polariseres slik at vi får induserte dipoler.⁽⁶⁾ Disse tiltrekker hverandre, og vi får dannet kjeder. Dette er vist skjematisk i figur 3. Når det elektriskefeltet slås av, forsvinner polariseringen og kjedene brytes opp på grunn av termiske eller brownske partikelbevegelser.



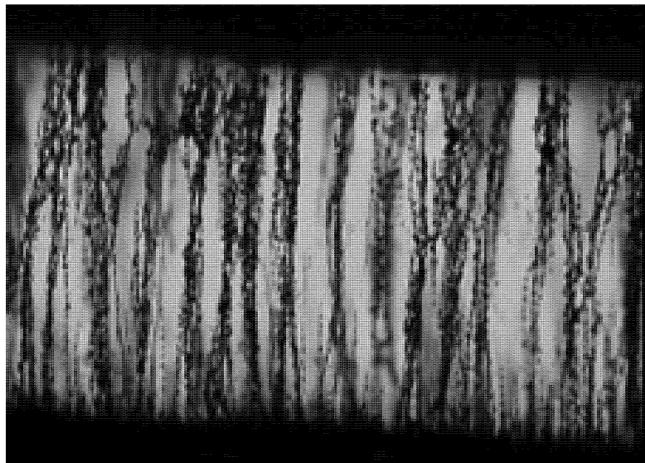
Figur 3. a) Frie partikler, b) polarisering av partikler i E -felt og c) kjededannelse.

Vårt eksperiment

Vi ønsket å finne ut om karbonkjeglene kunne ha elektroreologisk anvendelse og valgte å undersøke hvordan materialet oppfører seg i en løsning i silikonolje under påvirkning av et elektrisk felt. Siden det hittil ikke har vært mulig å framstille rent kjeglematerialet, måtte vi bruke det blandete kjegle-/skive-råmaterialet i undersøkelsene (figur 2).

To typer eksperimenter ble utført. I det første undersøkte vi om karbonpartiklene i vårt system ville opplinjere seg og danne kjeder under påvirkning av et elektrisk felt. Vi studerte altså polariseringseffekten av partiklene. Karbonmaterialet ble blandet med silikonolje, som er en god isolator, og deretter mikset ved bruk av ultralyd. En dråpe av væsken ble plassert på en glassplate mellom to kopperplater som fungerte som elektroder. Avstanden mellom elektrodene var typisk 1 mm.

Vekselspenning ble brukt til å danne det elektriskefeltet mellom elektrodene. Et digitalt videokamera festet til et mikroskop filmet eksperimentet, og bildene ble senere analysert for å måle lengden på kjedene som funksjon av tiden. Et typisk eksempel på hva vi kunne se etter noen minutter er vist i figur 4. I andre ER-væsker, som for eksempel Rheoil laget av partikler dekket av spesielle funksjonelle grupper mikset med silikonolje, skjer den samme prosessen i løpet av ca. 10 ms.



Figur 4. Et lysmikroskobilde som viser hvordan karbonpartiklene danner 1 mm lange kjeder mellom elektrodene (de svarte feltene øverst og nederst på bildet). Denne strukturen ble dannet etter noen minutter under et påtrykt elektrisk felt.

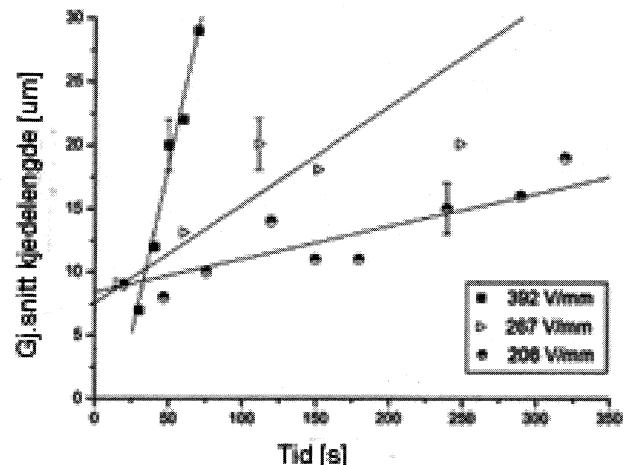
I det andre eksperimentet ble de elektro-erologiske egenskapene undersøkt, altså hvordan kjededannelsen påvirker viskositeten til væsken. Til dette brukte vi et kommersielt reometer. Dette består av to konsentriske sylinder inni hverandre hvor den innerste roterer og den ytterste er fast. Væsken som skal måles, fylles mellom de to sylinderne. Instrumentet registerer et *vridningsmoment* som er proporsjonalt med *skjærspenningen* i væsken, som igjen er relatert til viskositeten.

Karbon-oljeblandingen ble utsatt for elektriske felt av ulik styrke for at kjeder kunne dannes. Deretter brukte vi reometeret til å måle skjærspenningen i væsken som funksjon av rotasjons-hastigheten.

Resultater

Figur 5 viser hvordan kjedelengden varierer med ulik feltstyrke. Kjedene av partikler vokser raskere ved høyere feltstyrke. Tiden det tar for at en kjede er like lang som avstanden mellom elektrodene, varierer fra sekunder til minutter avhengig av styrken på det elektriskefeltet. Sammenliknet med andre ER-væsker som for eksempel Rheoil, nevnt tidligere, er dette langsomt. Grunnen til den relativt langsomme veksten av kjeder er at vår blanding inneholder store partikler, og at partiklene er relativt gode elektriske ledere. Dette reduserer polariseringen av partiklene.

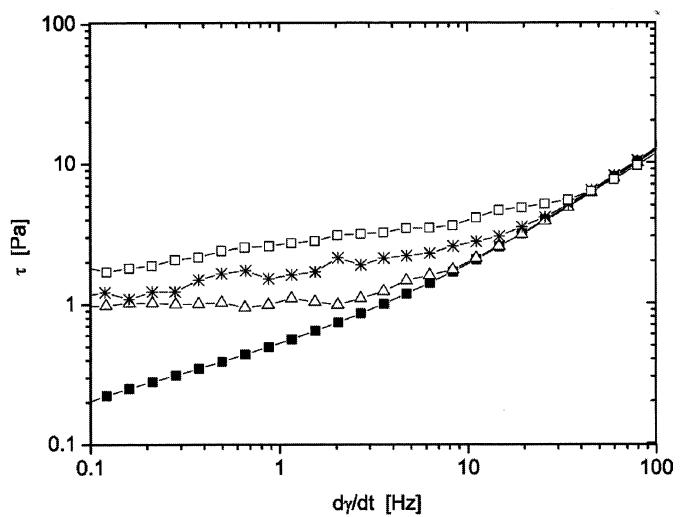
Karbonpartikler henger vanligvis godt sammen på grunn av van der Waals overflatekrefter. Dette var også tilfelle for vårt system, noe som betyr at partiklene som har dannet kjeder forblir i kjeder



Figur 5. Her kan vi se at kjedene vokser fortare ved høyere elektrisk felt. Ved $E = 392 \text{ V/mm}$ tar det ca. 50 s før kjedene måler $15 \mu\text{m}$, mens ved $E = 208 \text{ V/mm}$ tar det 300 s.

også etter at det ytre elektriske feltet er slått av. I ER-væsker laget av andre typer partikler går blandingen tilbake til utgangspunktet med godt adskilte partikler når feltet blir slått av. Dette er nødvendig om man skal bruke ER-væsken for å variere viskositeten kontinuerlig for eksempel i et bremsesystem.

I figur 6 kan vi se hvordan kjededannelsene påvirker viskositeten til væsken. Ved å sammenligne kurvene uten felt med kurven tatt opp med elektrisk felt, kan vi se hvordan viskositeten endrer seg med feltet og hvor sterke bindingene i kjedene er. Det man generelt ønsker er at *flytespenningen*, som er verdien hvor kurven krysser y -aksen,



Figur 6. Her ser vi hvordan skjærspenningen, τ , varierer med rotasjonshastigheten $\frac{dy}{dt}$ ved ulike E -felt. Flytespenningen, hvor kurvene krysser y -aksen, viser hvordan kjedene som dannes øker viskositeten til væsken slik at det må størrre kraft til (større verdi av skjærspenningen) før væsken begynner å strømme.

skal være høyest mulig ved et moderat elektrisk felt, vanligvis rundt $E = 1 \text{ kV/mm}$. Flytespenningen representerer skjærkraften som væsken kan motstå før den begynner å strømme (tilsvarende ketchupflasken som må få et skikkelig dunk for at ketchupen skal begynne å renne ut).

