

# Fra

# Fysikkens Verden



Kabelskip som legg lysleiale sjøkabel ved Svalbard  
(sjå artikkel om Lysleiale fibrar)

Utgiver:

Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:

Øyvind Grøn

Emil J. Samuelsen

Redaksjonssekretær:

Karl Måseide

## Innhold

Aasmund Sudbø:	37
Lysleiale fibrar skapte Internett	
Kenneth D. Knudsen:	43
Europeisk nøytronkilde i Lund	
Trygve Buanes:	49
Observatorier for gammastråling	
Frå Redaktørane	34
Nytt fra NFS	35
Nordic Physics Days	
Fra Fysikkens Verden på nett	
FFV Gratulerer	36
Olav Thon-stiftelsens pris	
til Anders Malthe-Sørensen	
Fysikknytt	53
Nyoppdagd nano-is	
Bokomtale	55
Øyvind G. Grøn:	
Termodynamikk	
for høgskole og universitet	
Kommentar	56
Informasjon om boka	
fra forfatteren	
Frå Fysikkens historie	56
Tankar om nordlyset i 1787	
Hva skjer	57
NFS og European Physics Journal	
Nye doktorer	58
PhD Nora H. Stray	
Trim i FFV	58
FFV leserundesøkelse	59

## Frå Redaktørane

For å få eit bilde av korleis Fra Fysikkens Verden blir vurdert av lesarane, og som hjelp til forbetring, har redaksjonen tatt initiativ til ei lesarrundspørjing. På siste innsida i dette nummeret er det lagt inn eit spørjeskjema, som vi ønsker flest muleg tar tid til å svare på. Same skjemaet er også å finne på Norsk Fysisk Selskaps nettside, [www.norskfysikk.no/nfs/](http://www.norskfysikk.no/nfs/). Framgangsmåtar for å sende inn svar er forklart på skjemaet.

Med dette nummeret av FFV er vi komne halvvegs gjennom "Lysåret 2015". Lysåret er valt av UNESCO og FN for å markere "resultat oppnådd gjennom vitenskapen om lys, og om utnyttinga av resultata til beste for menneskeslekta". Aasmund Sudbøs artikkel i dette nummeret om optisk kommunikasjon gjennom fibrar av glas som grunnlag for Internett, er eit godt eksempel i den samanhengen.

I feiringa av Lysåret 2015 er det også lagt inn mange jubileumsmarkeringar. Den fremste er 1000-årsjubileum for framveksten av fagområdet optikk, knytt til den arabiske muslimske multivitskapsmannen og filosofen *Ibn Al-Haytham*, som levde frå år 965 til 1040. Han var fødd i Basra, men det var i Kairo han verka som vitskapsmann. Mellom 1011



Ibn Al-Haytham (965–1040)  
portrett på irakisk pengesete

og 1020 skreiv han eit bokverk som vi på moderne språk kallar "Optikkboka". Boka er forbløffande innsiktsfull og har inspirert seinare vitskapsfolk og tenkarar. Han drøftar m.a. korleis synet vårt fungerer, og har oppfatningar som går mot sjølvaste Aristoteles.

Det heiter at kjente personar som Robert Grosseteste (1175–1253), Roger Bacon (1214–1292), Leonardo da Vinci (1452–1519), Galileo Galilei (1564–1642) og andre henta mange av ideane sine frå Al-Haytham. Han gjorde sjølv eksperiment med lys, speglar og linser, det som no blir kalla "geometrisk optikk", og han blir såleis gjerne rekna som opphavsmann for såkalla "vitskaplege metodar", at vår viden må bygge meir på erfaring og eksperiment enn på berre tankekraft.

I Lysåret 2015 er også lagt inn 200-årsjubileum for bølgjeteorien for lys av Augustin-Jean Fresnel, 150-år for Maxwells likningar for elektromagnetiske bølgjer, 50-år for Penzias' og Wilsons påvising av kosmisk bakgrunnsstråling, og også 100-årsjubileet for Einsteins generelle relativitetsteori blir trekt fram her.

FFV har elles denne gongen to innslag om internasjonale installasjonar av betydeleg interesse for vårt land. Ved Lund i Skåne er den store felles-europeiske installasjonen ESS under oppbygging, skildra av Kenneth D. Knudsen. ESS, som skal levere nøytronstrålar for materialforsking frå 2025, blir det største internasjonale forskingsanlegget som er lagt til Norden inntil no. I ein annan artikkel fortel Trygve Buanes om planar for verdsomspennande instrumentering for å studere verdsrommet ved hjelp av kosmisk stråling, der 29 land er med. Den norske interessa er kanalisiert gjennom Universitetet i Bergen. Til jamføring er det 4 finske, 5 svenske og 27 japanske universitet som er med av i alt 187 institusjonar.

Emil J. Samuelsen

∞

## Nytt fra NFS

### Nordic Physics Days

Aller først ønsker vi alle deltakere velkommen til *Nordic Physics Days* i Trondheim 9. til 12. juni! Vi synes vi har fått til et spennende program og håper dere får godt utbytte av møtet både faglig og sosialt! Årsmøtet i Norsk Fysisk Selskap avholdes torsdag 11. juni kl. 17.00.

### Lysåret 2015

Vi er nå i gang med markeringen av "Lysåret 2015" også i Norge. Ved Universitetet i Oslo har lokale krefter fått hjelp fra Realfagsbiblioteket til å arrangere en foredragsserie med ulike tema i tilknytning til lys. I skrivende stund er det første foredraget "Lyset og verdensbildet – Christoph Scheiners rolle i debatten rundt 1600" ved Oddbjørn Engvold, allerede gjennomført og lagt ut på YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=A1kY4ckqJb4/>

Mer informasjon finnes på siden til Universitetsbibliotekets arrangementsoversikt: <http://www.ub.uio.no/om/aktuelt/arrangementer/ureal/science-debate/2015/>

Foredragene kan også følges på direkte strømming via nettet uavhengig av fysisk oppmøte.

Vi har opprettet egen facebookside for Lysåret 2015: <https://www.facebook.com/lysaaret/timeline/> Her deler vi oppdateringer fra *International Year of Light* og formidler etter beste evne det som skjer her til lands også. Ved å "like" siden får du oppdateringen etter hvert som de kommer.

Åshild Fredriksen  
president i NFS

∞

### Fra Fysikkens Verden på nett

I forbindelse med 60-årsjubileet for Norsk Fysisk Selskap og Fra Fysikkens Verden sin 75. årgang, bestemte styret i Selskapet seg i 2013 for å begynne arbeidet med å få ut alle gamle nummer av Fra Fysikkens Verden på nett. Dette er selvfølgelig en betydelig oppgave for et selskap med begrensede ressurser, men de gamle numrene er både av fysikkhistorisk interesse, og de er ikke minst et sym-

bol på Selskapets lange og stolte historie. Det ble bevilget 10 000 kr til å leie inn en student for å gjøre jobben med å scanne så mange blader som mulig fra det arkiv som finnes på Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo.

Under Jon Vegard Sparre sin kyndige hånd har vi kommet tilbake til og med årgangen for 1986. Det er ikke bare en ren digital utgave av hver enkelt side som produseres, det brukes også såkalt optisk tegngjenkjenning underveis (optical character recognition - OCR), som gjenkjenner (maskin)skrift, slik at det kan bygges en indeks. Dette gjør det mulig å søke etter tekst i hvert enkelt nummer, som lagres i det utbredte pdf-formatet. En av tankene bak er at det i fremtiden skal kunne bygges en database slik at man kan søke i samtlige numre samtidig og få opp de relevante numrene. Men dette vil kreve mer datakompetanse enn vi besitter i styret per i dag.

Styret har i vår bevilget penger til en ny omgang med scanning, og håpet er at vi skal kunne ta en tidsreise tilbake til 1960-tallet i løpet av sommeren.

Du finner de bladene som allerede er lagt ut her: <http://www.norskfysikk.no/nfs/FFV/ffv/>

Vi vil forsøksvis også legge ut nye numre som er eldre enn ett år.

Are Raklev

∞

Husk å melde  
adresseforandring  
til sekretæren  
i NFS!

## FFV Gratulerer

### Olav Thon-stiftelsens pris til Anders Malthe-Sørenssen



**Anders Malthe-Sørenssen og Olav Thon**  
(Foto: Terje Heiestad)

Professor Anders Malthe-Sørenssen ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, er tildelt Olav Thon-stiftelsens nasjonale pris for fremragende undervisning.

I begrunnelsen for pristildelingen heter det: "Anders Malthe-Sørenssen har modernisert undervisningen ved Universitetet i Oslo med basis i forskning. Han har blant annet introdusert langt mer aktive forelesninger ved hjelp av mentometre og er engasjert i å utvikle undervisningen og utdanningene og å dele denne kunnskapen med andre undervisere ved egen institusjon og nasjonalt."

Juryen legger spesiell vekt på tre aspekter ved undervisningen til Anders Malthe-Sørenssen.

1. *Studentaktiv lærings:* Malthe-Sørenssen har tatt utgangspunkt i tilgjengelig kunnskap om hva som er effektiv undervisning. Ulike former for studentaktivisering er nøkkelen til læring i fysikk, og dette har Malthe-Sørenssen tatt i bruk både i begynnerkurset i mekanikk og senere i termofysikk.
2. *Innføring av databeregninger tidlig i studiet:* Med verktøyet programmering på plass kan undervisningen legges nærmere opp mot forskning, og studentene kan jobbe med større prosjekter allerede tidlig i studiet, og arbeidsformen blir mer lik den som brukes i forskning.
3. *Grand Challenge-prosjektet* hvor spesielt motiverte studenter får delta i forskningsprosjekter fra første studieår. Studentene får da snakke om fysikk med aktive forskere og får dermed en praktisk innføring i forskning. Denne "lære ved å gjøre"-metoden er svært effektiv.

Olav Thon-stiftelsens priser ble delt ut for første gang i år og skal videre deles ut årlig. Undervisningsprisen er på 500 000 kr, og gis "for fremragende undervisning på universitets- og høyskolenivå". Prisene i år ble delt ut av Olav Thon under en seremoni i Universitetets aula 5. mars.

Hilde Lynnebakken  
Fysisk institutt, UiO

∞



# Lysleiande fibrar: Det som skapte Internett

Aasmund Sudbø \*



Lysleiande fibrar har gjort det nesten gratis å sende informasjon verda rundt. Denne artikkelen gjev ei oversikt over verkemåten til lysleiarane som er kjernen i Internett, og dei viktigaste stega i utviklinga av desse lysleiarane. Vi skal også sjå på utsiktene til vidare teknisk utvikling på bakgrunn av det som er kjent om fysikken i slike lysleiarar.

## Innleiing

Internett er ei verd der vi orienterer oss utan å tenke på fysisk avstand. Når vi klikkar oss fra web-side til web-side tenker vi ikkje på kvar websida blir henta frå. Vi ventar ute modige på nytt skjermbilete, men ventetida har lite å gjera med avstanden som biletet må vandre gjennom nettet. Vi får like gjerne meldingar frå dei som sit i same rom som vi, som frå andre sida av kloden, og meldingar til plage finn oss lett, same kvar dei kjem frå. Vi veit ikkje kvar svindlarane og overvakarane sit. Internett-abonnement med avstands-pris finst ikkje, og når det er dyrare å ringe til somme land enn til andre, så er det fordi teleoperatørane har avtalt det, og ikkje fordi det dyre landet ligg langt borte.

Dette at vi som brukar telefon ikkje treng å tenkje på avstanden til dei vi ringer til er nokså nytt. Då dei lysleiande kablane blei lagt i sjø og jord for vel tjue år sidan blei investeringane gjort av telefon-selskap som hadde sine største inntekter på såkalla fjernval-samtaler. I starten blei kablane bruka der teletrafikken var størst, innanfor og mellom storbyar, og i sjøkablar mellom kontinent. Då var ein enkel terminal med ei lysisjelde og ein lysmottakar eit kostbart byggelement, og spørsmålet for telefonselskapet var kor mange telefonamtaler som ein terminal kunne ta samtidig. Nå har mange eigen terminal i heimen sin, og det kostar mindre å kjøpe ein terminal enn å få ein installatør til å montere han.

## Verkemåten til lysleiarane i Internett

Med lysleiande teknikk blir lys leia langs hårtytte glasfibrar frå sender til mottakar, og det er korte lysblink som fører data. Ein sender omformar straumpulsar til lysblink, og ein mottakar lagar straumpulsar av lysblink. Sendaren lyser inn i ein fiber som leiar lyset langs kjernen av fiberen. Dei lysleiande fibrane i Internett er laga av silikaglas. Silika er namnet på syntetisk framstilt silisiumdioksid,  $\text{SiO}_2$ , eit stoff som finst i naturen i krystallinsk form under namnet kvarts. Det finst ingen andre stoff som gjev oss fibrar med så lite svekking av lyset og som samtidig gjev oss fibrar som toler strekk og bøyning. For å vera bøyeleg har fiberen ein diameter på bare  $1/8$  mm, men han er alltid innpakka i fleire lag polymer, slik at det det blir ein kabel som toler bøyning og draging.

Historia til dei lysleiande fibrane er svært nært knytt til historia til silisiumteknikken, som nå i over 50 år har gjeve oss tilgang til billeg elektronikk med stadig høgare frekvensar. Samtidig har alle frekvensane vore tilgjengelege heile tida, med hjelp av teknikk som er mykje dyrare enn silisium-teknikken.

Dersom sendaren eller leiaren er dyr, må mange brukarar dele same leiar. For lys i fiber har alltid det billegaste vore å bruke silisiumelektronikk til å gjera tidsdeling, ved at tilgangen til sendaren går på rundgang mellom brukarane etter som tida går. Lengda på tidsintervallet då kvar brukar får tilgang til sendaren blir då omvendt proporsjonalt med talet på brukarar.

Ein annan teknikk for leidningsdeling som har vore vanleg for data på elektrisk form er frekvensdeling, der kvar brukar har tilgang til eit frekvensintervall. Dette har vore god teleteknikk, fordi gode elektriske sendarar (oscillatorar) med kontroll over både senterfrekvensen og bandbreidda har vore tilgjengelege. Eit av dei viktigaste stega i utviklinga

\* Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

av fiberen som lysleiar var at eit frekvensområde nær 200 THz blei opna for frekvensdeling. For lysleiarane i Internett er det avtalt frekvensdeling med intervall på 50 GHz, og kvart slike intervall blir kalla ein frekvenskanal.

Frekvensdeling er altså ein svært sentral teknikk for lysleiane fibrar. Det mest sentrale nettelementet er den fiberbaserte lysforsterkaren som kan forsterke mange lysfrekvensar direkte, utan å gå vegen om elektriske signal. Eit anna sentralt nettelement for denne teknikken er frekvensmultipleksaren, som har mange fibrar inn, kvar med sin frekvens, og ein fiber ut med alle frekvensane samla. Systemet er illustrert i figur 1, som visar fiberbaserte lysforsterkarar saman med ein multipleksar og ein demultipleksar. Det er skrewe mange lærebøker om dei lysleiane fibrane, og tre av dei er å finne i litteraturlista her.

