Fra Fysikkens Verden

Nr. 2 – 2014
76. årgang

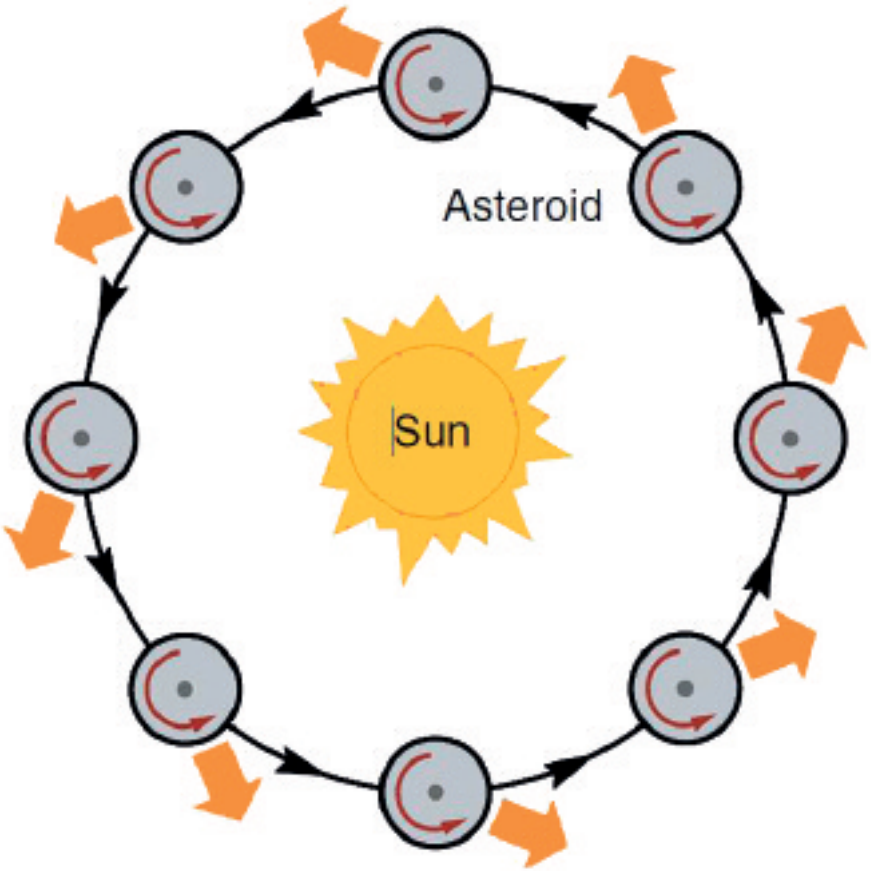
Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øyvind Grøn
Emil J. Samuelsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Øyvind Grøn:
Strålingstrykk påvirker asteroider . . 41
Emil J. Samuelsen:
Solcellerevolusjon med perovskitt. . 47
Øyvind Grøn:
Gravitasjonsbølger fra Big Bang? . 51
Sigurd Kirkevold Næss:
Antimaterie fra pulsårer? 56
Emil J. Samuelsen:
Grafén i fokus 60
Frå Redaktørane 38
In Memoriam 38
Torger W. Holtsmark (1924-2014)
FFV Gratulerer 39
Johan Moan 70 år
Øyvind Grøn 70 år
Fysikknytt 62
Nøytrinoastronomi?
Kva skjer. 63
Krystallografiåret 2014
Kommentar 64
Higgs-bosonet og atomenes masse
Nytt fra NFS 65
Nye styremedlemmer m.m.
Nye Doktorer 67
PhD Håvard Granlund
Trim i FFV 67



Solstrålingen påvirker asteroiders bevegelser
(Se artikkel)

ISSN-0015-9247

Frå Redaktørane

Det er ei betydeleg grad av tevling mellom forskarar og forskingsgrupper om førsteprioritet til nyoppdagingar. Derfor ser vi ein aukande tendens til at forskingsresultat blir kunngjorde gjennom kommersiell presse før, eller kanskje samtidig med, at resultata blir sende til ordinær fagfellevurdering med tanke på publisering i fagtidsskrift. Særleg utsett for dette er resultat som kan seiast å vere av "sensasjonell" natur og "nobelpris-nivå" blir nemnde.