I figur 6 er den nederste sorte kurven for måling uten E -felt. Når et ytre E -felt er satt på, ser vi at kurvene starter på høyere y -verdi, noe som tilsvarer at væsken er blitt mer viskøs, altså seigere. Det skjer på grunn av større organisering av karbonpartiklene ettersom de polariseres og danner kjeder som binder væsken i et lite volum rundt seg. Det må da større krefter til for å bryte kjedene slik at væsken kan strømme.

Når rotasjonsfrekvensen øker til omkring 10–20 Hz, sammenfaller kurvene målt med og uten felt. Det vil si at ved denne hastigheten dominerer de viskøse kreftene over polarisasjonskreftene, og kjedene er brutt opp. Vi kan ut fra verdiene hvor kurvene krysser y -aksen (fra 0,2 til 2,0 Pa), se at viskositeten i systemet øker med omtrent en faktor 10 når systemet utsettes for et elektrisk felt. Dette er en liten økning sammenliknet med en ER væske laget av Wen et al., hvor viskositeten økte med en faktor 1000 (fra 11 Pa til 130 kPa).⁽⁷⁾ At ER effekten er lav, skyldes at karbonmaterialet har relativt høy elektrisk ledningsevne og relativt store partikler. Denne effekten vil kunne økes noe når en blir i stand til å kontrollere partikelstørrelsen og kan lage partiklene mindre og mer jevnstore.

Konklusjon

Karbonnanokjegler er et nytt og spennende medlem i ”familien” av karbonstrukturer. Disse partiklene kan produseres i store mengder på en forholdsvis enkel måte selv om kjeglevinkel og størrelse foreløpig ikke kan kontrolleres. Partiklene har nesten perfekte og veldefinerte kjegleformer. Siden rene kjegleformer ennå ikke er tilgjengelige, må anvendelsene være på felt hvor en kan bruke pulvermateriale med partikler av blandet form og størrelse, slik som beskrevet i eksemplet med elektroreologi.

Elektroreologiske væsker er et typisk eksempel på det som kalles *smarte materialer*, hvor materialene endrer egenskaper som respons på ytre stimuli, som f.eks. et varierende elektrisk felt. Denne typen materialer, som vi i dag ser på som eksotiske, vil nok få økende betydning i et miljøvennlig og energibesparende nanoteknologisamfunn.

Referanser

1. A. Geim og A. McDonald: *Graphene: Exploring carbon flatland*. Physics Today, august 2007, s. 35
2. S. Iijima: *Helical microtubules of graphitic carbon*. Nature 354, 56 (1991)
3. A. Krishnan, E. Dujardin, M.M.J. Treacy, J. Hugdahl, S. Lymon og T.W. Ebbesen: *Graphitic cones and the nucleation of curved carbon surfaces*. Nature 388, 451 (1997)
4. S. Satyapal, J. Petrovic og G. Thomas: *Gassing up with hydrogen*. Scientific American, april 2007, s. 62
5. W.M. Winslow: *Induced fibration of suspensions*. J. Appl. Phys. 20, 1137 (1949)
6. T.C. Halsey: *Electrorheological fluids*. Science 258, 761 (1992)
7. Weijia Wen, Xianxiang Huang, Shihe Yang, Kunquan Lu, Ping Sheng: *The giant electrorheological effect in suspensions of nanoparticles*. Nature Materials 2, 727-730 (2003)

∞

**Husk å melde
adresseforandring!**

Fysikkfeil i medisinsk forskning

Asta Juzeniene,¹ Arne Dahlback² og Johan Moan^{1,2}

I medisinsk forskning benytter man ofte fysiske metoder og fysikkbasert tenkning. Som oftest går dette bra, men noen ganger kan det bære galt av gärde, og villedende paradigmer kan bli rådende i årtier. Vi vil se på følgende fysikkfeil fra temaet "stråling og helse": 1) Hudkreftforekomsten varierer i takt med solfleksyklusen. 2) Solarier gir ikke D-vitamin fordi de bare sender ut UVA-stråling. 3) Skal vi sole oss, må vi unngå middagssola. 4) For mye D-vitamin kan ha giftvirkninger, og kan følge av for mye soling og bruk av solarier. 5) Personer med mørk hud får oftere hudskader av frost enn hvite på grunn av større utstråling. 6) Radio- og TV-kringkasting kan føre til føflekkreft.

Tidligere var et kurs i fysikk obligatorisk for medisinerstudenter. Dette kurset ble fjernet nettopp da fysiske metoder virkelig ble sentrale i medisinen. Både innen diagnostikk og terapi er store framskritt blitt gjort takket være introduksjon av fysisk apparatur, fysiske tenkemåter og fysikkbaserte beregningsmetoder. Men mange feil er blitt gjort av medisinske forskere med manglende fysikkunnskaper.

Kreftforekomst og solaktivitet

I det prestisjetunge medisinske tidsskriftet *Lancet* sto det i 1978 en artikkel om at føflekkreft delvis var relatert til solfleksyklusen.⁽¹⁾ På figur 1 har vi gjenlagt hovedtrekkene av figuren i denne artikkelen. Man begrunnet det hele med at intensiteten av UV-strålingen fra sola varierer i takt med solfleksyklen, hvilket høres rimelig ut.⁽²⁾ Men nå er det slik at nesten ingen stråling med bølgelengde under 280 nm når ned til jordoverflaten. Ved bølgelengder over 280 nm varierer solstrålingen gjennom solsyklusen med mindre enn 1 %. Dette er langt under de årlige

variasjonene som skyldes skiftende meteorologiske forhold. Kanskje vi kan ile medisinerne i møte og fortelle at ozon dannes høyt opp i atmosfæren av UVC-stråling rundt 240 nm, og der er variasjonene betydelige. Ozon absorberer det meste av den kreftfremkallende solstrålingen, UVB. (Vi inndeler UV-strålingen fra sola i UVA (320–400 nm), UVB (280–320 nm) og UVC (100–280 nm).)

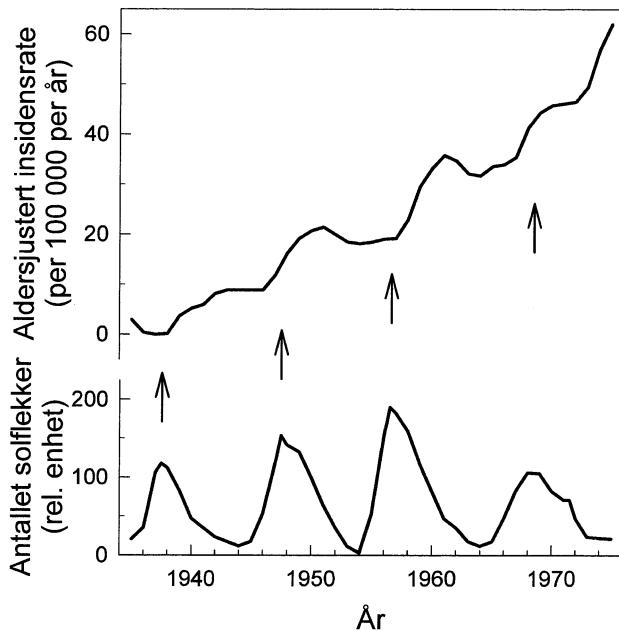
Den økte UVC-intensiteten utenfor atmosfæren ved solmaksimum gir økt ozonproduksjon. Dette alene bidrar til at UVB-intensiteten ved jordoverflaten blir lavere da enn ved solminimum. Men meteorologiske forhold gir mye større variasjon av den totale ozonmengden fra år til år. Varierende skyforhold gir vanligvis det største bidraget til variasjon i UVB-intensiteten ved bakken, og variasjonene i UV-intensitetet på grunn av solaktiviteten "drukner" nesten fullstendig. Det finnes dessverre ingen UV målinger ved bakken som kan brukes som illustrasjon i figur 1. Vi må derfor konkludere med at solaktivitetens betydning for hudkreft i beste fall er av homøopatisk art.