## Historia til lysleiarane i Internett

Utviklingshistoria til lysleiarane i Internett er mest av alt historia til lyskjelda, korleis den i mange steg har blitt betre og betre tilpassa til den lysleiane silikafiberen. Nedanfor kjem ein gjennomgang av dei viktigaste stega i den tekniske utviklinga som har gjeve oss Internett. Mykje av det som står her er henta frå ein artikkel med tittelen *"Optical fiber transmission: From research to commodity,"* publisert av forfattaren i tidsskriftet "Teletronikk", bind 101, nr. 2, side 20–34, 2005, her omtala som "teletronikk-artikkelen".

Nettet av lysleiarar er resultat av ein målretta vitskapeleg og teknisk innsats gjennom 30 år. I starten skjedde arbeidet i forskingslaboratorium som telefonselskapa rundt i verda oppretta, men det tok ikkje lang tid før elektronikkindustrien blei med som utstyrleverandørar. Utviklinga blei i stor grad finansiert av inntektene som telefonselskapa hadde fordi folk betala godt for å snakke med dei som budde langt borte. Men alle såg at med dei nye lysleiarane blei den faktiske ekstrakostnaden med

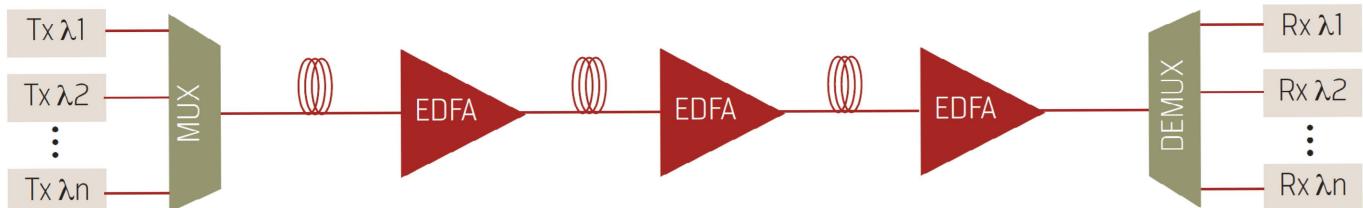
avstand liten, og då blei det umogeleg for telefon-selskapa å tene pengar på gamlemåten.

Nå i "Lysets år 2015" feirar vi at det er 50 år sidan ideen om lysleiarar i telenettet fyrst blei lansert. I 1965 hadde verda eit fungerande elektrisk telenett som dekte heile kloden, og kvar tilknytt telefon kunne koplast til ein vilkårleg annan telefon på kloden, og telefontrafikken auka jamt og trutt. Både frekvensdeling og tidsdeling av dei elektriske leidningane var i bruk. Når fleire skal dele på same leidning må den elektriske straumen gå med høgare frekvens. I ein elektrisk leidning blir straumen meir svekka på vegen, dess høgare frekvensen er. Då trengst det fleire forsterkarar på vegen. Telefonselskapa såg at dei kunne auke inntektene sine med å knyte saman storbyar, men såg også at det ville krevje store investeringar i leidningane mellom byane.

## Svekking av lyset i ein lysleiar

Det var faktisk i 1966 at det fyrste klare forslaget kom om å bruke glasfibrar til å leie lyset, bruke ein lysemitterande diode (LED) av materialet gallium-arsenid som lyskjelde, og bruke ein fotodiode av silisium som mottakar. LED og fotodiode var komponentar som fanst då, men ingen visste korleis ein skulle laga dei lysleiane glasfibrane.

Når lyset går i ein leiar blir det svekka, på den måten at ein fast brøkdel blir borte for kvar kilometer lyset vandrar. Eit viktig mål for svekkinga er svekkingskoeffisienten, som vanlegvis er oppgjeven som dB/km. Ein koeffisient på 10 dB/km medfører at lyseffekten blir svekka med ein faktor 10 for kvar km lyset går i lysleiaren. Dersom lyset går for mange kilometer i lysleiaren blir det for få foton i kvar lysblink til at vi kan vera sikre på at alle lysblinkane blir registrerte i mottakaren, og då må lyset forsterkast på vegen. I silikafiber kan lyset gå fleire hundre kilometer før det må forsterkast opp att, og 30 km avstand mellom forsterkarpunkt er vanleg.

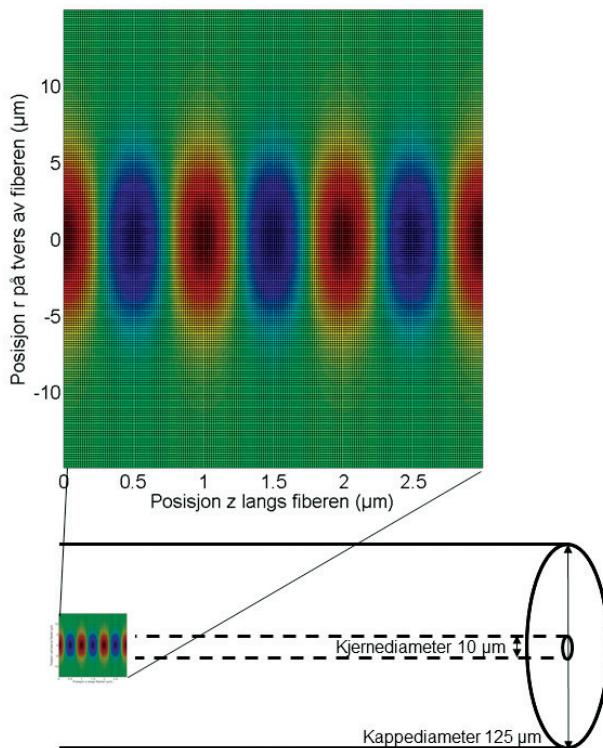


**Figur 1.** Lysleiane fibersystem med frekvensdelt multipleksing. Senderar (Tx) med ulike frekvensar, multipleksar (MUX), fibrar knytte saman med fiberbaserte lysforsterkarar (EDFA), demultipleksar (DEMUX) og mottakarar (Rx) (frå teletronikkartikkelen).

Dei som arbeidde med glas visste at i materialet silisiumdioksid er det svært lite svekking av lys om materialet bare er reint nok. Silisiumdioksid er eit stoff som finst i krystallinsk form i naturen under namnet "kvarts". Syntetisk framstilt silisiumdioksid blir kalla "silika". Firmaet Corning Glass i USA som i 1966 levde godt som leverandør av koppar og glas til amerikanske heimar. Etter fire års arbeid med å framstille reinare og reinare silikaglas i sine laboratorium rapporterte dei i 1970 at dei hadde greidd å laga lysleiande fibrar som hadde svekkingskoeffisient mindre enn 20 dB/km. Då visste dei at dei hadde noko som ville bli svært nyttig i telenettet.

Den lysleiande fiberen som blir bruka i Internett, er ein tynn tråd med diameter på 125  $\mu\text{m}$ . Til samanlikning har eit typisk menneskehår ein diameter på 80  $\mu\text{m}$ . Den vanlegaste lysleiande fiberen har ein kjerne med ein diameter på nær 10  $\mu\text{m}$ , der brytningsindeksen er litt større enn i kappa utanfor, og der mesteparten av lyset går.

For å få lite svekking må alt lyset gå i midten av fiberen langt frå glasoverflata, som vist i figur 2.



**Figur 2.** Fargerepresentasjon av den elektriske feltstyrken til lyset som forplantar seg i ein typisk leiande fiber, med raudt for positivt felt, blått for negativt felt og grønt for null felt. Figuren viser feltfordelinga langs ei lengde på 3  $\mu\text{m}$  av fiberen som går i z-retning. Figuren viser at feltet i fiberen har ei bølgjelengd på om lag 1  $\mu\text{m}$  og er konsentrert langs sentrum av fiberen innanfor fiberkjernen som har diameter på 10  $\mu\text{m}$ .

Figuren visar feltfordelinga for tilfellet med ein homogen fiberkjerne, men feltfordelinga blir nesten den same om brytningsindeksen minkar gradvis utover i kjernen. Kappa rundt kjernen er vanlegvis homogen, og då minkar feltstyrken i kappa tilnærma eksponentielt med avstanden  $r$  frå fibersentrum:  $\exp(-wr/a)$ , der  $a$  er kjerneradien, og  $w$  er eit tal mellom 1 og 2.

For reint silikaglas minkar svekkingskoeffisienten med minkande lysfrekvens til han når eit minimum for frekvensen 193 THz. LED-lyskjeldene av galliumarsenid som fanst i 1966 har ein frekvens på over 300 THz, og for den frekvensen er koeffisienten i silika på 2 dB/km. Men den ideelle frekvensen for å sende lys over store avstandar i silikafiber er 193 THz, der koeffisienten for reint silikaglas er mindre enn 0,2 dB/km. Dette er ein svekkingskoeffisient som har blitt den vanlege i lysleiarane som er i bruk i Internett.

## Kablar for lysleiarar

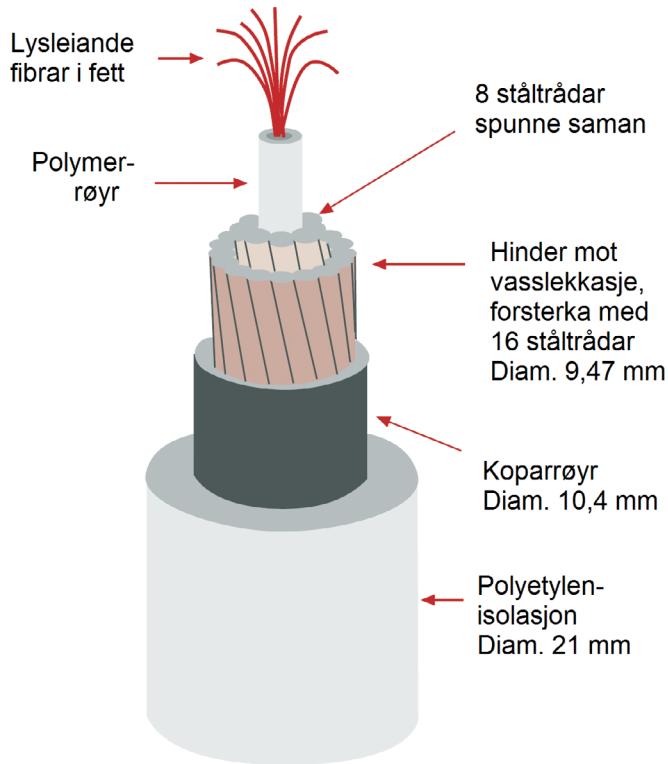
Låg svekking er særleg viktig i sjøkablane som går under verdshava mellom kontinenta. Ein slik sjøkabel kan ha meir enn hundre kabelseksjonar med lysforsterkarar, som skissert i figur 1. Sjøkabler er store tekniske prosjekt der heile kabelen med lysforsterkarar blir laga ferdig på fabrikk før alt blir lasta inn i eit kabelskip og så senka meter for meter ned i havet, som vist på figur 3. Den fyrste transatlantiske kabelen med lysleiande fiber blei lagt i 1988, og i 2003 blei ein liknande kabel installert mellom fastlands-Noreg og Svalbard.

I ein sjøkabel for lysleiarar er det vanlegvis meir



**Figur 3.** Kabelskip fotografert på Svalbard i juli 2003, under legging av lysleiande sjøkabel (frå Teletronikkartikkelen).

enn ein lysleiande fiber, men ofte mindre enn ti fibrar. Kvar fiber har alltid eit polymerbelegg med diameter på 0,25 mm, og fibrane ligg laust i ein gel i eit litt større polymerrøyr i sentrum av kabelen, som vist for delar av Svalbard-kabelen i figur 4.



Figur 4. Oppbygging av lyslekarkabelen som går mellom Svalbard og det norske fastlandet (frå teletronikkartikkelen).

Ein sjökabel av den typen som er vist i figur 4, blir lagt i ein nøytral planlagt trasé, så djupt som mogeleg i terrenget på havbotnen. Traseen er kartlagt med hjelp av sonar. Det som oftest skadar sjökablar er menneske i båt, så dersom skaderisikoen er stor, blir kablane nedgravne under havbotnen. Kystbyane i Noreg er alle knytte sammen med sjökablar med lysleiarar som ligg rundt heile kysten frå Oslo til Kirkenes. Det går også slike kablar til Danmark.

Byane i Sør-Noreg er knytte sammen med lysleiarar som går langs jernbanen i alle retningar frå Oslo. Lysleiar-kablane langs jernbanen ligg ofte i bakken ved sida av jernbanen. Kablane kan også ligge langs bilveg, nedgravne i røyr slik at dei er tilgjengelege frå kummar nær vegen. Luftkabel på stolpe er også vanleg. Den kostar minst å installere, men den må ofte repareraast.

## Polarisasjon

Lys er polarisert, det vil seie at svingninga i lysbølgjene har retning i rommet. I ein van-

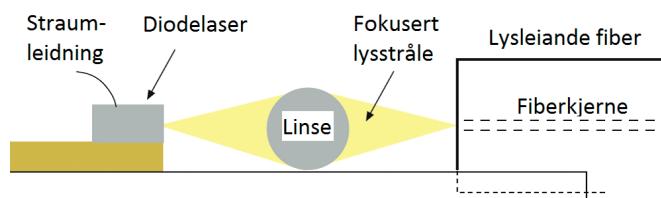
leg lysleiari er svingeretninga tilnærme vinkelrett på leiaren. I ein vanleg kabel varierer polarisasjonstilstanden for lyset i kvar leiar tilfeldig langs kabelen. I tillegg observerer vi at normale miljøpåkjenningar som temperaturforandring eller vind kan gjeva store forandringar i polarisasjonstilstanden av lyset som kjem ut av kabelen, endå om inngangstilstanden er stabil. Derfor er det eit generelt krav til byggelement for lysleiande nett at dei må vera polarisasjonsuavhengige.

## Lyskjelder

Dei første lyskjeldene som blei bruka for signaloverføring på lysleiarar var lysemitterande diodar (LED) av galliumarsenid. Infraraud LED av liknande type er vanlegvis i bruk til fjernkontroll av elektronikk i heimen. Men diodelaserar (sjå figur 5) er mykje betre lyskjelder for signaloverføring, og overtok nesten straks. Dei eigenskapane som skil diodelaseren frå ein LED er

1. effektiv omforming av elektrisk effekt til optisk effekt
2. noko nær ei punktkjelde som tillet all utstrålt effekt å bli innkopla i lysleiaren
3. lysbølgjer med veldefinert amplitude, frekvens og fase, ei såkalla koherent bølgje
4. kontroll med amplitude, frekvens og fase via den elektriske straumen gjennom dioden
5. svært rask variasjon i lysstyrken ved raske variasjonar i den elektriske straumen

I år 2000 fekk Zhores Alferov og Herbert Kroemer Nobelprisen i fysikk for si rolle i utviklinga av diodelaserar for lysleiande fibrar. Dei første diodelaserane var som LED-ane laga av materialet galliumarsenid. Med dette materialet kan ein ikke



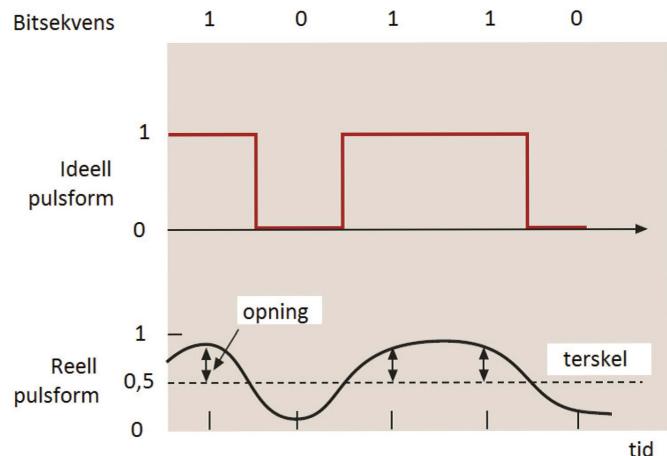
Figur 5. Samanstilling av diodelaser med elektriske leidningar for straumtilførsel, og ei linse som koplar lys frå laseren inn i fiberkjernen. Kjernen har normalt ein diameter på  $10 \mu\text{m}$ , medan diodelaseren er som eit lite korn, mindre enn  $1 \text{ mm}$  i kant. Lyset blir generert i ein mikroskopisk stav inne i "kornet" med typiske mål  $0,1 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m} \times 300 \mu\text{m}$  (frå teletronikkartikkelen).

få ut lys med lysfrekvensar nær 193 THz, som ein treng for å for at lyset skal gå lengst mogeleg utan forsterkning i silikafiber. Utan kjelder med rett lysfrekvens har silikafibrar liten verdi som lysleiara for Internett. Til dette formålet måtte ein finne opp eit heilt nytt halvleiande materiale, og det som visa seg å verke var ei blanding av indium, gallium, arsen og fosfor, forkorta InGaAsP. Lyskjelder av dette nye materialet har vore minst like viktig for bygginga av Internett som dei lysleiande glasfibrane har vore.