To slike tilfelle blir omtala i dette nummeret av FFV. Artikkelen "Antimaterie fra pulsarer eller mørk materie?" fortel om målingar av kosmisk stråling på Den internasjonale romstasjonen, som har registrert positronandelen av strålinga som funksjon av energien (positron er eit positivt elektron, dvs. "antimaterien" av elektronet). Resultatet kan tolkast som signal frå "mørk materie", men dette poenget har ifølgje forfattaren fått for brei plass i presseoppslag. Forfattaren av artikkelen drøftar denne tolkinga, men i nøkterne former blir også andre og meir trivielle forklaringar diskuterte. Svar kan eventuelt komme etter nøyaktigare målingar.

Den andre artikkelen er "Gravitasjonsbølger fra Big Bang?". Ei forskingsgruppe har studert polarisasjonen i den kosmiske bakgrunnsstrålinga frå eit observatorium på Sørpolen der mørketida er lengst på den faste jorda og menneskelege forstyrringar er minimale. I mars i år sende gruppa ut ei pressemelding om at resultata deira viser signal av gravitasjonsbølgjer med opphav i den såkalla "inflasjonsfasen" knytt til Big Bang. Det ville i så fall vere dei første observasjonar av dei lenge hypotetiserte gravitasjonsbølgjene. Men i april og mai er det komme innvendingar frå andre grupper mot denne tolkinga som såleis inntil vidare må takast med "ei klype salt". Igjen er det "fleire observasjonar" som trengst for endeleg avklaring.

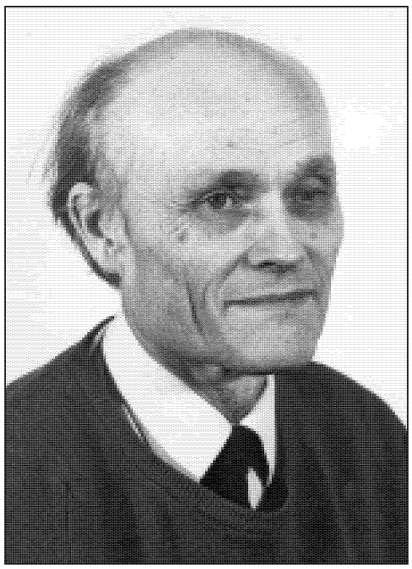
Dette nummeret av FFV har elles ein artikkel om nyvinningar på solcellefronten, og siste nytt om "vidundermaterialet" grafén. "Det internasjonale krystallografiåret 2014" blir markert med omtale og bilde av ein vakker mineralkrystall.

Emil J. Samuelsen

∞

In Memoriam

Torger W. Holtsmark (1924–2014)



Torger Weisse Holtsmark døde 26. april 2014, 89 år gammel. Torger Holtsmark tok hovedfag i fysikk ved Universitetet i Oslo i 1957 med oppgaven: *Undersøkelse av fremmed-stoffers innvirkning på krystallveksten hos NaCl, særlig med sikte på lamellvekst.* Samme år ble han tilsatt som universitetslektor (senere førsteamanuensis) ved Fysisk institutt, Avdeling for biofysikk, UiO. Her virket Torger Holtsmark til lenge etter at han gikk av med pensjon i 1994.

En av Holtsmarks første oppgaver ved Fysisk institutt var å bygge en vannprismemonokromator for UV-stråling, sammen med Tor Langeland og andre. Men Holtsmark var mer opptatt av fargesyn, bildedannelse og geometrisk-optiske fenomener, og bygget senere opp en imponerende "spektralintegrator" med god hjelp fra Arne Valberg, Thorstein Seim og Ivar Østby, hvor han kunne studere menneskers evne til å skille farger fra hverandre.