Solarier og D-vitamin

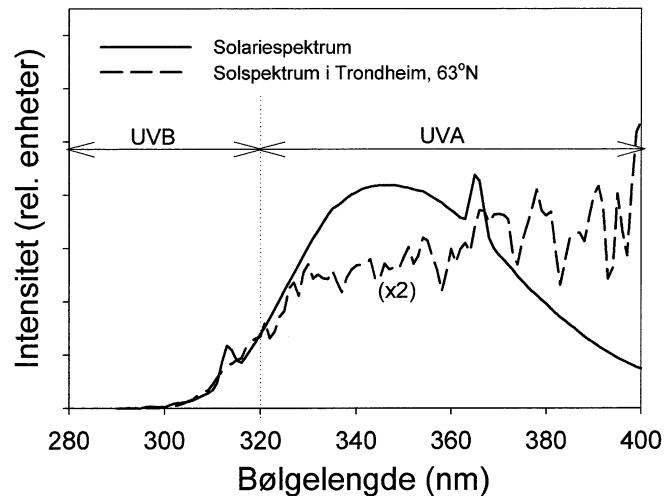
Man trodde en tid at UVB-strålingen var spesielt farlig med hensyn til ondartet føflekkreft (melanomer) og fikk konstruert solarier som hovedsakelig ga UVA-stråling, som, i store doser, kan gi brunhet. Nettopp brunhet var jo vitsen med solariene da de kom. Men UVB-stråling er 40 til 1000 ganger mer biologisk virksom enn UVA-stråling, og vi har vist at det faktisk er den lille delen UVB i solariene (mindre enn 2 % av UVA) som gir det meste av bruningen. Denne UVB-strålingen lager også D-vitamin i huden.

Figur 2A viser aksjonsspektrene for D-vitamin, for solbrenthet, for brunning, for føflekkreft og for plateepitelkreft. Plateepitelkreft er en langt mindre farlig hudkreftform enn føflekkreft. (Et aksjonspektrum viser hvor effektivt stråling med forskjell-

¹Avdeling for strålingsbiologi, Det Norske Radiumhospital, Oslo.
²Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

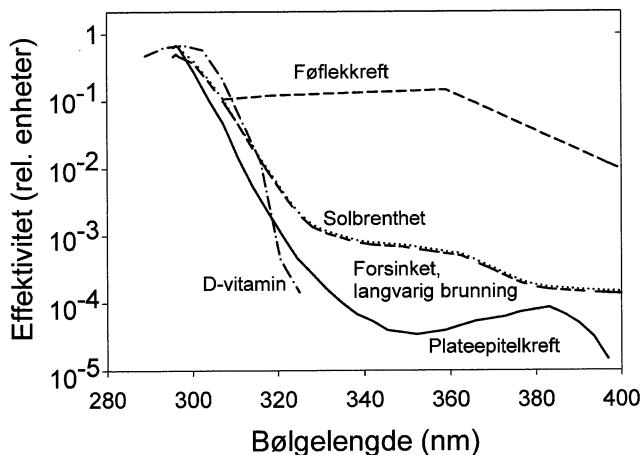


Figur 1. Aldersjustert forekomst av føflekkreft i staten Connecticut i USA. Årlige variasjoner av solflekker er vist nederst. Ozonvariasjonene er så vidt påvisbare og UV-variasjonene forårsaket av solstrålingens variasjoner gjennom syklusene drukner fullstendig i variasjoner som skyldes meteologiske forhold.



Figur 2B. Et typisk solariespektrum (—) og UV-delen av et solspektrum (---).

UVB/UVA-forholdet i solarier, nemlig å redusere D-vitamindannelsen ved slik stråling og samtidig øke faren for føflekkreft. Men før vi kan uttale oss sikkert om faren for føflekkreft, må vi vente til aksjonsspektret blir bedre kjent enn det er nå.



Figur 2A. Aksjonsspektrene for D-vitamin, solbrenthet, brunning, føflekkreft og plate epithelkreft (en mindre farlig hudkreftform).

lige bølgelengder forårsaker en gitt effekt.) Spektrene for brunning, D-vitamin, solbrenthet og plateepitelkreft er meget like. Figur 2B viser at et typisk solariespektrum og et solspektrum også er svært like i form i UVB området. Med andre ord vil enhver UV-kilde som gir brunhet også gi D-vitamin.

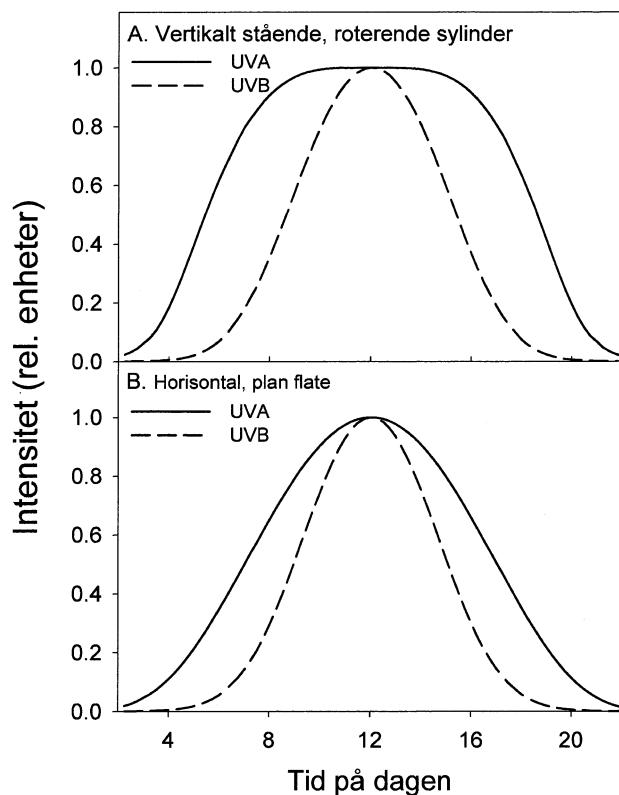
En kanskje enda verre feil er gjort: UVA-stråling ser ut til å kunne forårsake den farligste typen av hudkreft, føflekkreft. Det kan altså vise seg at helsemyndighetene har begått to feil da de fikk redusert

Middagssol og ettermiddagssol

Vi vet at solstrålingen avtar i intensitet når solhøyden avtar. Derfor har helsemyndighetene anbefalt folk som vil sole seg å vente til ettermiddagen. Men nå har vi sett at mens bare UVB-stråling gir D-vitamin, så kan både UVA- og UVB-stråling gi føflekkreft. Regner vi på dette, finner vi at myndighetenes råd ikke er spesielt gode dersom vi antar at menneskekroppen er mer lik en vertikal sylinder enn en horisontal flate. De fleste står eller går, mer enn de ligger når de er ute.

Figur 3 viser at på en soldag midtsommers er middagstiden den beste for soling. Da får vi maksimalt med D-vitamin til den relativt minste faren for føflekkreft. Grunnen til dette er at UVB/UVA-forholdet er størst ved middagstid. Dette er mot alle helseråd. Men vi må legge til at solbrenthet bør unngås, uansett hvordan man soler seg.

Grunnen til at solingsrådene er feil skyldes to faktorer, spredning og absorpsjon av UV-stråling i atmosfæren. Ozon absorberer UVB, men praktisk talt ikke UVA. Når sola synker på himmelen vil UVB-strålingen passere stadig mer ozon, og UVB vil derfor avta raskere enn UVA. I en skyfri atmosfære er spredningen dominert av rayleighspredning med bølgelengdeavhengighet nær λ^{-4} . Altså spres UVB betydelig mer enn UVA: $(360/290)^4 = 2,4$.



Figur 3. Døgnvariasjon av solstråling midtsommers i Trondheim (63°N) for UVB som gir D-vitamindannelse i hud, og for UVA-stråling som induserer føflekksvulster i en liten fisk, *Xiphophorus*.

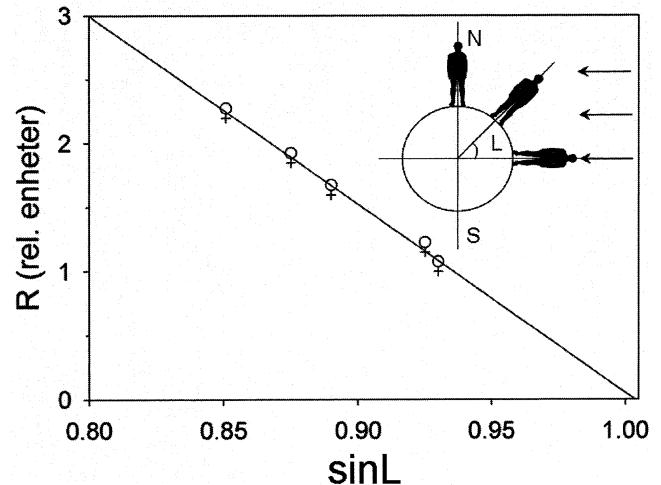
Også dette betyr at med synkende sol vil UVB avtakast raskere enn UVA.

Disse forholdene kan illustreres som vist på figur 4 med tilhørende figurtekst. En betydelig del av året er solintensiteten mot en vertikal sylinder større ved høye enn ved lave breddegrader.