Den viktigaste parameteren for ei lyskjelde er uteffekten, som typisk er milliwatt i ein lysleiende fiber. Med optisk frekvensdeling blir spektraleigenkapane til kjelda også viktige. Senterfrekvensen må låsast, bandbreidda må avgrensast, og kjelta må sende ut lite lys ved andre lysfrekvensar enn den rette. Dei fyrtre kjeldene for frekvensdelte system hadde fast senterfrekvens, slik at eit system med 40 lysfrekvensar hadde 40 ulike kjelder som ikkje kunne stå i reserve for kvarandre. Etter kvart har kjelder med justerbar senterfrekvens også blitt vanlege, endå om justerbare kjelder stadig kostar meir enn dei med fast lysfrekvens. Ei moderne lyskjelde sender typisk med ein effekt på nokre milliwatt, sender ein bitstraum med 40 Gbit/s, har ei optisk frekvensbandbreidde godt under 50 GHz, og tillet oss å velje middelverdien til lysfrekvensen med 5 siffer.

## Mottakarar

Lys kan som kjent beskrivast som ein straum av enkeltfoton, kvart med energi som er proporsjonal med frekvensen. For ein frekvens på 200 THz er energien per foton  $0,132 \text{ aJ} = 1,32 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ . Lat oss taka utgangspunkt i figur 6, og seie at eit visst tal foton blir sendt innanfor kvar periode med bitverdi 1, og at ingen foton blir sendt i periodar med bitverdi 0. Lys som er mykje svekka etter å ha gått langt i ein lysleiar er ein tilfeldig straum av enkeltfoton, og vi seier at fotonstaumen har kvantestøy. Vi får bitfeil i mottakaren dersom ingen foton kjem fram når fleire foton er sende innanfor ein bitperiode. Dess færre foton som i middel kjem fram til mottakaren per bitperiode, dess større er sannsynet for bitfeil. Den viktigast parameteren for ein mottakar er den inngangseffekten (i milliwatt) som gjev eit spesifisert sannsyn for bitfeil. For ein ideell mottakar er sannsynet for bitfeil bestemt av talet på foton som i middel går inn på mottakaren per bitperiode. Dette talet er lik innkomande energi per bitperiode delt på fotonenergien. Ein slik mottakar krev



**Figur 6.** Øvst: Ideell representasjon av bit-sekvensen "10110" som går ut frå sendaren. Nedst: Representasjon av same bit-sekvensen, etter pulsforlenging i ein lysleiar. Bitsekvensen blir henta ut att med periodisk måling av signalet frå mottakaren og samanlikning med ein terskelverdi.

difor ein inngangseffekt som er proporsjonal med bitfrekvensen.

## Pulsforlenging og dispersjon

Lysblink i ein lysleiar vil alltid vera samansette av ulike delar som går med ulik fart i lysleiaren. Resultatet er at noko som startar som eit klart bitmønster på inngangen kan bli "smurt ut" på utgangen av lysleiaren, som vist i figur 6. Den viktigaste fysiske effekten som gjer at ein lyspuls utvidar seg når han vandrar langs ein lysleiar er dispersjon, det at lysbølgjer med ulike frekvensar går med ulik fart i leiaren. Fourieranalyse lærer oss at korte pulsar er bygt opp av mange frekvensar, at bandbreidda til ein kort puls er omvendt proporsjonal med pulslengda, og at korte pulsar har blitt meir forlenga enn lange pulsar, etter å gått i ein lysleiar med dispersjon. I reint silikamateriale er dispersjonen null for ein frekvens nær 240 THz, og slik er det også for den vanlegaste typen lysleiar. Men i dag tilbyr fabrikantane ulike typer lysleiarar som har null dispersjon ved andre frekvensar enn 240 THz, og det mest interessante produktet har visa seg å vera ein lysleiar som ved 193 THz har stor dispersjon med motsett forteikn av det som standardlysleiaren har. Då blir to lysleiarar med motsett dispersjon og tilpassa lengder skøytt saman til ein lenger lysleiar som har null netto dispersjon.

## Optiske forsterkarar

I ein optisk forsterkar blir lyset forsterka direkte, utan å omformast til elektrisk straum. Gode optiske forsterkarar finst bare for visse frekvensar. For 193 THz kan ein bruke grunnstoffet erbium som tilsetjing til silikaglaset i kjernen av lysleiaren, og få ein svært god optisk forsterkar. Den går under namnet EDFA, som står for erbium-dopa fiberforsterkar. Dei fyrste forsterkarane av denne typen kom i 1987, og står fram som eit av dei aller største stega i utviklinga av lysleiarteknikken, fordi denne forsterkaren

1. er polarisasjonsuavhengig
2. har lineær respons
3. har forsterkning med 4 THz bandbreidde
4. har liten forsterkarstøy
5. er ein vanleg lysleiale fiber som kan brukast som nettelement
6. kan pumpast med ein diodelaser av den typen som er bruaka i resten av systemet

For den som veit noko om elektroniske forsterkarar er bandbreidda på 4 THz det som mest særmerker ein EDFA. Denne bandbreidda er ein faktor hundre gonger større enn det som er tilgjeleg med moderne silisium-elektronikk! Med 4 THz bandbreidde kan mange frekvenskanalar på 50 GHz forsterkast samtidig, som vist i figur 1, og kanalavstanden på 50 GHz er så stor at klassisk optisk filterteknikk kan brukast til å bygge multipleksar og demultipleksar. Då den optiske forsterkaren kom i 1987 var det ikkje lenge før utstyrleverandørane hadde alle dei tilhøyrande nett-elementa klare.

## Fysiske grenser for lysleiariane i Internett

Den lysleiale fiberen som Internett er bygt med har vore handelsvare i fleire tiår. Svekkingskoefisienten ved 193 THz lysfrekvens er litt over 0,16 dB/km, det som fysikken tillet i ein silikafiber. Det blei lagt ned eit stort og omfattande forskningsarbeid over heile verda for å finne materiale som kan gjeva mindre svekkingskoefisient for bruk i sjøkablar. Ingen har lykkast med det, og vi må seie at leitinga etter ein lysleiale fiber med ein svekkingskoefisient på mindre enn 0,16 dB/km har stoppa.

Det er teknisk vanskeleg å bygge mottakarar for lysleiariar som ikkje krev mange foton per bitperiode på inngangen for å fungere. Shannon viste i 1948 at det finst ei øvre grense for bitfrekvensen som ein kan hente ut av ein mottakar med støy, og hans arbeid visar at i ein ideell mottakar med bare kvantestøy er eitt foton per bitperiode alt ein i middel treng for å få bitstraumen gjennom mottakaren. Men ein mottakar som opererer nær Shannon-grensa må gjera svært omfattande elektronisk prosessering, og i dag er det stadig ei utfordring å bygge mottakarar som svelger unna dei høge bitfrekvensane som er vanlege i lysleiariar.

I ein mottakar blir fotonstraumen omgjort til ein elektrisk straum. Vanlegvis blir fotonstraumen forsterka med hjelp av ein fiberforsterkar (EDFA) rett før mottakaren, for denne konstruksjonen gjev minst tilleggsstøy. Men ein EDFA er likevel ikkje betre enn at han gjev ein tilleggsstøy som er minst like stor som kvantestøyen. Dette er alvorleg for dei verkeleg lange sjøkablane, der lyset kan gå gjennom meir enn hundre EDFA på vegen, og der akkumulert støy på utgangen blir meir enn hundre gonger større enn den fundamentale kvantestøyen som ein startar med.

Det er ein fundamental fysisk eigenskap ved ein EDFA at han forsterkar alt lys utan omsyn til fasen på lysbølgjene. Det er denne eigenskapen som gjer at kvantestøyen blir dobla av forsterkaren. Det finst ein annan fiberbasert forsterkartype som heiter optisk parametrisk forsterkar (OPA), der forsterkinga er avhengig av fasen til lysbølgjene. Forsterkarar av OPA-typen kan i prinsippet løyse det som er eit teknisk problem med den vanlegaste forsterkartypen (EDFA), og OPA-forsterkarar er stadig eit aktivt forskingsfelt innanfor lysleiarteknikken.

## Avslutning

Dei aller fleste byane i verda er nå knytte saman med lysleiale fibrar, og i Noreg er vi alle avhengige av desse lysleiariane i vårt daglege liv. Internettet gjer at det er like lett å ha nettkontakt med menneske som er langt borte som det er å ha nettkontakt med våre nærmeste. Nettet av lysleiale fibrar blir i dag bruka i eit omfang og til formål ingen av dei som bygde nettet kunne førestille seg. Dei bitstraumane som i dag går i lysleiariane er fleire storleiksordnar større enn det som var planen då nettet blei bygt.

Nettet av lysleiale fibrar stod i stor grad klart før år 2000, og etter det har Internett-trafikken i verda vakse nær eksponentielt utan å fylle opp net-

tet. Det som har avgrensa trafikk-veksten er ikke trafikkork i lysleiarane, men det at folk i verda treng tid til å lære å bruke Internett på stadig nye måtar. Nå byrjar folk å snakke om at veksten av Internetttrafikken om få år kan bli bremsa av dei fundamentale fysiske grensene som silikafiberen har som lysleiar.

## Litteratur

1. R. Ramaswami and K. Sivarajan: *Optical Networks: A*

*Practical Perspective*, 2nd Edition. Morgan Kaufmann Publishers, ISBN 1558606556, (2001)

2. Govind P. Agrawal: *Lightwave Technology: Components and Devices*. John Wiley & Sons, ISBN 0471215732 (2004)
3. Govind P. Agrawal: *Lightwave Technology: Telecommunication Systems*. John Wiley & Sons, ISBN 0471215724 (2005)
4. Per Hjalmar Lehne, ed.: *Optical Communications*. Telektronikk 101, nr. 2, ISSN 0085-7130 (2005)

∞

# Ny felleseuropéisk nøytronkilde ESS under bygging i Lund

Kenneth D. Knudsen \*

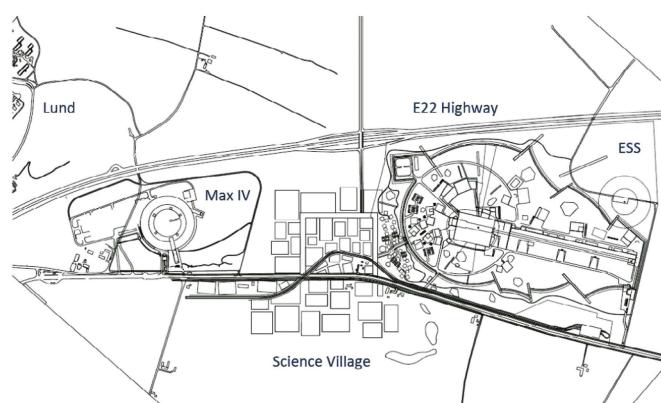
Den 9. oktober 2014 var en merkedag for den europeiske forskningsinstallasjonen ESS (European Spallation Source). Representanter fra 17 land bekreftet da, ved felles nedleggelse av grunnsteinen i Lund, et samarbeid som nå har resultert i byggestart for verdens kraftigste nøytronkilde i vårt naboland. ESS vil bli et svært anvendelig verktøy innen en rekke vitenskapelige grener, spesielt innen materialfysikk, kjemi og biofag.

## Bakgrunn

Ved fisjon, slik den foregår i en reaktorbaseret nøytronkilde, frigjøres det normalt 2–3 nøytroner ved hver spaltning. Dersom man isteden skyter høyenergetiske partikler (GeV) inn mot et mål av tunge kjerner for å destabilisere disse (spallasjon), vil det kunne frigjøres nær 30 nøytroner for hver innkommende partikkelen. Dette høye utbyttet er utgangspunktet for siste generasjons nøytronkilder til bruk i forskningsøyemed, såkalte spallasjonskilder.

Om få år vil verdens desidert sterkeste nøytronkilde basert på dette prinsippet være tilgjengelig i vårt nærområde, utenfor Lund i Sverige. Plasseringen av ESS sammen med synkrotronen MAX IV er skissert i figur 1.

Planene for bygging av en europeisk storskala spallasjonskilde til bruk innen materialforskning strekker seg tilbake i tid til 1993–94, da den norske fysikeren Tormod Riste ledet en OECD-komité som vurderte behovet for bl.a. nøytronkilder de kom-



Figur 1. ESS sammen med synkrotronen MAX IV og en vitenskapsby ("science village") mellom de to installasjonene (fra ESS, 2014).

\* Institutt for energiteknikk, Kjeller, og Institutt for fysikk, NTNU, Trondheim.

mende årtier.<sup>(1)</sup> Enighet om hvor en slik kilde skulle bygges ble omsider oppnådd i 2010. Valget falt da på Lund, etter sterk konkurranse med to andre kandidater, Debrecen i Ungarn og Bilbao i Spania. Den historiske bakgrunnen og den påfølgende prosessen før stedsvalget, har vært relativt utførlig beskrevet tidligere i FFV.<sup>(2)</sup>

En kortfattet gjennomgang av nøytronets egenskaper og vekselvirkning med materie, samt muligheter dette gir innen materialforskning, finnes i ref. (3).

Jeg vil her ta for meg den siste utviklingen knyttet til ESS, og se på hvordan denne muliggjør materialvitenskapelige undersøkelser innen en rekke felt.

Etter offisiell markering av byggestart begynner nå en intens fase av prosjektet hvor et stort antall deltakere må jobbe sammen etter en stram tidsplan for å realisere det nye forskningsverktøyet. Figur 2 er et flyfoto tatt høsten 2014 av området hvor ESS nå bygges.