Framstiller vi tallene for hyppigheten av føflekkreft i forskjellige landsdeler i Norge som funksjon av breddegraden, får vi en fin, lineær kurve som skjærer x-aksen ved 90° , altså på Nordpolen! (se figur 4). Med andre ord viser dette at solstråling beskytter mot hudkreft, og at på Nordpolen er hudkreftsjanse null. Dette er jo riktig: Aldri har noen fått hudkreft på Nordpolen! De siste argumentene er selvsagt ment som en karikatur av hvor ille det kan gå om man neglisjerer fysiske lover.

Soling og D-vitaminforgiftning

Soling er en utrolig god kilde til D-vitamin.⁽³⁾ Vi har vist i vår forskning at midt på dagen midtsommers gir 30 minutters soling for en person i bade drakt like mye D vitamin som en liten flaske med tran kan gi ham, dvs. 10 000–20 000 internasjonale



Figur 4. Aldersjustert forekomst av plateepitelkreft (hudkreft) for kvinner i Norge, R , som funksjon av $\sin L$, hvor L er breddegraden. Solintensiteten mot en hudflate (sylinderflate) på kroppen er nærmest proporsjonal med $\sin L$ i henhold til denne naivistiske modellen. Øverst til høyre vises en karikert situasjon midt på dagen ved vårjevndøgn. Vi antar at nordmenn flest er oppgående det meste av tiden når de er ute. Selv når de ligger er mange kroppslater vertikalt orientert. $\sin L = 1$ tilsvarer Nordpolen.

enheter. Norske helsemyndigheter anbefaler daglige D-vitamininntak på ca. 400 internasjonale enheter. Tretti minutters soling i bade drakt gir altså opptil 50 ganger mer D-vitamin enn dette.

Det er to grunner til dette. For det første danner solstråling D-vitamin av stoffet 7-dehydrokolesterol i huden, og mengden av dette stoffet er begrenset. For det andre oppstår det etter noen minutters eksponering for sterkt sol det vi kaller en fotokjemisk likevekt. Solstrålingen virker begge veier: Den kan omdanne 7-dehydrokolesterol til D-vitamin, men den kan også føre D-vitamin tilbake til 7-dehydrokolesterol, og i tillegg bryte det ned til uvirksomme produkter. Slik oppstår det altså en likevekt, og bare 10–20 % av den opprinnelige 7-dehydrokolesterolmengden blir omdannet til D-vitamin. Dette gjelder UVB-strålingen som sola gir ved jordoverflaten. Men hvis vi hadde eksponert oss for smalspektret stråling rundt 290 nm, kunne vi ha fått overført 80 % av 7-dehydrokolesterolmengden til D-vitamin. Dette er vist ved fotobiofysiske eksperimenter. Derfor burde fysikere og biologer ha vært konsultert, i tillegg til hudkreftekspertene, når optimale solarier skulle produseres.

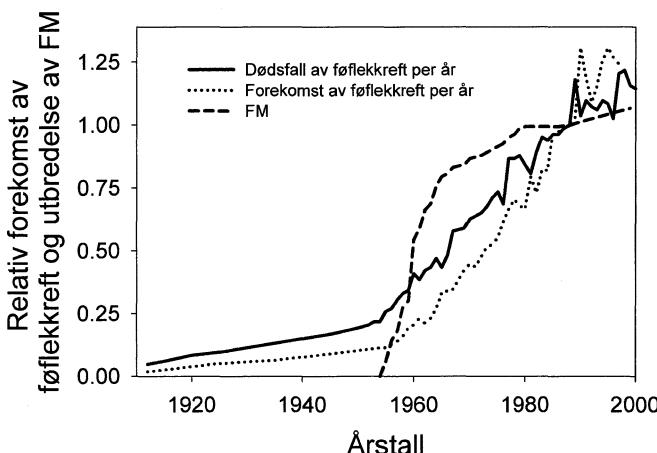
Frostskader hos mørke og lyse

Rapporter fra Koreakrigen, fra 2. verdenskrig og fra ekspedisjoner i Alaska sier at mørkhudede personer

får lettere frostskader enn hvite å grunn av større utstråling.⁽⁴⁾ Denne ”forklaringen” er basert på manglende fysikkunnskaper og er feil. Man har trukket forhastede konklusjoner av det kjente faktum at en svart kaffekjelle fortære blir kald enn en blank. Men en svartlakkert og en hvitlakkert kaffekjelle kjølner like fort hvis de begynner å kjøles ned ved 37 °C. Det er refleksjonen (blankheten) som utgjør forskjellen. Hadde vi (eller kaffekjelene) sendt ut synlig stråling, ville konklusjonen ha vært rett. Men nå stråler vi faktisk i mikrobølgeområdet. Wiens forskyvningslov, λ_{maks} (μm) = $2900 (K \cdot \mu\text{m})/T(K)$, forteller oss at bølgelengden for maksimal utstråling, λ_{maks} , ved 32 °C er ved ca. 9,5 μm . I dette området er refleksjonen fra svart og hvit hud nesten lik, så det må være en annen forskjell mellom svart og hvit hud enn fargen som forklarer observasjonene. Sannsynligvis må en fysiker tre hjelpende til når denne gåten skal løses. (En utfordring til våre leserer.)

Kan radio og TV føre til kreft?

Det siste eksemplet vårt gjelder ”farene” ved kringkasting. I en artikkel i *Medical science monitor*⁽⁵⁾ ble det fra hudmedisinsk hold i Sverige påstått at føflekkreft slett ikke har med sol å gjøre, men med radio- og TV-stråling. Disse materielle godene fører nemlig ”stråling” med seg, og stråling gir jo kreft. Man fant at forekomsten av føflekkreft i Sverige har økt over en lang periode i takt med utbredelsen av radio og TV (figur 5). Men det er jo også mye annet som har ”økt” i denne perioden! Vi vil utfordre våre leserer til å anslå de strålingsdosene radiolytting og TV-tutting påfører oss. Kanskje dere



Figur 5. Dødsfallforekomst av føflekkreft og antall personer som kan få inn FM-sendinger i Sverige. Dette er selvsagt urealistisk, siden styrken på FM-signalene kan bety noe, og den varierer med tid og sted.

også kan ta med mikrobølgeovner, barbermaskiner og mobiltelefoner i spekulasjonene og anslagene?

Takk

Arbeidet med denne artikkelen er delfinansiert av Kreftforeningen (Asta Juzeniene) og Forskningsrådet (Arne Dahlback), og vi vil gjerne takke dem.

Litteratur

1. A. Houghton, E.W. Munster and M.V. Viola: *Increased incidence of malignant melanoma after peaks of sunspot activity*. Lancet 1, 759–760 (1978)
2. J. Moan: *Visible light and UV radiation*. In Radiation at home, outdoors and in the workplace. Ed. D. Brune, D. Hellborg, B.R.R. Personn and R. Pääkkönen, Scandinavian Science Publisher, Oslo, pp. 69–85 (2001)
3. J. Moan, Z. Lagunova and A. Porojnicu: *D vitaminets fotobiologi – ny aktualitet*. Tidsskrift for Den norske legeforening 126, 1945–1946 (2006)
4. P.W. Post, F. Daniels and R. Binford, Jr.: *Cold injury and the evolution of ”White Skin*. Human Biology 47, 65–80 (1975)
5. O. Hallberg and O. Johansson: *Malignant melanoma of the skin – not a sunshine story!* Medical science monitor 10, CR336–CR340 (2004)

∞

Hva skjer

Fysikermøtet 2009

Vi har gleden av å invitere FFVs leserer til Fysiker møtet 12.–14. august 2009. Møtet holdes i bergstaden Røros som ble skapt rundt aktiviteten ved koppengruvene i 1644. Røros er med sin egenartede trehusbebyggelse en internasjonal severdighet og står på UNESCOs liste over Verdens Kulturarv. Fysikermøtets program starter onsdag kl. 14.00 og slutter kl. 12.00 på fredag.

Fysikermøtet arrangeres annethvert år, det forrige møtet var i Tromsø i 2007, og har som formål å bringe sammen og stimulere alle som arbeider innen fysikk eller underviser og formidler fysikk i Norge. Fysikermøtet 2009 arrangeres av Institutt for fysikk, NTNU, i samarbeid med Norsk Fysisk Selskap.

Vi håper å ha satt sammen et spennende og variert program. Plenumsforedragene i år er:

- John Barrow, Cambridge: *The Constants of Nature - Are They Changing?*
- Åke Ingeman, Göteborgs U.: *Fysikproblem i grupp — om lärandemöjligheter.*
- Tom Henning Johansen, UiO: *Magneto-Optical Imaging of Flux Avalanches in Superconductors.*
- Nils Gunnar Kvamstø, UiB: *Hvordan dagens klimamodeller er bygget opp.*
- Ana Marin, CERN: *The Quest for Quark Gluon Plasma with ALICE at LHC.*
- Martin M. Nielsen, Københavns U.: *Towards the Molecular Movie: Ultrafast X-ray snapshots reveal atomic and molecular rearrangements in nanophysical and chemical reactions.*
- Jerker Widengren, KTH: *Ultrasensitive fluorescence spectroscopy — concepts and possible applications for fundamental biomolecular studies, biomolecular diagnostics and screening.*

Det vil være parallellesesjoner med påmeldte bidrag som ved tidligere fysikermøter. Det vil også være årsmøte i Norsk Fysikklærerforening og årsmøte i Norsk Fysisk Selskap. Nærmere detaljer i det faglige og sosiale programmet blir fortøpende lagt ut på web-sidene til Fysikermøtet 2009: <http://www.ntnu.no/fysikk/aktuelt/fysikermote2009>

Det er påmeldt 120 deltakere per 7. mai 2009, og det er fremdeles mulig å melde seg på møtet.

Registreringsavgiften er 2000 kr, men redusert til 1000 kr for studenter og pensjonister. Fysikermøtet finner sted ved Quality Hotel & Resort som ligger 500 meter fra Røros sentrum. Informasjon om bestilling av hotellovernattning, lunsj og middag ligger på web-siden.

Vi ønsker alle velkommen til et spennende Fysikermøte!

Leder av arrangementskomiteen

Arne Brataas

Institutt for fysikk, NTNU

∞

Fysikkolympiaden 2009



Deltakerne på treningskurset for fysikkolympiaden.

Fysikkolympiaden er i en god og spennende utvikling for tiden. Det har vært en jevn og betydelig økning i deltagelsen de siste årene. Nye skoler har meldt sin interesse, og elever fra alle landets kanter får anledning til å være med i en utfordrende og spenningsfylt konkurranse.

For å kvalifisere seg til den internasjonale finalen må en gjennom tre uttakningsrunder. I årets første runde deltok 884 elever fra 100 skoler. Det er en betydelig økning fra i fjor! Oppgavene var som vanlig utfordrende nok, og de som hadde 15 poeng av 28 mulige, fikk tilbud om å delta i 2. runde. Bestemann fikk 27 poeng!

Det var 70 elever som deltok i 2. runde. Dette er en tre-timers prøve som nok er en del vanskeligere enn den i første runde. Kravene til begrunnelser er også strengere her. Best ble Eirik Løhaugen Fjærbu fra Vågsbygd vgs. og Hans Olav Hågenvik fra Skeisvang vgs. De fikk begge 19,5 av 20 mulige poeng. De med 13 poeng eller mer, ble invitert til kurs på Universitetet i Oslo og norsk finale. Kurset ble avholdt fra 23. til 27. mars.

Dette kurset er svært omfattende og intenst. Her gjennomgår vi i rask rekkefølge en rekke temaer som ikke er med i norsk skolefysikk. På programmet sto imidlertid ikke bare forelesninger, laboratorieøvelser og oppgaveløsning, men også populærforedrag, sosiale tilstelninger, omvisning og orienteringer om studier ved UiO.

Nytt dette året er innføringen av kunnskapsløftet, og dermed ny læreplan i fysikk. Innholdsmessig betyr ikke de nye læreplanene så mye for oppgavene vi gir i fysikkolympiaden. Men det har vist seg at de to læreverkene på markedet har valgt

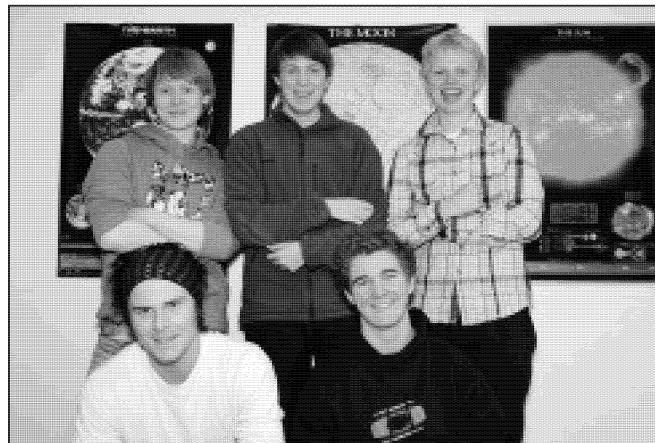
veldig ulik rekkefølge på lærestoffet i det som nå heter Fysikk 2, altså fysikkfaget i 3. klasse. Oppgavene vi gir i fysikkolympiaden er laget i tråd med læreplanens krav, men fordi rekkefølgen av stoffet i lærebøkene i Fysikk 2 er ganske forskjellig, er oppgavene i første runde i større grad enn tidligere koncentrert om Fysikk 1-stoff. Dessuten er pensum til 2. runde endret i forhold til tidligere år. Nå er hele Fysikk 1, men bare mekanikk fra Fysikk 2, pensum. Elektromagnetisme, som tidligere var med, er nå bare med som pensum i finalen.

Flere av deltakerne har sendt oss hyggelige tilbakemeldinger. Her er et utvalg:

- *Først vil jeg takke for en flott uke på Blinderen, som var ekstremt lærerik og koselig! Jeg har bare positive erfaringer, utenom mine prestasjoner på prøven da. Alle som holdt foredrag hadde mye kunnskap og var flinke til å formidle, og det eneste som manglet i timene var en større tavle.*
- *Jeg vil først og fremst takke igjen for en utrolig interessant og givende uke ved universitetet. Det å delta i den "eliteklassen", og få slik undervisning og oppfølging var en utrolig spesiell opplevelse. Jeg lærte mye, men det jeg sitter igjen med er minnene om å ha vært en del av den klassen som vi var for noen dager.*
- *Opplegget var supert! Jeg har aldri lært så mye på en uke som jeg gjorde hos dere, samtidig synes jeg alt var interessant og da blir alt mye gøyere og enklere. Det var imidlertid et helt vilt tempo, men synes det gikk greit når vi fikk fordøyd det på hotellet! Ellers synes jeg de sosiale arrangementene var veldig, veldig positive. Her får man sjansen til å bli kjent med folk som har de samme interessene som deg selv, og får diskutert med dem i stedet for å sitte helt alene med oppgavene.*

Bestemann i den norske finalen ble *Runar Skålbones* fra Bodø vgs. Han fikk 19 poeng av 20 mulige. På de neste plassene kom *Hans Olaf Hågensvik* fra Skeisvang vgs., Haugesund, *Knut Andreas Meyer* fra Danielsen vgs., Bergen, *Ailo Aasen* fra Sandnessjøen vgs. og *Olav Willumsen* fra Vågsbygd vgs. Ailo Aasen har imidlertid valgt å være med i finalen i matematikk, og dermed blir Eirik Løhaugen Fjærbu fra Vågsbygd vgs. også med til den internasjonale finalen i Merida i Mexico, fra 11. til 19. juli.

Den internasjonale finalen består av to konkurransedager, en med teorioppgaver og en med eksper-



Vinnerne av treningskurset (fra venstre bakerst): Ailo Aasen, Runar Skålbones, Knut Andreas Myer, Olav Willumsen Haugå og Hans Olav Hågensvik.

imenter. De andre dagene oppholdet varer, er det ulike sosiale og kulturelle arrangementer, sightseeing og ekskursjoner. Merida ligger på Yucatán-halvøya nær store Maya-minnesmerker. Både deltakere og ledere (Øyvind Guldahl og Carl Angell) ser frem til et begivenhetsrikt opphold i Mexico.

Den norske deltagelsen er støttet av Forskningsrådet og Kunnskapsdepartementet.

Mer om fysikkolympiaden med oppgaver og resultater finnes på våre nettsider:

<http://www.fys.uio.no/skolelab/fysikkol/>.