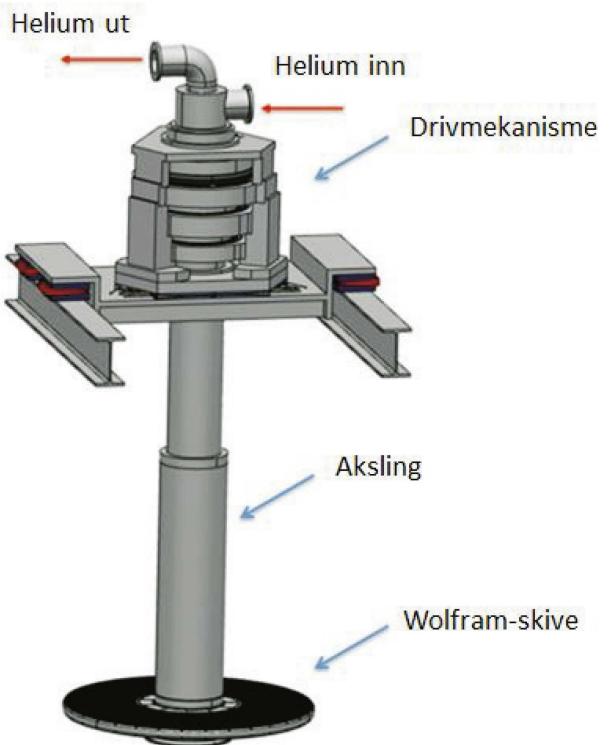
**Figur 2.** Grunnarbeidet for ESS startet høsten 2014. Det vifteformede området hvor instrumenthallen skal plasseres, ses nede til venstre. Første stadium av akseleratortunnelen oppe til høyre. Denne tunnelen vil bli 500 m lang. Målskiven hvor nøytroner dannes ved spallasjon, vil befinner seg omrent midt på bildet.

Det er planlagt bygget 22 instrumenter ved ESS, med mulighet for senere utvidelse til over 30. Av de 22 vil 16 komme i første fase som avsluttes i 2025. Hvert av instrumentene vil ha en prislapp på 10–20 millioner kroner, og de vil til sammen dekke et bredt spekter av materialstudier, både med hensyn til lengde- og tids-skala. Man utnytter her den unike kontrasten og innretningsevnen som nøytroner har sammenlignet med andre forskningsverktøy.

ESS kommer til å benytte en lineærakselerator (Linac) basert på superledende RF-kretser (radiofrekvente kretser kjent som klystroner) hvor protoner oppnår høy energi (2,5 GeV) før de treffer en

metallisk målskive. Protonene sendes i pulser av 2,8 ms varighet, og med en pulstetthet tilsvarende en strøm på 50 mA.<sup>(4)</sup> Repetisjonsfrekvensen til pulsene er satt til 14 Hz, dvs. 71 ms mellom pulsene. Vi snakker dermed om en svært kraftig lineærakselerator hvor gjennomsnittseffekten blir 5 MW med hele 125 MW i pulsene. Bygging og optimalisering av denne akseleratoren blir en av de store tekniske utfordringene knyttet til ESS. Akseleratoren vil ha en lengde på ca. 500 m, og protonene vil ved målskiven ha en hastighet på 96 % av lyshastigheten. Protonene vekselvirker så med metallkjerner i målskiven med den følge at 20–30 nøytroner frigjøres per kollisjon.

Det var lenge diskusjon om hvilket materiale som skulle brukes i målskiven. Det er viktig at dette er et element med høyt atomnummer for å oppnå stort nøytronutbytte per spallasjon. God kjøling er dessuten essensielt, siden man har nær 5 MW varme som skal transporteres bort. Det er nå bestemt, basert på grundige studier av ulike alternativer, at målskiven skal lages av wolfram i form av en plate, 2,5 m i diameter, som roterer med 25 1/2 omdreining per minutt. Kjøling skal foregå ved sirkulering av heliumgass ved 10 atm. trykk. En skisse av ESS-målskiven er vist i figur 3.



**Figur 3.** ESS-målskiven i form av en 2,5 m diameter heliumkjølt wolframplate. Denne treffes av hurtige protoner, og skurer av nøytroner vil da sendes ut. Målskiven er satt sammen av 33 sektorer. Drivmekanismen er også skissert (fra ESS, 2014).

Maksimal nøytronfluks vil bli ca. 100 ganger høyere enn det man har på de største reaktorbaserte kildene. Ved *Institut Laue-Langevin* (ILL) i Grenoble, en nøytronkilde for materialforskning som startet opp i 1971 og ble oppgradert 1991–95, er fluksen ca.  $10^{15}$  nøytroner per  $\text{cm}^2\text{s}$ , mens man ved ESS vil få en fluks av størrelsesordenen  $10^{17} / \text{cm}^2\text{s}$  i pulsene.

## Finansiering

Budsjettet for bygging av ESS er låst til 1,843 milliarder Euro, en sum som ble fastlagt i 2013. Dette vil si at alle elementer må optimaliseres innenfor denne rammen. Selve instrumentene utgjør 350 M Euro av dette, mens de største kostnadene er knyttet til akseleratoren (510 M Euro), samt bygninger og annen infrastruktur (530 MEuro). Sverige og Danmark dekker til sammen nær halvparten av konstruksjonskostnadene, med 35 % fra Sverige og 12,5 % fra Danmark. Resten av utgiftene dekkes av til sammen 15 andre deltakerland (per januar 2015). Norge står for 2,5 % av konstruksjonskostnadene. Når det gjelder driften av anlegget, vil Sverige og Danmark dekke 15 % av kostnadene, slik det ser ut nå. Dette anslås til 140 M Euro per år, dvs. ca. 8 % av konstruksjonskostnadene.

## Instrumenter

Når dette skrives er til sammen 12 instrumenter godkjent for bygging, hvorav tre allerede er forbi designstadiet. Konkurransen er hard om å få forslag godkjent, og prosessen for utvelgelse er relativt detaljert. Alle ideer som kan gi god vitenskap er i utspringspunktet velkomne fra enkeltgrupper i deltakerland, eller ved samarbeid over landegrensene, men et minimumskriterium er at det skal være en betydelig gevinst (en faktor 10–100) i f.eks. tidsoppløsning eller fluks dersom det allerede skulle eksistere lignende instrumenter andre steder i verden. Utvelgelsen innebærer derfor detaljerte beregninger og Monte-Carlo-simuleringer for å teste om ideen er levedyktig, og for å kunne få tall ("figure of merit") som kan brukes til sammenligning. Det er utviklet avanserte programsystemer for dette formålet,<sup>(5)</sup> hvor man nå kan generere et helt instrument i en 3D-datamodell, inkludert nøytronkilden med korrekt hastighetsfordeling for nøytronene, og til og med plassere en virtuell prøve i prøvekammeret for å følge hele spredningsproses-

sen. I tillegg til at slike virtuelle eksperimenter er essensielle for detaljert å kartlegge oppførselen til nye instrumenter, vil de være meget nyttige til opplærings- og treningsformål. Man kan se for seg at det i fremtiden gjøres et virtuelt eksperiment hjemme for å finne de beste betingelsene før man benytter den dyre tiden ved store installasjoner både med nøytroner, røntgen, og andre målemetoder.

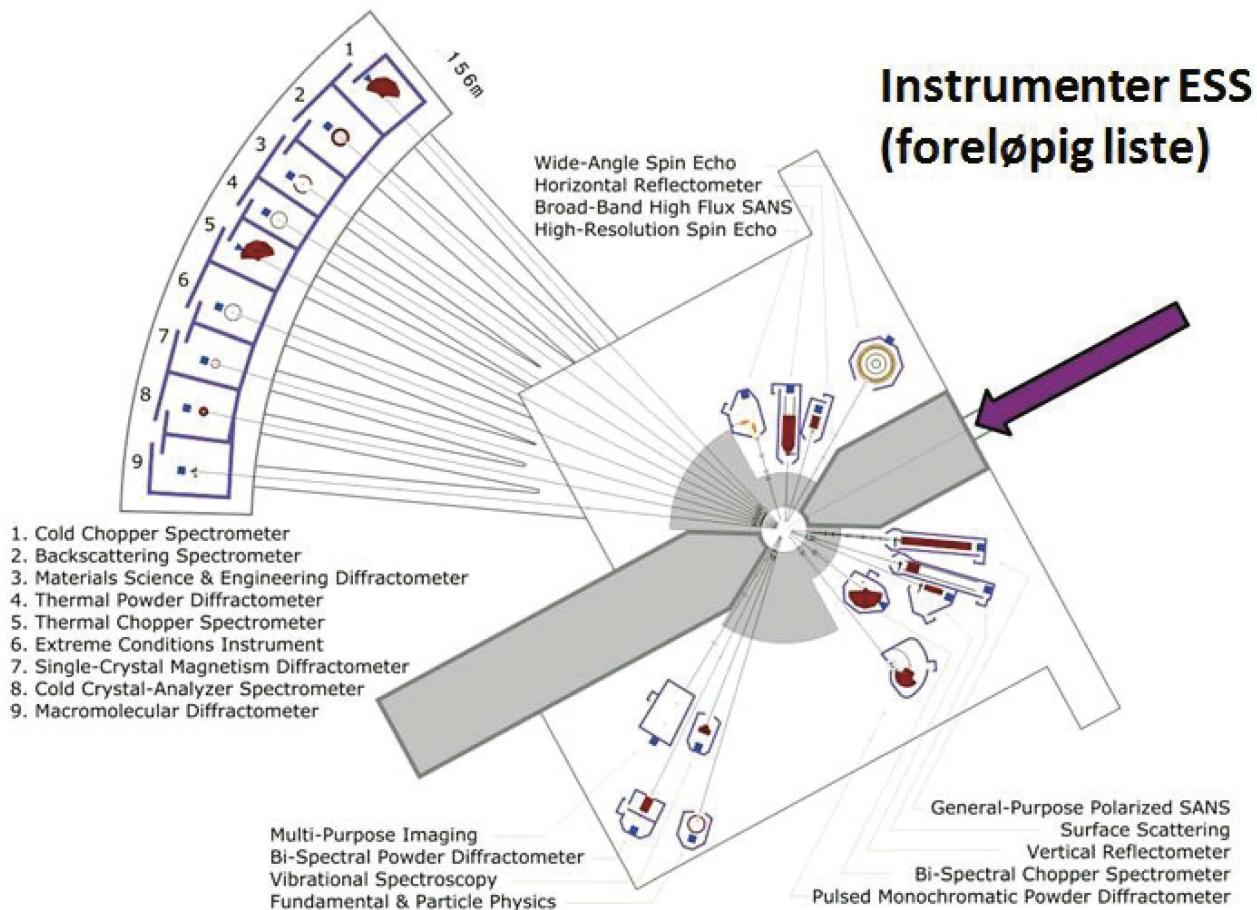
Det er ikke plass her til å beskrive de mange ulike instrumentene som er planlagt bygget ved ESS, og det svært store spekteret av forsknings temaer som er aktuelle der. Jeg vil derfor her kort ta for meg noen av de første oppsettene som vil bli klare, med eksempler på mulighetene disse bringer. Hele spekteret av instrumenter er indikert i figur 4.

## Avbildningsinstrumentet ODIN

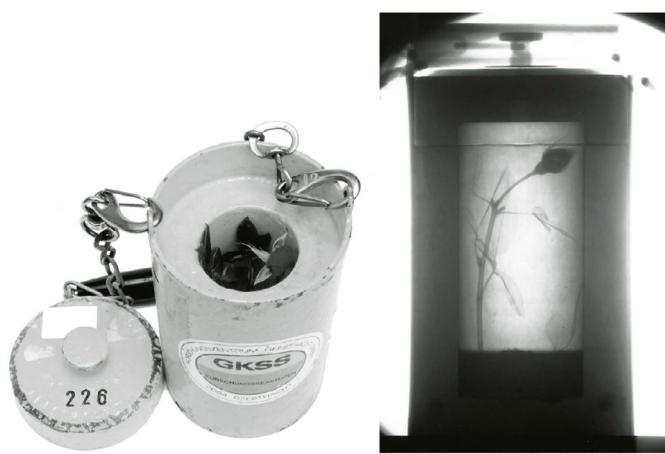
Det første instrumentet som trolig blir klart for allmenn bruk er et oppsett for nøytronavbildning (kortnavn ODIN – "Optical and Diffraction Imaging with Neutrons"). Et enkelt eksempel på hvordan man kan se indre strukturer med nøytroner er vist i figur 5, her tatt gjennom en tykk blyvegg.

Prinsippet for en slik avbildning er det samme som de fleste er kjent med fra røntgenavbildning, men siden spredningen, og dermed bildekontrasten, varierer sterkt med proton- og nøytronantallet for elementet som undersøkes, i motsetning til ved røntgen hvor spredningen øker jevnt med atomnummeret, vil man kunne få god kontrast i mange tilfeller hvor røntgen gir lite informasjon. Generelt vil nøytroner gi god kontrast fra organiske materialer som plastkomponenter, siden disse inneholder mye hydrogen som sprer nøytroner godt. Men i mange andre situasjoner vil røntgen kunne gi betydelig bedre kontrast enn nøytroner. Dette er ofte tilfellet for materialer med kombinasjon av tunge og lette elementer. I så henseende er de to metodene komplementære, og det faktum at MAX-IV synkrotronen som vil leve røntgenstråling med høy intensitet, allerede er under bygging like ved ESS med planlagt innvielse i juni 2016, åpner for interessante muligheter til kombinerte studier.

På ODIN-instrumentet vil man i tillegg til 2D-avbildning, også kunne utføre tomografi, dvs. 3D-avbildning av objektets indre struktur, med romlig oppløsning ned til  $10 \mu\text{m}$ . Med den svært høye nøytronfluksen som blir tilgjengelig med ESS, vil avbildning også kunne gjøres når objektet er i bevegelse. Dette er relevant bl.a. når man ønsker å stu-



**Figur 4.** Oversikt over mulige instrumenter ved ESS. Instrumentparken vil bli organisert i seksjoner hvor plasseringen vil være avhengig av optimal avstand mellom nøytronkilde og instrument. En ser f.eks. at mange instrumenter for undersøkelse av vibrasjoner (spektroskopি) og av krystallstruktur (diffraksjon) trenger å plasseres langt fra kilden (fra ESS 2014).



**Figur 5.** Avbildning av organisk materiale (her en rose) plassert inne i en tykk beholder av bly. Nøytroner er blitt sendt gjennom materialet og detektert med nøytronfølsom film. Se utfyllende forklaring i teksten (fra GKSS, 1991).

dere de indre delene av en motor i arbeid. På grunn av nøytronusers høye gjennomtrengningsevne i mange metaller (f.eks. er aluminium nesten "usynlig" for nøytroner) vil slike undersøkelser egne seg godt for

nøytronstudier. Ved periodiske bevegelser/rystelser kan man "låse" deteksjonsraten til komponentens eksitasjonsfrekvens når denne er kjent, og dermed følge dynamikken fra deler som måtte bevege seg med en annen hastighet. Slike stroboskopiske teknikker har allerede vært testet for å visualisere bevegelser til kjøle- og smøremedium i forbrenningsmotorer.

### Småvinkelinstrumentet LOKI

Et instrument for småvinkel-nøytronspredning (SANS) vil også være et av de første instrumentene som vil bli klart. Dette har fått kortnavnet LOKI ("low k- instrument", hvor "k" refererer til nøytronets vinkelbølgelgetall). SANS-instrumentet er optimalisert for strukturelle og dynamiske studier av nano/meso-materialer. Dette er begrunnet bl.a. i den sterkt økende interessen på verdensbasis for såkalte "myke" materialer, f.eks. polymerbaserte, både av naturlig og syntetisk opphav. Disse er

ofte hierarkisk oppbygd med strukturer fra nano- til  $\mu\text{m}$ -området, og full kartlegging av slike krever derfor et stort spenn i målemetodens lengdefølsomhet. Dette oppnås ved å benytte nøytroner med ulike bølgelengder, samt ved å detektere spredning over et stort vinkelområde.

## Diffraksjonsinstrumentet NMX

Mange forskningsgrupper som arbeider innen biologi og medisin ser frem til instrumentet med kortnavn NMX ("Neutron Macromolecular Crystallography"). Dette kompletterer den første gruppen på tre instrumenter som bygges ved ESS, og vil gi muligheter for å kartlegge strukturer av makromolekyler, proteiner, med svært små prøver i form av sub-millimeter krystaller. Spesielt interessant her er å kunne lokalisere og følge hydrogenatomer (som utgjør nær halvparten av alle atomer i biomolekyler) i biokjemiske reaksjoner, f.eks. i forbindelse med enzymaktivitet, eller for å visualisere protontransport over biologiske membraner. Hydrogenatomers plassering er også helt avgjørende for virkningsmekanismen til mange molekylærbaserte legemidler, siden vekselvirkninger i vandige system ofte er dominert av hydrogenbindinger.

## Andre instrumenter

Til siste forslagsrunde om nye instrumenter i januar 2015, kom det inn hele 11 forslag. Disse omhandler ulike tema, slik som kartlegging av tynne filmer og overflater (reflektometri), studier av atomære og molekylære vibrasjoner (spektroskopi), og undersøkelser av krystallstruktur (diffraksjon). I tillegg er det interessant at to av forslagene gjelder fundamentalfysikk. Ved å benytte oppsett hvor nøytronene gis svært lave energier ("ultrakalde" nøytroner), vil det være mulig å utføre meget nøyaktige målinger av nøytronets fundamentale egenskaper, som levetid (et fritt nøytron vil gå over til et proton, et elektron og et antinøytrino etter ca. 15 minutter), og eventuelt elektrisk dipolmoment. Standardmodellen i partikkelfysikk forutsier en meget liten forskyvning mellom negativ og positiv ladning internt i nøytronet, men en slik forskjell har hittil ikke kunnet detekteres. Størrelsen på dette lille avviket fra null – hvis det er reelt – er derfor avgjørende for teoriene om hvordan universets grunnleggende partikler og krefter har oppstått.

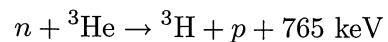
## Moderatorer

Etter at spallasjonsprosessen har generert en skur av nøytroner ut fra målskiven, passerer nøytronene gjennom en såkalt moderator hvor de får redusert sin hastighet før de sendes videre mot instrumentene. Moderatorer er tradisjonelt beholdere fylt med et materiale som gjør at nøytroner kan avgi en del av sin energi i en serie av støtprosesser. Vanligvis benyttes flytende hydrogen til dette formålet, siden nøytroner da mister mye energi i hvert støt med en partikkel av tilsvarende masse (dvs. protonet). Nøytronene vil da kunne oppnå en maxwellsk hastighetsfordeling svarende til temperaturen i moderatormaterialet (20 K for flytende hydrogen ved 1 atm. trykk) over en kort transportdistanse. Ved ESS skal man bruke såkalt parahydrogen, dvs. hydrogenmolekyler hvor spinnet til de to kjernene går i motsatt retning, fordi nøytronets vekselvirkning med dette molekylet er slik at flukstapet blir mindre enn med den andre varianten av H<sub>2</sub>, ortohydrogen.

For kort tid siden fant man ut at det er mulig å øke "briljansen", dvs. effektiv nøytronfluks målt som nøytroner/cm<sup>2</sup> · s · sr ·  $\lambda$ , en faktor 2–3 ved en relativt enkel forandring av moderatorgeometrien. I praksis innebærer dette at man går over til en skivemoderator hvor utstrekningen i horisontalplanet er ca. 20 cm, mens høyden er kun 3–6 cm. Denne forbedringen fremkom etter detaljerte Monte-Carlo-studier hvor man følger vandringen til det høyenergetiske nøytronet, som har hastighet av størrelsесorden 10 % av lyssets, etter at det kommer inn i moderatormaterialet, og deretter forlater moderatoren med mye lavere hastighet ( $\sim 1$  km/s). En slik forbedring er ekvivalent med en tenkt økning i effekten på lineærakseleratoren fra 5 MW til 10–15 MW; og det er uvisst om det i det hele tatt ville være teknisk mulig å oppnå så høye stabile effekter i en protonakselerator.

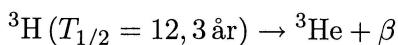
## Detektorer

Isotopen <sup>3</sup>He er viktig i forbindelse med nøytronundersøkelser. Dette skyldes at den mest effektive måten å detektere lavenergetiske nøytroner på, er ved følgende kjernreaksjon i en <sup>3</sup>He-gass:



Her fanges nøytronet opp av en <sup>3</sup>He-kjerne, og går over til tritium, <sup>3</sup>H, samt et fritt proton med en

samlet kinetisk energi på 765 keV. De frigjorte partiklene forårsaker ionisering i gassblandingene (i tillegg til  ${}^3\text{He}$  benyttes gjerne argon og metan), hvilket starter en multiplikasjonsprosess nær elektrodene, med en påfølgende spenningspuls som benyttes for å detektere nøytronet. Det har alltid vært begrenset tilgang til  ${}^3\text{He}$ , noe som skyldes at den utelukkende har vært tilgjengelig som et biprodukt fra radioaktiv henfall av tritium



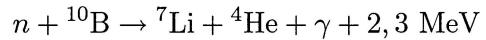
Etter 11. september 2001 økte etterspørsmålet av  ${}^3\text{He}$  plutselig meget sterkt. Homeland Security i USA ble nemlig svært oppatt av å kunne detektere bombemateriale ved flyplasser og grenseoverganger. Både plutonium og uran vil sende ut nøytroner, og siden disse lett trenger gjennom mange materialer, ble nøytronregistrering ved hjelp av  ${}^3\text{He}$  sett på som en viktig metode for å detektere og stoppe slik transport. Denne utviklingen har ført til at det nå er meget vanskelig å få tilgang til  ${}^3\text{He}$ , for lagre finnes bare i USA og i Russland. Siden det er et jevnt behov for  ${}^3\text{He}$  ved de fleste nøytroninstallasjoner, og noen detektorer dekker store areal (jfr. figur 6), er dette nå blitt et stort problem på verdensbasis. Dette gjelder ikke minst for ESS, hvor enorme mengder  ${}^3\text{He}$  vil være nødvendig med bruk av slike gassbaserte detektorer.



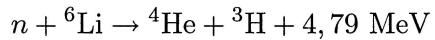
**Figur 6.** Detektoren til IN5-instrumentet (spektrometer) ved Institut Laue-Langevin i Grenoble (ILL). Her benyttes rør fylt med  ${}^3\text{He}$  for nøytrondeteksjon. Totalarealet er  $30 \text{ m}^2$  (fra ILL (L. Didier), 2008).

Det er av denne grunn startet et program for å finne alternative teknologier, og det arbeides nå intens, særlig i Europa, for raskt å få utviklet nye de-

tektoner. Det mest aktuelle i så måte er å gjøre bruk av bor eller lithium, ved henholdsvis reaksjonene



eller



Det innkommende nøytronet har lav kinetisk energi (meV), men ved innfangingen og de påfølgende reaksjonene vist ovenfor, skapes det høyenergetiske partikler som forårsaker ionisering i detektormaterialen, og dermed kan nøytroner registreres ved elektroniske metoder. Utviklingen med bruk av  ${}^{10}\text{B}$  er den teknologien som er kommet lengst, og denne isotopen er dessuten lett tilgjengelig ( ${}^{10}\text{B}$  utgjør ca. 20 % av all bor i jordskorpen). Det er allerede blitt laget prototyper med relativt god effektivitet (50–60 %).

Norske forskere er for tiden involvert i detektorutvikling i samarbeid med ESS, og i forbindelse med bygging av protonakseleratoren beskrevet ovenfor.

## Videre utvikling

Det er allerede mange muligheter for studenter og forskere til å bli involvert i ESS. Når dette skrives er ESS-staben på nær 300 personer, selv om det fortsatt er noen år til nøytroner vil være tilgjengelige. Det arrangeres også såkalte IKON-møter to ganger per år, hvor utvikling og samarbeidsmuligheter presenteres. Det er dessuten et godt samarbeid for å planlegge bruk av nøytroner og synkrotronbasert røntgen som komplementære metoder. De første nøytronene vil etter planen treffe ESS-målskiven i 2019. Brukerprogrammet starter offisielt i 2023, men det vil være tilgang for erfarne brukere i god tid før dette, for å gjøre de første eksperimentene og for optimalisering av instrumentene.

Byggingen av ESS er ikke det eneste som foregår i forbindelse med nye nøytronkilder. I andre enden av skalaen er det nå en interessant utvikling knyttet til såkalte kompakte kilder. En slik kilde, hvor en benytter en 13 MeV protonakselerator og en målskive av beryllium, er nylig bygget og testet ut med gode resultater ved Indiana University, USA. Her drar man nytte av en lavenergi p-n reaksjon i beryllium. Det er nå relativt stor interesse rundt i verden, særlig i Japan, for lignende installasjoner. Selv om tidsmidlet fluks typisk er bare 1 % av det reaktorbaserete kilder gir, er det tilstrekkelig intensitet i den pulsedde strålen til at man kan gjøre nyt-

tige nøytronundersøkelser med slike oppsett plassert f.eks. på et universitet. Dette kan være materialstudier med faserekontrastavbildning, småvinkel-spredning, pulverdiffraksjon eller annet.

Som følge av denne utviklingen, samt byggingen av storskala infrastruktur som ESS, er det sannsynlig at bruk av nøytroner innen materialforskningen vil øke betydelig fremover, og vil bli spesielt viktig i kombinasjon med røntgen og andre teknikker.

## Referanser

1. Analytical report. *Neutron Beams and Synchrotron Radiation Sources*. Megascience: The OECD forum, OECD (Paris) (1994)

2. O. Steinsvoll: *Nøytronkilder før og nå*. FFV 69, Nr. 2, 40–45 (2007)
3. K.D. Knudsen og O. Steinsvoll: *Spallasjonskilden ESS – Et storskala europeisk forskningsverktøy*. FFV 72, Nr. 1, 12–21 (2010)
4. ESS Technical Design Report, ESS-doc-274, ISBN 978-91-980173-2-8 (2013)
5. McStas – <http://www.mcstas.org/>.  
Vitess - <http://en.wikipedia.org/wiki/VITESS>.

∞

# Nye, gigantiske observatorier for kosmisk gammastråling

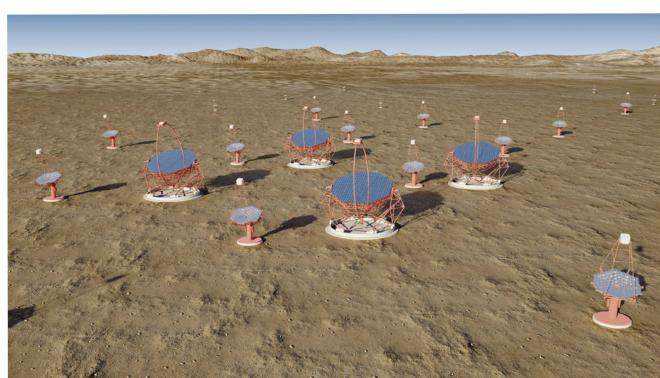
Trygve Buanes \*

Fysikere fra universitetene i Bergen og Oslo er blitt medlemmer av ”Cherenkov Telescope Array” (CTA), som er et forskningsprosjekt under utvikling for å studere høyenergetisk gammastråling fra verdensrommet.<sup>(1)</sup> CTA-konsortiet består av over 1200 forskere og ingeniører fra 29 land som skal utvikle instrumenter og forberede dataanalyser. CTA er planlagt som et åpent observatorium der alle data vil bli fritt tilgjengelige, og grupper som ikke er medlemmer kan også søke om observasjonstid.

## Kosmisk gammastråling

Atmosfæren bombarderes hele tiden av stråling fra verdensrommet. Dette er fotoner, nøytrinoer, elektroner, protoner, tyngre atomkjerner og til og med litt positroner og antiprotoner. Energispekteret til denne strålingen strekker seg fra ganske lave energier og opp til mange størrelsesordener høyere enn

det som er mulig å få til med kollisjonsmaskiner som LHC ved CERN. Ved å studere denne strålingen kan vi lære mye både om astrofysikk og fundamental fysikk. Spesielt de ladde partiklene i strålingen er blitt studert i utstrakt grad helt siden Victor Hess oppdaget den kosmiske strålingen i 1912.<sup>(2)</sup> Siden både jorden, solen og galaksen har magnetiske feltter, vil de ladde partiklenes baner avbøyes, og som et resultat utviskes informasjonen om hvor partik-



**Figur 1.** Slik er det tenkt at den sentrale delen av observatoriet vil se ut.

\* Institutt for fysikk og teknologi Universitetet i Bergen.

lene kommer fra. Gammastråling vil derimot peke tilbake mot kilden, så å studere denne er et viktig komplement til å studere de ladde partiklene i den kosmiske strålingen.

Siden gammastråling stoppes effektivt av atmosfæren, er den mer krevende å detektere enn synlig lys. En strategi er å plassere detektoren høyt opp i, eller over, atmosfæren – altså sende den opp med ballong eller plassere den på en satellitt, slik *Fermi Gamma Ray Space Telescope* er et eksempel på.<sup>(3)</sup>

En annen strategi er å la atmosfæren være en del av detektorsystemet og måle strålingen indirekte ved å studere hva som skjer når den vekselsvirker med atmosfæren. Dette har den fordelen at detektorsystemet vil kunne ha et mye større sensitivt areal enn hva som er mulig å få til med en satellitt, noe som gjør at det også er mulig å måle langt mer energirik stråling enn som kan måles med et satellittobservatorium. CTA er et eksempel på denne strategien.

CTA vil bestå av to observatorier som skal brukes til å studere kosmisk gammastråling i energiområdet fra noen få ti-talls GeV til omkring 100 TeV ( $10^{10} \rightarrow 10^{14}$  eV). To observatorier, et på den nordlige halvkule og et på den sørlige, er nødvendig for å kunne observere hele himmelsfæren. Som navnet antyder, vil CTA bruke tsjerenkovstråling (se boks for detaljer) for å detektere gammastrålingen. Teknikken kalles *Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope* (IACT), og ble foreslått av Aleksandr Chudakov, som også konstruerte det første tsjerenkovteleskopet for gammaastronomi i 1961.<sup>(4)</sup> I dag finnes det tre store IACT-observatorier: HESS<sup>(5)</sup>, MAGIC<sup>(6)</sup> og VERITAS<sup>(7)</sup>.

Når CTA står ferdig er målet at det skal ha 10 ganger høyere sensitivitet enn dagens generasjon av observatorier, samt kunne observere over et større energispekter og med bedre vinkelopløsning. For å oppnå dette, må CTA bestå av et stort antall teleskoper som jobber sammen. Observatoriet på den sørlige halvkule er planlagt å være det største, og vil bestå av ca. 50 teleskoper plassert utover et areal på omkring 10 km<sup>2</sup>. Observatoriet på den nordlige halvkule vil være noe mindre, og vil bestå av ca. 25 teleskoper på et areal på omkring 1 km<sup>2</sup>.