Carl Angell

∞

Bokomtaler

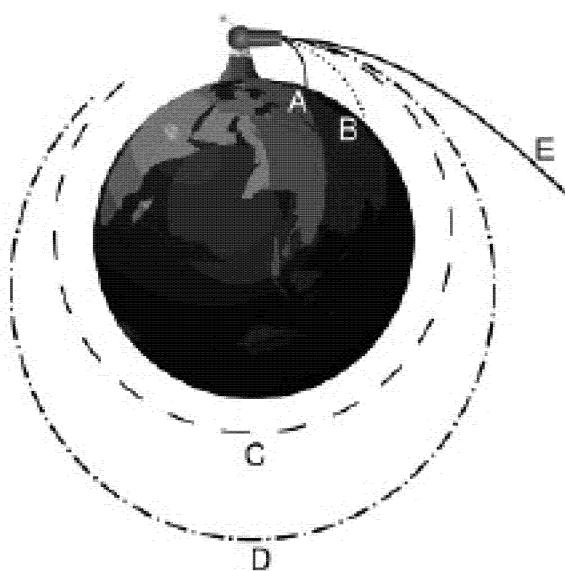
Leif Wedøe: Glimt fra eksperimentets historie. Fra svingende lamper til fangens dilemma. Cappelen Damm, 2009. ISBN 978-82-0229445-8 (184 sider)

Den gode historia knytt til sentrale historiske eksperiment

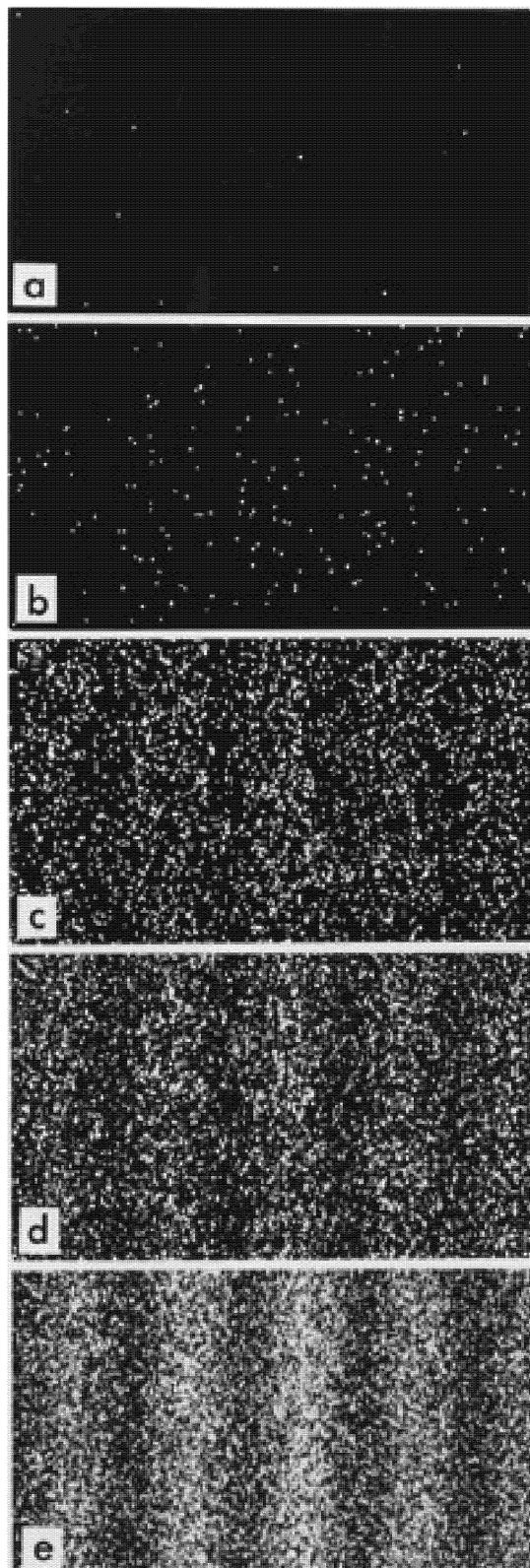
Leif Wedøe er ein engasjert pensjonert fysiker som er opptatt av at fysikkfaget og vitenskapen generelt, skal nå ut til folket. Wedøe har etter han blei pensjonist skrive to bøker om fysikken i daglegdagse fenomen: "Hvorfor faller ikke skyene ned?" og "Hvor fort går bølgene?". No kjem ei ny bok frå Wedøe: "Glimt fra eksperimentets historie".

Det er først og fremst sentrale eksperiment av eldre dato som er tatt med i boka, og kvart av dei er sett inn i den historiske samanhengen dei står i. Det faglege innhaldet og kvifor desse eksperimenta var så avgjerande i si tid, blir forklart. Nokre av dei er så kompliserte at dei krev meir forklaring, og dei har fått tilleggsforklaring bak i boka.

Alle eksperimenta er bygde på andre sin kunnskap, og det er alltid ein eller fleire personar som får ære for arbeidet. Det er ikkje alltid at æra blir gjeven til rett person, og dette aspektet er også tatt med saman med spennande opplysningar om dei vitelystne forskarane. Det er eksperiment innan fysikk som dominerer i boka, men fleire eksperiment innan biologi, kjemi og psykologi er også med. I tillegg er det døme på språklege og økonomiske forsøk. Dei fleste eksperimenta spring ut ifrå ein hypotese som ein ynskjer å testa ut, i tillegg til at dei er bygde på andre sine eksperiment. Det er fleire døme på det, m.a. eksperimenta til Galilei, Santorini og eksperimentet som omhandlar åtferd til fangar og fangevaktarar, dvs. "The Stanford Prison Experiment".



Figur 1. Newtons tankeeksperiment. Tenk deg at du tar med deg ein kanon på eit høgt fjell, sa Newton. Kanonen set du i horisontal stilling og byrjar å skyte med lite krut. Då vil kula følgje ein parallelbane og dette ned eit stykke vekke (A). Aukar ein krutmengda vil kula gå noko lenger før ho dett ned (B). Har ein mykje krut og er heldig, vil kula følgje ein sirkelbane (C). Blir kanonladningen auka ytterlegare, vil kula følgje ein ellipsebane (D). Til slutt får kula ein fart som ein i dag kallar unnsleppingsfarten (E). Då vil kula forsvinna ut i verdsrommet. – I dag bruker ein rakettar til dette.



Figur 2. Youngs dobbeltspalteeksperiment med elektron utført av C. Jönsson, P.G. Merli og A. Tonomura. Elektronstrålen frå ei elektronkjelde blei delt i to og sendt mot kvar sin smale og parallele spalteopning. I byrjinga var det berre prikkar på ein fotografisk film, men etter kvart bygde set seg opp eit bilet som likna Youngs mørke og lyse stripa. Elekrona hadde interferert med kvarandre.

Det er fleire årsaker til at eit eksperiment blir kjent, og det er ikkje alltid like ærefullt. Wedøe har tatt med ”*Verdens mest berømte mislykkede eksperiment*”, pseudovitskap, som gav seg ut for å vera vitskap, og kald fusjon. Nokre eksperiment vart gjort på feil grunnlag, men dei har likevel treft borti noko. Eksperimentet ”*Verden er liten*”, om nettverksbygging, viser det. Ein sjeldan gong kan små tilfelle få store konsekvensar. Då gjeld det at personane som oppdagar det skjørnar potensialet i det dei ser. Opp daginga av penicillinet og radioaktiviteten, er slike hendingar.

Nokre eksperiment er ofte blitt omtalt i klasserom verda rundt, men dei har sannsynlegvis aldri blitt gjennomført. Etter alt sannsyn sleppte ikkje Galilei to kuler frå det skeive tårnet i Pisa. Det kan ha vore eit tankeeksperiment frå undervisninga hans. Tankeeksperiment er kjent for dei fleste av oss, men dei har og ein solid plass i historia. Maxwell, Newton, Aspect og Einstein sine høyrer med til dei mest berømte. Newton sitt er vist i figur 1, og det er røyndom i dag.

Det siste eksperimentet som er tatt med er ikkje ringare enn ”*Verdens vakreste eksperiment*” kåra av tidsskriftet *Physics World*. Det er Youngs dobbeltspalteeksperiment med elektron, og ord som openbaring, enkelt og elegant, er brukt for å skildra det, sjå figur 2.

Den gode historia er eit anerkjent didaktisk verkemiddel. Boka til Wedøe inneheld 36 gode historier som ein kan bruke til å krydre undervising med. Dei kan bidra til å vekke interessa for noko som for enkelte elevar er tørt og kjedelege, og det kan bidra til å gjera faget meir spennande for både lærar og elev.

Merete Økland Sortland
Høgskolen Stord, Haugesund.

∞

Arne Totland og Truls Sevje: Thorium – bærekraftig og miljøvennlig kjernekraft. Tapir Akademiske Forlag, 2008. ISBN 978-82-519-2381 (143 sider), 195 kr.