## Variert program

CTA vil bli brukt til å studere gammastråling fra en rekke forskjellige astrofysiske kilder, og spørsmålene man søker svar på kan grovt sett grupperes i astrofysiske problemstillinger og spørsmål om fundamen-

### Tsjerenkovteleskop

Et tsjerenkovteleskop gjør det mulig å observere kosmisk gammastråling fra bakkenivå. Med denne teknikken detekterer man ikke gammastrålingen direkte, men registrerer den gjennom det som skjer når den treffer atmosfæren. Når høyenergetisk stråling treffer atmosfæren dannes det en skur av partikler. Egenskapene til skuren er avhengig av hva slags stråling som utløste den og hvor høy energien er. Ved gammastråling består skuren hovedsakelig av elektroner og fotoner. Siden lyshastigheten er lavere i luft enn i vakuum, kan elektronene bevege seg raskere enn den lokale lyshastigheten. Når dette skjer sendes det ut en sjokkbølge av lys analogt med sjokkbølgen av lyd som sendes ut når fly beveger seg raskere enn lydhastigheten. Dette lyset kalles tsjerenkovstråling og er normalt i eller nær det synlige spekteret. Det absorberes derfor ikke av atmosfæren og kan observeres fra bakken. Ved å måle intensiteten av tsjerenkovstrålingen og hvordan denne varierer mellom de ulike teleskopene i observatoriet, kan man bestemme energien til gammastrålingen som startet skuren. Ved å måle tiden når tsjerenkovstrålingen treffer de ulike teleskopene, kan man finne retningen til den innkommende gammastrålingen. Formen på avbildningen av skuren registrert av teleskopene brukes til å fjerne bakgrunn som skyldes skurer startet av protoner.

tal fysikk.

De astrofysiske problemstillingene er i seg selv svært varierte, og er knyttet til blant annet studier av aktive galaksekjerner, supernovarester, pulsarer og gammaglimt. Et spesielt sentralt spørsmål er hvor den ladde kosmiske strålingen med høyest energi kommer fra, og hvilke prosesser som akselererer partiklene opp til slike høye energier.

Spørsmål om fundamental fysikk er i stor grad koncentrert rundt søk etter mørk materie. Dette blir diskutert mer detaljert nedenfor.

En annen planlagt studie som faller inn under fundamental fysikk er å undersøke om lyshastigheten er energiavhengig. Enkelte kvantegravitasjonsmodeller forutsier at perturbasjoner i rom-tiden på veldig liten skala vil føre til at lyshastigheten ikke er konstant, men meget svakt avhengig av energien til lyset. Effekten er størst ved svært store energier, og CTA vil derfor øke sensitiviteten betydelig sammenlignet med tidligere observasjoner.

## Mørk materie

Gruppene i Bergen og Oslo er spesielt interessert i deteksjon av mørk materie.<sup>(8)</sup> Siden den mørke materien fremdeles ikke er identifisert, vet vi ikke nøyaktig hvilket signal vi skal lete etter, og det kan i det hele tatt virke underlig å lete etter et signal fra mørk materie i gammastråling siden den mørke materien ikke kan ha noen kobling til den elektromagnetiske kraften og følgelig ikke burde sende ut noen former for stråling. Men det finnes mange teoretiske modeller som har en kandidat til å være den mørke materien, og gitt en modell kan vi finne ut hvordan dette signalet vil se ut. Og selv om den mørke matrien ikke kan sende ut elektromagnetisk stråling direkte, gjør kvantemekaniske effekter at gammastråling kan oppstå indirekte.

I mange modeller er partikkelen som utgjør den mørke materien sin egen antipartikkel, slik at parannihilasjon er mulig. Siden dette i de fleste modeller antas å være en svært tung partikkel, er det et stort utvalg av mulige partikler som kan komme ut av en slik par-annihilasjon, og partiklene i slutt-tilstanden vil typisk ha stor energi. I de fleste slutt-tilstander som involverer et foton, vil dette fotonet skapes som såkalt bremsestråling eller som et henfallsprodukt fra de partiklene som kommer ut av annihilasjonen. Energien til fotonet vil da variere fra annihilasjon til annihilasjon fra nesten 0 til nesten hele masseenergien til en mørk materiepartikkel. Dette vil gi gammastråling over et stort energiområde.

Det er en del utfordringer knyttet til å bruke denne gammastrålingen til å identifisere den mørke materien. For det første vil det være vanskelig å overbevise seg selv om at et slikt signal nødvendigvis må skyldes mørk materie, og ikke andre kosmologiske kilder til gammastråling. Dessuten vil endepunktet til energispekeret være vanskelig å bestemme presist, så dette vil i beste fall gi en ganske upresis bestemmelse av massen til partikkelen.

Det finnes imidlertid også en annen mulighet for å få produsert gammastråling når mørk materiepartikler annihilerer: En liten andel av annihilasjonene er forventet å ende opp som et par av fotoner og ikke noe annet. I massesentersystemet vil hvert av fotonene ha energi nøyaktig lik massen til en mørk materie-partikkel; og siden mørk materiepartiklene i en galakse beveger seg med relativt lav hastighet, vil fotonenergien vi måler være tilnærmet lik den i massesentersystemet. Dette gir oss to store

fordeler i søket etter mørk materie.

For det første skal vi ikke lenger lete etter en liten økning i gammastrålingsfluksen over et stort energiområde, men etter et smalt energiområde med overskudd av fotoner. Finner vi et slikt overskudd er det en meget sterk indikasjon på at kilden er mørk materie som annihilerer, siden det er vanskelig å tenke seg andre astrofysiske prosesser som produserer monokromatisk gammastråling.

For det andre vil denne observasjonen gjøre det trivielt å bestemme massen til partikkelen som annihiler med en presisjon som nesten utelukkende begrenses av energioppløsningen til instrumentet.

For å øke sjansen for å se signal fra mørk materie og ikke bare gammastråling fra andre kilder, må teleskopet rettes mot et område der tettheten av mørk materie er stor. Den største tettheten i galaksen vår finner vi i sentrum, så dette er et opplagt sted å lete. Men nær sentrum av galaksen foregår det også en del andre prosesser som sender ut gammastråling, noe som gjør at et eventuelt signal fra mørk materie står i fare for å bli overdøvet. Galaksesenteret ser likevel ut til å være det mest lovende målområdet. Dette gjelder spesielt søker etter monokromatisk gammastråling der bakgrunnen fra andre prosesser lettere kan sorteres bort.

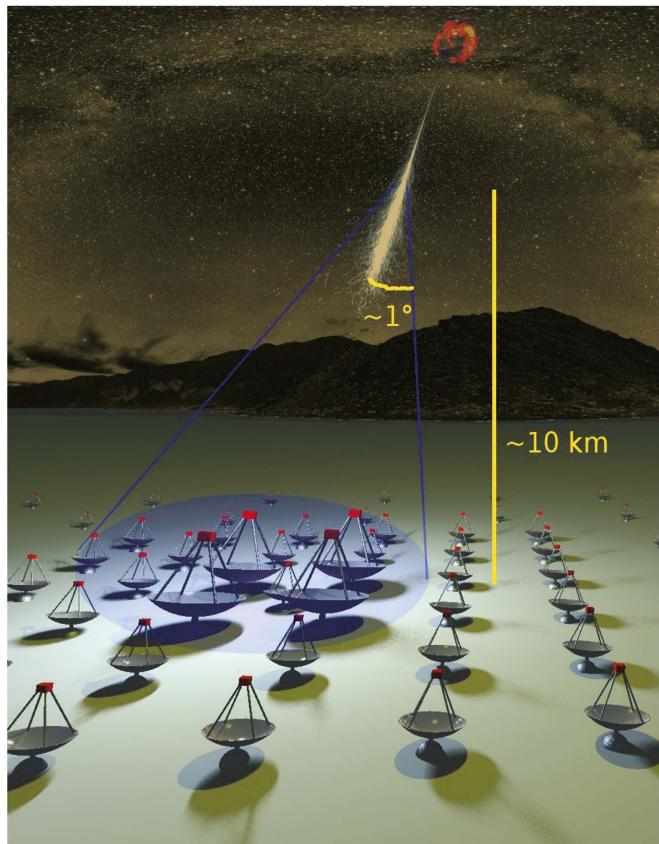
Et alternativ til å se i retning av galaksesenteret er å se mot dverg-galakser som er satellitter til Melkeveien. De to mest kjente slike satellittgalaksene er *Den store magellanske sky* og *Den lille magellanske sky*. Men de senere årene er langt flere satellittgalakser blitt oppdaget, og mange av disse ser ut til å ha en langt høyere andel av massen sin i form av mørk materie enn det som er tilfellet for Melkeveien og andre store store galakser. Den store andelen mørk materie gjør dverggalaksene svært nyttefulle i denne sammenhengen, og selv om tettheten av mørk materie i satellittgalaksene er lavere enn den er i sentrum av Melkeveien, slik at signalet fra mørk materie vil være svakere, kan det likevel være enklere å oppdage det der siden den totale fluksen av gammastråling fra satellittgalaksene er så liten.

## Mulige observasjoner av gammastråling fra mørk materie

Søk etter gammastråling fra mørk materie har allerede vært gjort en stund, først og fremst med den satellittbaserte detektoren Fermi-LAT og med tsjerenkovteleskopene HESS, Magic og Veritas. Observasjoner med tsjerenkovteleskop har så langt

bare kunnet sette grenser for annihilasjonstversnittet til den mørke materien, men i data fra Fermi-LAT har man funnet noen anomalier som kan tolkes som mørk materie. Den første av disse anomaliene var et lite overskudd av gammafotoner omkring 130 GeV i data fra et område omkring sentrum av Melkeveien.<sup>(9)</sup> Nøyere granskning av dette mulige signalet har konkludert med at dette skyldes instrumenteffekter, og ikke annihilasjon av mørk materie.

I 2014 rapporterte Daylan et al.<sup>(10)</sup> om en ny anomali i data fra Fermi-LAT som kan være konsistent med mørk materie. Denne gangen dreier det seg om et overskudd av gamma-fotoner omkring 1–3 GeV fra et område omkring sentrum av Melkeveien, som kan tolkes som mørk materie-partikler med masse 30–40 GeV som annihilerer til kvarker (som senere sender ut gammafotoner). Det er foreløpig ikke enighet om at det er mørk materie som er kilden til dette signalet. Energien der dette overskuddet er observert, er for lav til at CTA vil kunne observere det. Men hvis det også er et tilhørende signal fra annihilasjon direkte til to gammafotoner, vil dette være innenfor energiområdet der CTA vil være sensitiv.



**Figur 2.** Gammastråling som treffer atmosfæren lager en skur av partikler som forårsaker tsjerenkovstråling som kan observeres fra bakken.

## Tidsplan for CTA

CTA nærmer seg slutten av forberedelsesfasen, og designarbeidet er allerede godt i gang. En prototype for et av de aktuelle teleskopdesignene er allerede i drift på Sicilia. Det forhandles med Argentina, Chile og Namibia om aktuelle landområder for å plassere det sørlige observatoriet. I nord forhandles det med Spania (Kanariøyene) og Mexico.

Byggingen av selve observatoriene er planlagt å starte i 2016. Siden CTA vil bestå av en rekke selvstendige teleskoper som samarbeider, vil man kunne begynne å bruke observatoriet før hele utbygningen er ferdig. Allerede omkring ett år etter at byggingen starter kan vi håpe å få interessante resultater fra CTA.

## Referanser

1. Internett: <http://www.cta-observatory.org/>
2. V.F. Hess: *Über Beobachtungen der durchdringenden Strahlung bei sieben Freiballonfahrten.* Z. Phys. **13**, 1084 (1912)
3. Internett: <http://fermi.gsfc.nasa.gov/>
4. G.V. Domogatskii, G.T. Zatsepin, A.S. Lidvanskii, V.A. Matveev, and Y.I. Stozhkov: *In memory of Aleksandr Evgenevich Chudakov.* Physics-Uspekhi **44**, no 5, 547 (2001)
5. Internett: <http://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/>
6. Internett: <http://www.magic.mppmumpg.de/>
7. Internett: <http://veritas.sao.arizona.edu/>
8. A. Lipniacka: *LHC, en lykt inn i mørk materie.* Fysikkens Verden **68**, Nr. 1, 6-12 (2006)
9. C. Weniger: *A tentative gamma-ray line from dark matter annihilation at the Fermi Large Area Telescope.* JATP **1208**, 007 (2012)
10. T. Daylan, D.P. Finkbeiner, D. Hooper, T. Linden, S.K.N. Portillo et al.: *The Characterization of the Gamma-Ray Signal from the Central Milky Way: A Compelling Case for Annihilating Dark Matter.* arXiv:1402.6703 [astro-ph.HE] (2014)

∞

## Fysikknytt

### Nyoppdagd nano-is med kvadratisk struktur

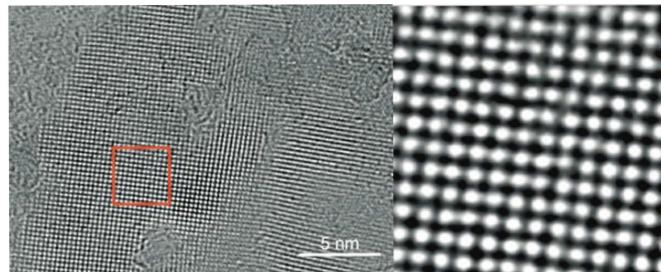
*Is* er eit materiale som finst i naturen i mange krys-tallvariantar avhengig av trykk og temperatur. Alle variantane dannar fire romleg likeverdige bindin-gar mellom H<sub>2</sub>O-molekyla til *tredimensjonale* krys-tallinske nettverk. Men i tidsskriftet *Nature* av 26. mars 2015, melder G. Algara-Siller frå univer-sitetet i Ulm og medarbeidarar om oppdaging av ein ny og uventa modifikasjon av fast vatn i nano-format,<sup>(1)</sup> framstilt mellom flak av "vidundermate-rialet" grafén.<sup>(2)</sup> Blant medarbeidarane er ein av "fedrene" til grafén, nobelprisvinnaren frå 2010, André K. Geim. Den nye varianten er todimen-sjonal, med ein påfallande enkel krystallstruktur.

Grafén er eit materiale av karbon (C) i form av flak som er berre eitt atomlag tjukt. Atoma er bundne saman av særstørke kjemiske bindingar i eit "hønsenetting"-mønster, og flaka er bøyelege.<sup>(2)</sup> (*Grafitt* består av "stablar" av grafén som er haldne saman av såkalla van der Waalske krefter som er veikare enn kretene som verkar mellom C-atoma i kvart flak). Prøvene som gav den nye is-varianten blei laga på prøvehaldarar av tynne ikkje-krystallinske karbonskiver med mange opningar av storleik mikrometer i dia-me-ter. Slike haldarar er standard for transmisjons-elektronmikroskopering, TEM. (Meir om TEM i teksten til figur 2.) Grafénflak blei lagde over prøvehaldaren, og ein drope godt reinsa vatn vart dryppa oppå. Ein tilsvarande haldar med grafén vart lagt over med grafénflaket ned. Så fekk det heile ligge ved romtemperatur til det meste av vatnet var dampa bort.

Det viste seg at vatnet som var att mellom dei to grafénflaka blei klemt saman og danna til slutt små



Figur 1. To grafén-flak haldne saman av van der Waalske krefter, med ei inklusjonsøy av vatn/is.



Figur 2. TEM-avbilding av vatn mellom to grafén-flak. Elektronstrålen blir sendt loddrett mot prøveskiva (som er parallell med papiret), og detektorskjermen bak prøva registrerer mønstret vist på figuren. Den rauda ruta er gjengitt i større målestokk til høgre. Analyse er gjort for den delen av TEM-bildet som viser regulært mønster av kvadratiske prikker ( $\sim 10 \times 15 \text{ nm}^2$ ).

inklusjonar, eller "øyar", fanga inn mellom område der dei to grafénflaka var komne i kontakt med kvarandre, sjå figur 1. Utstrekninga av "øyene" med vatn er oppgitt å vere av storleik 0,1  $\mu\text{m}$ . Dei er såleis mykje mindre enn diametern til hola i TEM-haldarane, og derfor kunne dei studerast med TEM-avbilding med elektronstrålar gjennom hola i prøvehaldaren. Ei TEM-avbilding er vist i figur 2.

Figur 2 viser eit hovudmønster av kvadratisk plasserte prikker som provar at ein her har å gjere med ein ordna struktur, og den er kvadratisk!

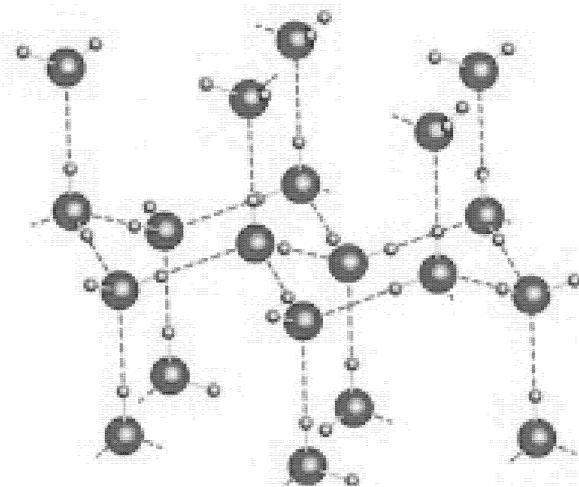
Dette resultatet er svært overraskande: Det er ikkje flytande vatn i inklusjonane, men "ordna" vatn, altså is, endå forsøka var gjorde ved romtemperatur. Systematisk gransking av mange inklusjonar syner at det dreier seg om tynne is-lag, somme stader berre eitt molekyllag tjukt, andre stader dobbeltlag og også tre lag oppå kvarandre. Detaljanalyse av geometrien i kvadratmønstret gir avstand mellom oksygenatom i isstrukturen på  $2,83 \pm 0,03 \text{ \AA}$ .

Krystallstrukturen til denne is-varianten skil seg radikalt ut frå strukturen av tredimensjonal is. Heile 16 ulike krystallstrukturformer av (tredimensjonal) is er kjende, avhengig av trykk og tempe-ratur. Fri H<sub>2</sub>O-molekyl er V-forma med om lag 105° mellom armane i V-en. I såkalla "heksagonal is", som er den forma som opptrer like under frysepunktet 0 °C ved atmosfærestrykk, og "kubisk is", som er stabil ved temperaturar under -100 °C, er O–O-avstanden 2,75 Å.

I dei fleste formene for is har kvart H<sub>2</sub>O-molekyl bindingar til fire nabomolekyl. Bindingane er av det slaget som ein kallar "hydrogenbindingar". Mellom oksygenatoma er der då eitt hydrogenatom som formidlar bindingskreftene, som ein illustrerer som

O–H .... O. Denne bindinga treng ikkje vere lineær.

I tredimensjonal is dannar dei fire bindingane tilnærma tetraedrisk geometri, som vist for kubisk is i figur 3.



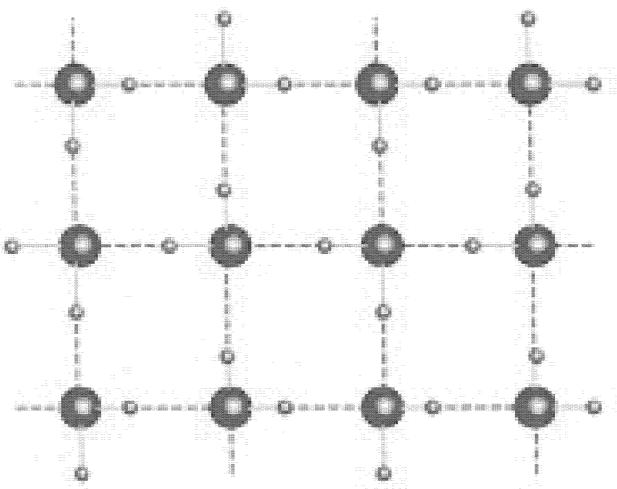
**Figur 3.** Kubisk is-struktur. Store røde kuler: Oksygen. Små blå kuler: Hydrogen. Hydrogenbindingane er stipla. O–O-avstand er 2,75 Å. Kvart oksygenatom er omgitt av fire andre oksygenatom plasserte tetraedrisk, dvs. med vinkel 109, 47° mellom retningane, og som alle er like langt frå kvarandre.

I den nyoppdaga todimensjonale isvarianten er det ikkje lenger tetraedrisk ordning. Dei fire nabomolekyla er alle i same plan, som skissert i figur 4.

Det må opplagt vere slik at eksistensen av ”kvadratisk is” på noko vis er forbunde med at vatnet er tvunge til å opptre som tynne lag på den sterkt avgrensa plassen i kvar inklusjon, altså i nano-format.

Ein kan også undrast på om kontakten som H<sub>2</sub>O har med grafénoverflatene kan spele ei rolle. Desse spørsmåla prøver forskarane å finne svar på. Dei van der Waalske kreftene mellom grafénlagene der dei er i kontakt med kvarandre (figur 1) er truleg av betydning, og forskarane meiner at det innekapsla vatnet vil vere utsett for eit betydeleg trykk frå desse kreftene, som dei anslår kan vere av storleik opp mot 1 GPa. Så høge trykk kan vere nok til å flate H<sub>2</sub>O-molekyla til den kvadratiske strukturen.

Om strukturmønstret i sjølve grafénet påverkar ordninga direkte er tvilsamt, for karbon er utprega hydrofobt, dvs. at det fråstøytar vatn. Dette har tidlegare blitt manifestert ved at vatn kan flyte i karbon-nanorør mest utan motstand.<sup>(3)</sup> I samsvar



**Figur 4.** Kvadratisk, todimensjonal is. Store røde kuler: Oksygen. Små blå kuler: Hydrogen. Hydrogenbindingane (stipla) er her markert med vinklar 90° frå kvarandre. Men hydrogenatoma treng ikkje ligge rett på linjene mellom O-atoma, der O–O-avstanden er 2,83 Å.

med dette er det også påvist at vatn kan flyte lett gjennom stablar av grafén parallelt med flaka, men ikkje loddrett på flaka.<sup>(4,5)</sup> Datasimuleringar skal visstnok vere i godt samsvar med dette.

## Referansar

1. G. Algara-Siller, O. Lehtinen, F.C. Wang, R.R. Nair, U. Kaiser, H.A. Wu, A.K. Gaim, I.V. Griegorieva: *Square ice in graphene nanocapillaries*. *Nature*, **519**, 443–452 (2015)
2. Emil J. Samuelsen: *Grafén i focus*. Fra Fysikkens Verden, **76**, Nr. 2, 60–62 (2014)
3. Emil J. Samuelsen: *Vatn i nanorør*, Fra Fysikkens Verden, **73**, Nr. 4, 124–128 (2011)
4. R.R. Nair et al.: *Unimpeded permeation of water through helium-leak-tight graphene-based membranes*. *Science*, **335**, 442–444 (2012)
5. R.K. Joshi et al.: *Precise and ultrafast molecular sieving through graphene oxide membranes*. *Science*, **343**, 752–754 (2014)

Emil J. Samuelsen

∞

## Bokomtale

Øyvind G. Grøn: Termodynamikk for høgskole og universitet. Cappelen Damm Akademisk, 2015. ISBN 978-82-02-42052-9 (343 sider), pris 499 kr.

Termodynamikk er et krevende fagfelt. Termodynamikk er en begrepssmessig selvberende konstruksjon på makroskala, uavhengig av spesielle materialegenskaper. Tilstandsligninger, karakteristiske for det enkelte materialet, tilføres det termodynamiske rammeverket utenfra. Men erfaringssmessig blir kroneksemplet, termodynamikk for gasser med lav tetthet, enklere å forstå ut fra mikrobildet av klassiske partikler som farer i alle retninger, beskrevet ved kinetisk gasstteori. Energiutveksling mellom system og omgivelser er grunnleggende, og dét krever en innføring i varmeleddning, konveksjon og stråling. Grovt sett er alle disse elementene med i foreliggende lærebok, som dessuten gir et godt førsteinntrykk, med enkel og tiltrekkende design, tydelige figurer og mange regneoppgaver. Så langt: Utmerket! Men dessverre lever ikke boka opp til førsteinntrykket.

Forskjellige lærebøker nærmer seg dette mangedsidige fagstoffet på forskjellig vis, det er ikke én tilnærming som er den åpenbart beste. Men en god innføring krever at forfatteren har gjort tydelige og velbegrunnede valg som studenten kan forholde seg til i arbeidet med å utvikle forståelse. Dessverre er ikke begrepssmessig ryddighet denne bokas styrke, den fremstår mer som en formelsamling enn som en veiviser til innsikt i et krevende fagfelt.

Her følger et knippe konkrete innvendinger. I forordet innskrenkes hele fagområdet ved påstanden: "termodynamikk dreier seg om å beskrive hvordan væsker og gasser ..." For ideelle gasser gir som kjent den molare gasskonstanten  $R$  en universell tilstandsligning, og uttrykk for varmekapasiteten gyldige for henholdsvis én-, to- og fleratomige gasser. Da utvikles neppe studentens forståelse ved å introdusere "spesifikk"  $R_S$ , som "per masseenhet". Universaliteten tilsløres. Det makroskopiske basisbegrepet "temperatur" introduseres i kapittel 1, ikke som en universell likevektspараметer, men ved påstanden: "Temperatur oppfattes som et mål for bevegelsesenergien til molekylene i en gass." Sant nok, men ... Når så dette skal spesifiseres, blir den indre energi uttrykt ved kvadratet av gjennomsnittsfarten, noe som er notorisk galt.

I kapittel 2, der "dette" utledes, blir resultatet korrekt, men ved kompenserende feil i utledningen. Denne anmelder tviler på at en student som her introduseres til (elementer av) det krevende feltet "statistisk mekanikk" for første gang, vil være i stand til å danne seg et rimelig overblikk. Uansett: Klassisk statistisk fysikk ga enkle og entydige forutsigelser for varmekapasiteten, med toatomige gasser som kroneksemplet. De klassiske resultatene var delvis i grell kontrast til eksperimentelle målinger, og det var først ved kvantemekanikkens triumf for rundt 100 år siden, at disse paradoksene fikk sin rasjonelle oppklaring. Fremstillingen av dette sentrale temaet kan ikke anbefales. Seksjon 3.4 er kalt "Den adiabatiske tilstandslikningen". Det finnes ingen "adiabatisk tilstandslikning", men derimot adiabatiske prosesser. Det er viktig at studentene får hjelp til å skille klart mellom prosesser og tilstandslikninger!

Kapittel 5 presenterer termodynamikkens 2. lov uten å klargjøre at Kelvins og Clausius' formuleringer er ekvivalente. Strengt tatt burde en introduksjonstekst også vise at de to formuleringene er ekvivalente. Ingen argumenter presenteres for at entropien er en tilstandsfunksjon. Det bare påstås som en nærmest selvsagt sak. Men det var nettopp argumentasjonen for entropien som tilstandsfunksjon som var termodynamikkens triumf på siste halvdel av 1800-tallet. Og det bemerkelsesverdig i at entropiens blotte eksistens har umiddelbare, målbare konsekvenser, ved f.eks. Clapeyrons likning, blir ikke gjennomgått her. Leseren går derved glipp av helt grunnleggende aspekter ved termodynamikken.

Til slutt. Forfatteren hygger seg med "negative absolutte temperaturer". Ikke noe galt med det, tvert imot. Men det helt grunnleggende i denne forbindelse burde vært understreket: Skal negative temperaturer i et to-nivå spinnsystem ha fysisk mening, må på den ene siden koplingene spinnene imellom være sterke nok til at de driver spinnsystemet til likevekt. På den annen side må koplingene til resten av verden være tilstrekkelig svake til at den metastabile spinnlikevekten har lang nok levetid til at eksperimentelle observasjoner blir mulige. Kort sagt: Relaksasjonstiden mot likevekt med omgivelsene må være mye lengre enn relaksasjonstiden mot likevekt innen spinnsystemet.

Eksempellisten kunne vært gjort mye lengre, men dette burde holde. Boka har riktignok et rikholidig utvalg av regneoppgaver, men når det faglige grunnlaget er så svakt som i dette tilfellet, er det umulig å anbefale denne læreboka. Cappelen Damm

Akademisk burde skaffe seg konsulenter som kan kvalitetssikre den faglige basis til lærebøkene de utgir!

Eivind Hii Hauge

∞

## Kommentar

### Informasjon om boka fra forfatteren

Boka har utspring i mine forelesninger om termodynamikk på Ingeniørutdanningen i Oslo. Vi brukte tidligere NKI-forlagets bok ”Fysikk for ingeniører: termofysikk”. Da denne for noen år siden ikke lenger ble trykket opp av forlaget, oppsto et behov for en ny termodynamikkbok på norsk.

Jeg begynte da arbeidet med omtalte bok. Intensjonen har vært å skrive en bok med fokus på studentenes ønsker mer enn lærernes. Jeg ville skrive en bok som er egnet til selvstudium. Dette har medført noen nye pedagogiske grep.

1. Jeg har prøvd å bygge opp stoffet på en logisk sammenhengende måte samtidig som innholdet skulle være begrepsmessig forståelig. Dette har blant annet ført til at jeg har definert temperatur to ganger: en gang på en intuitiv måte helt i starten, og så mer generelt i avsnitt 5.9 når studentene har lært mer.

2. Studentene har ofte bedt meg ta med alle mellomregninger når jeg gjennomgår stoffet. Jeg har derfor gjort dette i termodynamikkboka, også. Dette har ført til at det er mange likninger i boka. Men det er nettopp for å unngå at boka skal fremtre som en formelsamling. Jeg har hele tiden lagt vekt på å vise hvor likningene kommer fra ved å referere bakover i utledingenene.

3. Alle eksemplene og oppgavene har fått egne overskrifter, og det er egne innholdsfortegnelser for eksemplene og oppgavene for at det skal være lett å finne frem i boka.

4. Jeg har skrevet en ordliste bak i boka der betydningen av de faglige ordene og begrepene forklares.

5. Det er inkludert en formelsamling bakerst i boka. Her er formlene som er utledet i de enkelte kapitlene, presentert med korte forklaringer.