I en energihungrig verden er thorium blitt viet fornyet interesse som alternativt fertilt kjernemateriale i avlsreaktorer. Selv om undersøkelser av thoriumforekomster er mangelfulle, vet man i dag at forekomstene i Norge er blant de største man kjenner. Energien som eventuelt kan utvinnes fra

den største kjente forekomsten i Fensfelta ved Ulefoss, er stor. Den tilsvarer anslagsvis 40 ganger energien i hydrokarboner på norsk sokkel. Dette har naturligvis skapt stor interesse, spesielt lokalt, der man ser for seg en framtidig omfattende næringsutvikling.

Forfatterne av boka, cand.real. Truls Sevje og Arne Totland, er lektorar i hhv. videregående skole og Høgskolen i Telemark. Boka er, som det sies i forordet, en debatt- og lærebok om kjernekraft generelt og om thoriumreaktorer spesielt. Boka er tilegnet kjernekjemiens pionerer i Norge: Gunnar Randers, Odd Dahl og Jens Christian Hauge. Deres innsats var et mesterstykke, og plasserte for noen år lile Norge i fremste linje i kjernekjemi. Deres vyer om kjernereaktorer i norsk energiproduksjon ble imidlertid lagt fullstendig død da det ble funnet olje på norsk sokkel. I dag har som kjent Norge to mindre reaktorer i drift. De bruker til et bredt spektrum av viktige anvendelser, fra grunnleggende forskning til produksjon av radioaktive isotoper for medisin og industri.

Boka har to hoveddeler, 1) Kjernekraft i et samfunnsperspektiv og 2) Kjernekraft, fysikken og teknologien. Truls Sevje, som ved siden av sitt hovedfag i matematikk også har samfunnsøkonomi i sin fagkrets, er ansvarlig for del 1. Arne Totland, med hovedfag i kjernefysikk, er ansvarlig for del 2.

Boka er både pedagogisk god og velskrevet. Begge forfattere har tatt med litt om stråleproblemene knyttet til kjernekraft, men stoffet er alt vesentlig knyttet til fysiske, tekniske, økonomiske og samfunnsmessige spørsmål. Denne anmelderen er enig med forfatterne i deres prioritering. Debatten om stråling og helse er dessverre langt fra å være vitenskapelig oppdatert, det har den antakelig aldri vært.

Boka gir en god fremstilling av kjernereaktorenes utvikling, helt fra pionertiden og til framtidens ”generasjon-4”-reaktorer. Medlemmene i ”generasjon-4”- klubben har valgt ut seks reaktorer. Disse representerer en til dels radikal nytenking når det gjelder så vel teknologi som sikkerhet. Flere av disse reaktorsystemene er allerede under utvikling, og noen av dem vil også kunne avle uran-233 fra thorium. Boka tar spesielt for seg ”smeltet salt-reaktoren”, som kanskje er den generasjon-4-reaktoren som er best egnet for thorium. Boka beskriver også ADS, kombinasjonen aksellerator og underkritisk reaktor. ADS-systemer er spesielt interessant for å fjerne transuraner fra brukte brensel samtidig som det produseres energi.

Reaktorsystemer basert på thorium som primær kilde forutsetter en delvis ny avls-teknologi som ennå ikke er ferdig utviklet. Thorium-232 er ikke fissil, den er fertil og må nøytronbesträles for å gi fissilt uran-233. Både thorium og uran-233 har imidlertid flere interessante egenskaper. Uran-233 er lettere enn uran-235 og plutonium-239, og gir vesentlig mindre andel transuraner i brukte brensel. Dessuten er thorium kjemisk og som metall meget stabilt. Både metallet og thoriumdioksid har meget høye smeltepunkt sammenlignet med uran.

Bokas mange illustrasjoner og figurer er hentet fra forskjellige kilder. Noen av figurene burde imidlertid tilpasses en norsk bok. Flere av dem har engelsk tekst og kunne med fordel vært oversatt. I noen av dem er også teksten omtrent uleselig uten bruk av lupe. Videre er to figurer i del 1 (figur 3 og 4) gjentatt i bokas del 2.

Bokas konklusjon er relativt åpen. Globalt er forekomsten av thorium 3 til 4 ganger større enn forekomsten av uran, hvilket for det meste skyldes thoriums lengre halveringstid. Norske thoriumforekomster er store, men vanskelige å utvinne, delvis på grunn av lav konsentrasjon og delvis på grunn av små kornstørrelser. Norske thoriumforekomster er derfor mer en fremtidig ressurs da det finnes til dels store kjente reserver i India, Australia og Brasil som er lettere tilgjengelig. På den annen side er prisen på kjerneenergi relativt ufølsom for prisen på brensel, og norske thoriumforekomster vil bli brukt dersom thoriumteknologi for alvor blir aktuelt. For Norge spesielt kan derfor thorium på litt sikt bli en garanti for energitilgang i tusen år.

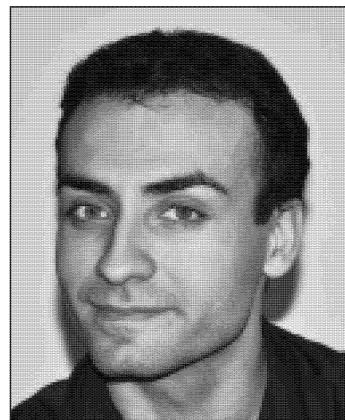
Boka kan absolutt anbefales som en godt oppdatert lærebok. Alle kan lese den, men som fagbøker flest forutsetter den en våken leser.

Finn Ingebretsen

∞

Nye Doktorer

Jacob Linder



M.Sc. Jacob Linder forsvarte 3. april 2009 sin avhandling *Quantum transport and proximity effects in unconventional superconducting hybrid systems* for PhD-graden ved NTNU.

Samspillet mellom magnetisme og superledning tilbyr en arena med rik fysikk å utforske, samtidig som det åpner for potensielle applikasjoner i lavtemperatur nanoteknologi. Vanligvis betraktes superledning og magnetisme som antagonistiske fenomener, men den nylige eksperimentelle oppdagelsen av materialer som fremviser begge deler peker på nye mekanismer for hvordan superledning kan oppstå og koeksistere med ferromagnetisk orden. En annen måte å studere den gjensidige innflytelsen magnetisme og superledning har på hverandre, er å lage hybrid strukturer av materialer som har magnetiske eller superledende egenskaper, for eksempel i lagdelte tynnfilm strukturer.

I doktorarbeidet har Jacob Linder studert samspillet mellom magnetisme og superledning i tre ulike kontekster: (i) konvensjonelle, metalliske hybridstrukturer, (ii) materialer med intrinsiske magnetiske og superledende egenskaper samt (iii) i et todimensjonalt gitter av karbonatomer, dvs. graphene. Forskningen har fokusert på nye effekter relatert til transport av ladning og spinn i disse systemene, og hvordan disse kan utnyttes både i applikasjoner samt med tanke på å lese ut nyttig informasjon om ulike korrelasjoner som er til stede i systemet.

Arbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTNU, med professor Asle Sudbø som veileder, og er finansiert av Forskningsrådet.

∞

Bjarte Gees Bokn Solheim

MSc. Bjarte Gees Bokn Solheim forsvarer 6. februar sin avhandling *Oscillatory, ultradian movements in Arabidopsis – Biophysical studies of rhythms in plants onboard the International Space Station and on Earth*, for graden phd i biofysikk ved NTNU.

Doktorarbeidet er tilknyttet det norske eksperimentet MULTIGEN-1 (MULTiple GENERations-1) som ble utført på Den internasjonale romstasjonen i 2007, og var et samarbeidsprosjekt mellom biofysikere og plantefysiologer ved NTNU. Arbeidet var en kombinasjon av forberedende eksperiment, teknologiutvikling og gjennomføring av eksperimentet. Målsettingen var å studere tyngdekraftens påvirkning på roteterende tilvekstmønster i planter.

Tyngdekraftens biologiske effekter kan studeres i vektløshet. Ved å dyrke plantene på sentrifuger kunne man observere bevegelsene til planten i vektløshet hvis sentrifugen ikke roterte, ved 1-g akserasjon ved rotasjon, deretter i vektløshet igjen etc. I vektløshet viste plantene bare små rotasjonsbevegelser som var vanskelige å skille fra støy, men når de ble utsatt for kunstig tyngdekraft økte amplitude 5–10 ganger. Et 120 år gammelt spørsmål har fått sitt svar, og man kan nå gå videre for å finne ut hvordan tyngdekraften påvirker disse bevegelsene.

Forbedringer av romstasjonens utstyr ble også utført. Sentrifugesystemene som var designet for å produsere 2D- videobilder med 5 min intervall, ble videreutviklet slik at framtidige eksperimentgrupper også kan få ut 3D- bilder og 3D-koordinater.