6. Min fremste test på om boka fungerer godt som lærebok, var at jeg lagde detaljerte løsningsforslag til alle de omtrent hundre oppgavene i boka. Disse er inkludert i boka. Noen oppgaver ble funnet på Internett, og andre lagde jeg selv. Men alle løsningsforslagene ble laget med utgangspunkt i hovedteksten i boka. Dermed fikk jeg sjekket at teksten gav tilstrekkelig innsikt til å løse oppgavene, og at all informasjon som trengtes for å løse oppgavene var til stede. I noen tilfeller ført dette til forbedringer av teksten.

La meg til slutt nevne at forlaget inviterte tre konsulenter til å vurdere manuskriptet. Vi fikk konsulentuttalelser fra to av dem.

Mitt mål har vært på å lage en bok om termodynamikk som studentene kunne ha glede av.

Dersom noen har konstruktive forslag til forbedringer av boka, så vil disse bli mottatt med takk.

Øyvind G. Grøn

∞

## Frå Fysikkens Historie

### Tankar om nordlyset i 1787



I ei bok om mange naturfenomen skriven for folk flest av ein dansk teolog i 1787, er også nordlyset omtala endå det sjeldan var synleg frå Danmark. Verkeleg nordlysforskning var då ikkje kome i gang, og ein hadde lite sikker kunnskap om dette fenomenet. Likevel er det som Bastholm skriv om nordlyset i denne boka forbausande likt det vi kunne ha sagt i dag om vi skulle ha forklart nordlyset på enklaste måte. Vi veit no at nordlyset vert skapt i den øvre atmosfæren av partiklar frå solvinden som vert fanga inn av magnetfeltet omkring jorda og styrt ned i atmosfæren omkring polane. Utdrag frå boka fylgjer.

Karl Måseide

"Philosophie for Ulærde" af Mag. Christian Bastholm, Doctor i Theologien, Hans Kongelige Majestæts Confessionarius og første Hofprædikant.

Til Hendes Kongelige Høihed, Kronprintsesse Louise Augusta.

Kjøbenhavn, 1787, Trykt paa Gyldendals Forlag.

### Kapittel 5: Om Jordens Dunstkugle, dens Egenskaber og Forandring

Side 85:

Førend jeg ender dette Kapitel maae jeg først sige noget om Nordlyset, enskiønt dette Noget dog altid er meget uvist, og løber ud paa lutter Gisninger — Nordlyset sees fornemmelig over de nordiske Landes Horisont, og sædvanlig fra Begyndelsen af Efter-aaret til Begyndelsen af Foraaret, ved en klar stille luft — At Nordlysets materie maae være meget subtil, og ikke kan være en Antændelse af de grovere jordiske Svoeldunster i Luften, det kan man med temmelig god Vissched slutte af dens reene Glands, dens levende Farver og Giennemsigtighed; thi man kan gandske tydelig see Stiernerne giennom Nordlysets Materie. Man skulde derav næsten slutte, at Nordlyset er i Luftens øverste Ægne, hvor de grovere Dunster ikke kunne opstige (Fotnote V: Man paastaaer, at Nordlyset sielden opholder sig i en Høide af 20 Mile, men ofte imellem 60 og 90, ja, undertiden 150 Mile. Til saadan en Høide er det ikke muelight, at Dunster af Jorden kunne erstige.) maaskee det reiser sig af Dunster i Solens Atmosphære, som tiltrækkes af Jorden, eller af Ætherens elektriske Deeble (Man kan og ved Elektriciteten næsten efterligne alle Nordlysets Særsyner.), og en vis overordentlig Bevægelse, i hvilken de komme med Dunstkuglens fineste Deeble. Desuden finnes det, at det staar i en Forbindelse med den magnetiske Materie, som fornemmelig stærkt opdynger sig ved Polerne. Thi, at den magnetiske Materie, som bestandig strømmer hen mod Polerne, bliver ved Nordlyset sat i en uordentlig Bevægelse, lærer Erfarenhed, eftersom Magnetnaalen ved et stærkt Nordlys kan bringes ud af sin rette Stilling — Men dette bliver dog ikkun en Formodning; Efterkommernes igentagne Erfaringer ville maaskeesætte denne Materie, som saa mange andre, i et klarere og vissere Lys.

∞

---

## Hva skjer

---

### NFS og European Physics Journal

I 1997 ble en rekke nasjonale europeiske tidsskrifter i fysikk nedlagt i forbindelse med opprettelsen av EPJ-tidsskriftene. Akronymet står for *European Physical Journal*. Der er separate tidsskrifter for forskjellige disipliner innen fysikk, som EPJ A, EPJ B, EPJ C, osv. Tre forlag står bak: Springer (Heidelberg), edp sciences (Paris) og Societa Italiana di Fisica (Bologna). Denne familiien av tidsskrifter representerer videreføringen av *Zeitschrift für Physik*, *Journal de Physique*, *Nuovo Cimento* med flere.

Norsk Fysisk Selskap er, liksom tilsvarende selskaper i andre europeiske land, en støttespiller for EPJ-tidsskriftene. Det har vært store strukturelle forandringer disse siste årene. En vesentlig del av abonnementene er nå papirløse, og for omtrent halvparten av tidsskriftene har man forhandlet fram "Open Access"-avtaler.

Tidsskriftene har en "Scientific Advisory Committee", med en representant fra hvert av Europas fysiske selskaper. Komiteen har som oppgaver bl.a. å gi råd om tidsskriftenes profilering, og ansettelse av hovedredaktører. Den tjener slik som vitenskapelig alibi for forlagene, som også har kommercielle interesser. Denne strukturen, med rådgivende komité med utspring i de nasjonale fysiske selskaper, er tenkt som en motpart til strukturen i USA, hvor *American Physical Society* (APS) står bak en rekke fagtidsskrifter i fysikk.

En viktig vurdering ved publisering, er tidsskriftets "Impact factor". Innen mange disipliner er det fortsatt slik at APS-tidsskriftene har beholdt det forspranget i renomme som de fikk i forbindelse med at mange fremstående fysikere flyttet til USA på 1930 og 1940-tallet. Men innen enkelte sektorer har EPJ-tidsskriftene begynt å "ta inn på".

Som komiteens leder dette året, vil jeg oppfordre til å publisere i EPJ!

Per Osland

∞

## Nye Doktorer

Nora H. Stray



Nora H. Stray forsvarde sin avhandling *Planetary waves in the MTL: Vertical coupling and effects* for PhD-graden ved Institutt for fysikk, NTNU, 13. mai.

Gode klimamodeller er viktige for å kunne forutsi hvilke utfordringer menneskene vil få i framtida pga klimaendringer. For å lage slike modeller trengs det mye informasjon om atmosfæren slik den er nå, og god forståelse av hvordan vertikal energitransport skjer i atmosfæren. Dette kan skje ved såkalte planetariske bølger. Disse er som store høy- og lavtrykksområder som beveger seg i vestlig retning rundt hele jorda i løpet av noen dager, og lager periodiske variasjoner i temperatur og vinder i atmosfæren. Planetariske bølger kan også bevege seg oppover i atmosfæren og transportere energi fra den nedre til den øvre atmosfære. Dette er bl.a. avhengig av vinder i atmosfæren rundt bølgene.

Stray har målt planetariske bølger i ca. 95 km høyde, hvor atmosfæren kalles mesosfære-nederstertmosfære (forkortet MLT på engelsk). Målingene er gjort i tiden 2000-2008 vha 8 SuperDARN-radarstasjoner som ligger omrent langs  $60^{\circ}$  nordlig bredde og måler vinder i MLT kontinuerlig. Disse målingene er brukt til å studere planetariske bølger i MLT og hvordan disse påvirker atmosfæren. I tillegg har Stray studert hvordan variasjoner i atmosfæren mellom jordoverflaten og MLT påvirker hypopighet og variasjoner av planetariske bølger i MLT. Denne informasjonen er brukt til å forstå når og hvor mye energi som kan bli transportert vertikalt ved hjelp av de planetariske bølgene. Veileder har vært professor Patrick J. Espy.

∞

## Trim i FFV

### Løsning på FFVT 1/15

#### Mørkets gjerninger

På bordet lå en vanlig kortstokk der 13 av kortene hadde bildesiden opp, de øvrige hadde bildesiden ned. Rommet er helt mørkt. Oppgaven gikk ut på å dele kortstokken i to bunker slik at hver bunke hadde like mange kort med bildesiden opp.

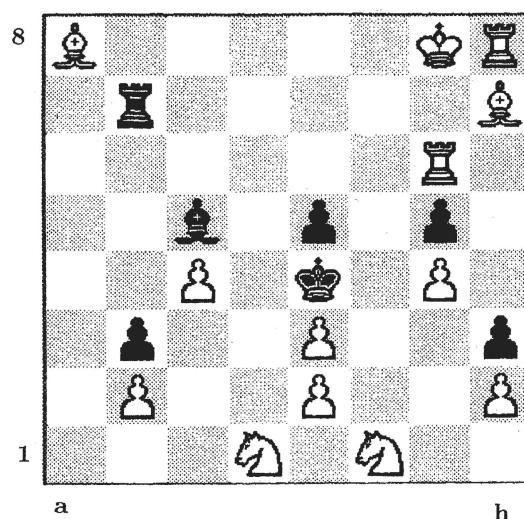
Løsningen er enkel: Du teller opp hvilke som helst 13 kort av stokken, snur dem, og legger dem på bordet. Det er bunke 1. De resterende 39 kortene danner bunke 2. Disse to bunkene vil da ha like mange kort med bildesiden opp!

Forklaring: De 13 kortene du tellet opp vil inneholde et visst antall kort med bildesiden opp. Kall dette antallet A, et tall mellom 0 og 13. Etter snuingen vil da bunke 1 ha 13-A kort med bildesiden opp. Restbunken 2 vil få antall kort med bildesiden opp redusert fra opprinnelig 13 til 13-A, altså samme antall som i bunke 1.

### FFVT 2/15

#### Ikke matt i ett trekk

Den voksende sjakkinteressen (Magnus-effekten) gjør at trimoppgaven for én gangs skyld er en sjakkoppgave.



Hvit skal gjøre sitt trekk, og utfordringen er å finne ut hvorledes han kan unngå å sette svart matt i ett trekk.

∞

## FFV - Leserundersøkelse vår 2015

Redaksjonen for FFV ønsker tilbakemelding fra leserkretsen om hvordan bladet fungerer. Du kan svare ved å nytte dette arket, kopiere og sende i posten (adresse Norsk fysisk selskap ved Kjersti Gausvik, Institutt for fysikk og teknologi, UiT, Postboks 6050, Langnes, 9037 Tromsø), eller elektronisk (adresse [nfs.styret@gmail.com](mailto:nfs.styret@gmail.com)). Arket finnes på nettet som Word-ark under <http://www.norskfysikk.no/nfs>.

**A:** Omrent hvor stor del av bladet leser du i hvert nummer?

0 – 20 %	20 – 40 %	40 – 60 %	60 – 80 %	80 – 100 %

**B:** Interesseområder: Markér med tall fra 0 til 9 i hver av rutene for de ulike emner (alfabetisk plassert) hvor interessert du er å lese om vedkommende emneområder.

Akustikk og optikk/ lys/ bølger/ spektra	Atom- og kjernefysikk	Bio- og helsefysikk/ stråling	Energi/ klima/sol og vind	Faststoff/ væsker/ materialfysikk

Kosmologi/ astrofysikk	Nobelpriser	Partikkelfysikk/plasma/ rom/solsystemet	Store installasjoner/ CERN/ESRF o a	Undervisning/skole/ universitet

**C:** Markér på samme måte med tall fra 0 til 9 interessa for følgende ‘småstoff’:

Bokomtaler	Doktorgrad- omtaler	Nytt fra NFS	Personalia/Gratulasjoner /Nekrologer	Pristildelinger (andre enn Nobel)	Trim i FFV

**D:** Markér med vekt fra 0 til 9 i hvilken grad FFV bør ha historisk stoff  og leserinnlegg .

**E:** Hvordan vurderer du (i hovedsak) nivået eller vanskelighetsgraden for artiklene? Markér med %-andel av innholdet i bladet for hver kategori.

Altfor enkelt	Noe enkelt	Passelig	Noe for vanskelig	Altfor vanskelig

**F:** Er artiklene i gjennomsnitt for korte?  Omrent passe?  For lange?   
Kommentér.

**G:** Er sidetall og layout passe?                      Kommentér.

**H:** Har du forslag til endringer og forbedringer, eller generelle kommentarer?  
Skriv her:

**I:** Gi gjerne opplysninger om deg sjøl, slik som alder, kjønn, funksjon/stilling/utdanning, type arbeidsplass o.a.

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



NORGE P.P. PORTO BETALT

## 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. 1400.

FORMÅLET MED FFV er å gi informasjon om aktuelle tema og hendinger innen fysikk, og å bygge bro mellom forskere, fysikkførere, 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 forstår 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 publiserbart. 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 tekstbehandlingsprogram 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 en spaltebredd på 8,6 cm. De bør være på elektronisk form i et standard grafisk format og med god oppløsning. 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 artikkelen. De må være teknisk gode og lette å forstå. KORREKTUR: Forfatterne får tilsendt korrektur som må returneres snarest. Det må ikke gjøres unødige endringer i korrekturen.

## Norsk Fysisk Selskap

### STYRE

#### President:

Professor Åshild Fredriksen  
Inst. for fysikk og teknologi, UiT  
e-post: ashild.fredriksen@uit.no

#### Visepresident:

Professor Are Raklev  
Fysisk institutt, UiO  
e-post: a.r.rachlow@fys.uio.no

#### Styremedlemmer:

Forsker Thomas Gjesteland  
Inst. for fysikk og teknologi, UiB  
Førsteamanuensis Børge Hamre  
Inst. for fysikk og teknologi, UiB  
Professor Jan Petter Hansen  
Inst. for fysikk og teknologi, UiB  
Professor Håvard Helstrup  
Høgskolen i Bergen  
Professor Eli Olaug Hole  
Fysisk institutt, UiO  
Professor Jon Samseth  
Høgskolen i Oslo og Akershus, Lillestrøm  
Lektor Morten Trudeng  
Asker videregående skole

#### Selskapets sekretær:

PhD-student Ole Meyer  
Inst. for fysikk og teknologi, UiT,  
Pb. 6050 Langnes, 9037 Tromsø,  
e-post: nfs.styret@gmail.com  
Bankgiro: 7878.06.03258

## Fra Fysikkens Verden

### Redaktører:

Professor Øyvind Grøn  
Høgskolen i Oslo og Akershus, og  
Fysisk institutt, UiO  
e-post: oyvind.gron@hioa.no  
Professor Emil J. Samuelsen  
Inst. for fysikk, NTNU  
e-post: emil.samuelson@ntnu.no

### Redaksjonssekretær:

Karl Måseide  
Fysisk institutt, UiO  
e-post: k.a.maseide@fys.uio.no

### Redaksjonskomité:

Professor Odd-Erik Garcia  
Institutt for fysikk, UiT  
Professor Per Chr. Hemmer  
Institutt for fysikk, NTNU  
Professor Ellen K. Henriksen,  
Fysisk institutt, UiO  
Professor Per Osland  
Inst. 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

Fra Fysikkens Verden kommer ut 4 g. årlig.  
Abonnement tegnes hos selskapets sekretær.  
Årsabonnement 200 kr. (Studenter 100 kr.)