Prof. Anders Johnsson, Inst. for fysikk, NTNU, var veileder. Solheim er nå ansatt ved CMR Prototech i Bergen, og jobber med romfart og energi.

∞

Ane V. Vollsnæs

Cand.scient. Ane V. Vollsnæs forsvarer 12. januar sin avhandling *Biophysical aspects of root growth dynamics and leaf responses to environmental stimuli: spectral, temporal and spatial investigations* for PhD-graden ved Universitetet for miljø og biovitenskap.

Ett av formålene med arbeidet var å utvikle og ta i bruk forskjellige måle- og analysemetoder som tradisjonelt ikke brukes i plantevitenskap, for å studere planters respons på sine omgivelser.

Konsentrasjonen av den sterkt oksiderende gassen ozon i troposfæren er doblet de siste hundre årene, og i skog- og landbruk regner man med store tap som følge av dette. Visuell karakterisering av ozonskader på planter og bilder tatt i IR-lys, viste at ozon forstyrret bladene temperaturregulering selv om bladene så friske ut. Videre viste forsøkene at lyse netter kan øke plantenes ozonfølsomhet og kan ha stor betydning for ozonresponsen hos planter som ikke er tilpasset nordlige forhold. Ozon førte også til kraftig reduksjon i rotvekst, noe som gjør plantene utsatt for tørke.

Particle image velocimetry-analyser av røtter viste at mutanter med dårlige røtter deformerte jorda omkring mer enn velfungerende røtter, noe som kan virke negativt på plantens vekst. I tillegg viste spektroskopi at svakt lys tilsvarende det som kan trenge ned i jorda førte til økt pigmentproduksjon og endringer i røttenes struktur.

Arbeidet var finansiert av Forskningsrådet og Inst. for matematiske realfag og teknologi, UMB. Veiledere har vært førsteamanuensene Cecilia Futsæther og Unni Oxaal. Deler av arbeidet ble utført ved UiO, NTNU og Scottish Crop Research Institute. Vollsnæs er nå forsker ved IMT, UMB.

∞

Trim i FFV

Løsning på FFVT 1/09 og ny oppgave

Kulegeometri

Spørsmålet var om det finnes andre steder enn på Nordpolen hvor en kan gå 100 km sydover fulgt av en 100 km tur østover og deretter gå 100 km nordover og komme tilbake til utgangspunktet.

Utgangspunkt for en slik tur kan også være hvor som helst på en sirkel rundt Sydpolen med en avstand på ca. 116 km fra polpunktet. 100 km sydover derfra bringer oss til et sted ca. 16 km fra polen. 100 km videre østover utgjør en sirkel på 100 km rundt polen, og går vi 100 km nordover igjen kommer vi tilbake til startpunktet. Det er altså en uendelig mengde punkter på en sirkel med 116 km radius omkring Sydpolen som oppfyller kravet i oppgaven.

Vårt nye spørsmål er nå om det finnes enda flere steder på kloden hvor tre slike forflytninger ender opp ved utgangspunktet?

Det er alltid hyggelig med leserbrev, og denne

oppgaven har resultert i to brev til redaksjonen. Litian Wang (*Litian.Wang@hiøf.no*), har sendt oss en grundig redegjørelse som inneholder både løsningen som er nevnt her og løsningen på vårt neste spørsmål som vil bli gitt i neste nummer. Wang mener at til tross for kulden i Antarktis vilturen nordover i egne spor være ”en tur for nytelse og refleksjon på natur, matematikk, fysikk, og ikke minst, kulegeometri”.

Åge-Johan Thorsen har også sendt oss løsningen ovenfor med langt større presisjon enn anført her.

Vi oppfordrer nå flere til å tenke gjennom det siste problemet som vi har presentert!

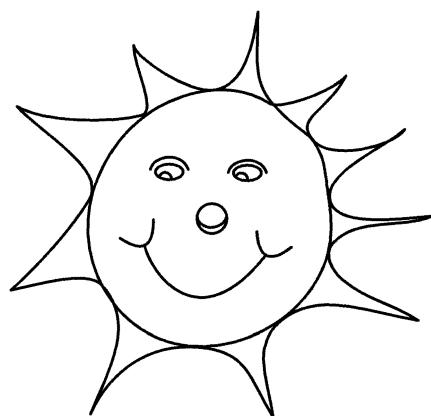
FFVT 2/09

Oppskjæring av smultring

En torus deles opp av simultane kutt. Med simultan menes at avdelte biter ikke blir flyttet på mellom kuttene. Kuttene er rette plan. Hvor mange biter er det mulig å oppnå teoretisk sett med tre kutt?

Det er mulig å finne en formel for det maksimale antall biter som en funksjon av antallet kutt. Hvordan ser formelen ut?

∞



God sommer!

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. Andre kan også abonnere på bladet. Blant disse er elever og bibliotekar ved videregående skoler. Bladet gis ut fire ganger i året, i mars, juni, oktober og desember. Tidsfristene for stoff er 1. februar, 1. mai, 1. september og 1. november. Opplaget er f.t. 1900.

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

MANUSKRIPTER leveres i en form som forfatteren mener er direkte publiserbar. De skal leveres elektronisk, helst som e-post. Dersom formatet ikke er ren tekst (helst LATEX) eller i Microsoft Word, må det merkes med hvilket tekstdbehandlingsprogram som er brukt. Under alle omstendigheter må redaksjonen kunne forandre teksten direkte.

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

SMÅSTYKKER: Gratulasjoner, nekrologer, bokomtaler, skolestoff, møtereferater etc. mottas gjerne, men de må ikke være lengre enn 1–2 sider. Bokkronikker kan være noe lengre. Doktoromtaler begrenses til en halv side inkludert bilde.

ILLUSTRASJONER er en viktig del av en artikkel. Legg derfor mye omtanke i figurene. All tekst skal være på norsk. Figurene vil som regel bli trykt i svart/hvitt med en spaltebredde på 8,6 cm. Av økonomiske grunner vil bilder bare i spesielle tilfeller trykkes i farger. Figurene bør være på elektronisk form i et standard grafisk format og med god opplosning. Vi kan unntaksvise motta figurer eller bilder som urastrerte kopier. Figurer og tabeller skal være referert i den løpende teksten, og ønsket plassering må 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 av artikklene. De må være teknisk gode og kan trykkes i farger.

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

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

President:

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

Visepresident:

Førsteaman. Øyvind Frette
 Inst. for fysikk og teknologi, UiB.
 e-post: oyvind.frette@ift.uib.no

Styremedlemmer:

Professor Øystein Elgarøy
 Inst. for teoretisk astrofysikk, UiO
Professor Ulf Kristiansen
 Inst. for elektronikk og telekom. NTNU
Forsker Ole Martin Løvvik
 Senter for materialvitenskap og
 nanoteknologi, UiO
Førsteaman. Kjartan Olafsson
 Inst. for fysikk og teknologi, UiB
Professor Einar Sagstuen
 Fysisk institutt, UiO
Professor Jon Samseth
 Høgskolen i Akershus, Lillestrøm
Lektor Morten Trudeng
 Asker videregående skole

Selskapets sekretær:

Cand.scient. Øyvind Svensen
 Inst. for fysikk og teknologi, UiB,
 Allégaten 55, 5007 Bergen.
 Tlf: 55 58 28 78, Faks: 55 58 94 40
 e-post: oyvind.svensen@ift.uib.no
 Bankgiro: 7878.06.03258

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:

Professor Øystein Elgarøy
 Inst. for teoretisk astrofysikk, UiO
Professor Øyvind Grøn
 Høgskolen i Oslo og Fysisk inst. UiO

Redaksjonssekretær:

Overingeniør Karl Måseide
 Fysisk institutt, UiO

Redaksjonskomité:

Professor Åshild Fredriksen
 Institutt for fysikk, UiT
Professor Per Chr. Hemmer
 Institutt for fysikk, NTNU
Førstelektor Ellen K. Henriksen,
 Fysisk institutt, UiO
Professor Per Osland
 Institutt for fysikk og teknologi, UiB

Ekspedisjonens adresse:

Fra Fysikkens Verden
 Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
 Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.
 Tlf.: 22 85 64 28 / 22 85 56 68
 Fax.: 22 85 64 22 / 22 85 56 71
 e-post: oystein.elgaroy@astro.uio.no
 e-post: oyvind.gron@iu.hio.no
 e-post: k.a.maseide@fys.uio.no
 Bankgiro: 1503.09.65474

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