Holtsmark ble tidlig inspirert av Goethes fargelære og dannet en gruppe bestående av bl.a. André Bjerke, Arne Næss og Sven Oluf Sørensen, som arrangerte seminarer om denne fargelæren i en vid setting hvor vitenskapsteori og filosofi inngikk i diskusjonene. Holtsmark skrev også en bok om Goethes fargelære som ble utgitt på AdNotam forlag i 1991 og nyutgivelse i 1994.

Holtsmark var en meget dyktig og engasjerende foredragsholder og foreleste et vidt spekter av em-

ner hvor han flittig brukte demonstrasjoner med egenutviklet utstyr. Jan Henrik Wold var Holtsmarks gode støttespiller i mange år.

Torger Holtmark ble utnevnt til professor ved Institutt for farge ved Statens håndverks og kunstindustriskole, og ble invitert til flere europeiske land hvor han virket som en inspirator i vitenskapelige miljøer. Et slikt miljø i Tyskland har samlet Holtsmarks arbeider i boka "*Colour and Image*" som kom ut på forlaget Logos i Berlin i 2012.

Siden tidlig på 1990-tallet virket Holtsmark som konsulent for Store Norske Leksikon. Her bidro han med kommentarer til et hundre-talls oppslagsord innen områdene lys, farge, bildedannelse og optikk.

Som 75-åring ble Torger Holtsmark engasjert i et prosjekt ledet av matematikeren Eldar Straume (NTNU), hvor man forsøkte å få tilgang til korrespondansen mellom den norske matematikeren Sophus Lie og den tyske Felix Klein. Holtsmark fikk kjøpt brevene fra Klein til Sophus Lie fra Lies etterkommere i Tyskland, og gikk inn i et omfattende bokprosjekt sammen med Eldar Straume, Elin Strøm og den amerikanske matematikeren Leslie Kay, hvor korrespondansen mellom Klein og Lie blir gjennomgått i detalj og satt inn i en matematisk kontekst. Holtsmark bidro aktivt i dette prosjektet helt fram til at han fikk slag i 2008. Boka forventes å komme ut på Springer-Verlag i løpet av et par års tid, med Holtsmark som medforfatter.

Torger Holtsmark hadde et vidt perspektiv på fysikkfaget, og var også opptatt av vitenskapsteori, kunstopplevelse, erkjennelse og filosofi. Han mente at begreper og lover innen vitenskap først får mening eller innhold når de knyttes til sanseopplevelser. Bredden i Holtsmarks kunnskap imponerte mange, og i minnesamværet etter hans bisettelse ble han betegnet som en "åndshøvding". Det ble sagt at han ofte unnlot å komme med løsninger på problemer, men inviterte lytterne til egen tenkning i stedet.

Holtsmark etterlater seg vitenskapelige miljøer spredt over flere land i Europa, som viser stor takknemlighet overfor hans virke.

Torger Holtsmark hadde også et stort kontaktnett langt utover fysikkmiljøer. Han var blant annet inspirert av antroposofi og underviste i en årrekke på flere trinn ved Steinerskoler.

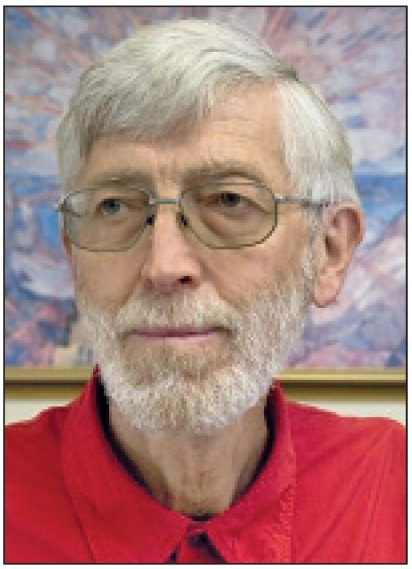
Det er en åndsperson med dype røtter i europeisk kultur som nå er gått bort.

Arnt Inge Vistnes og Einar Sagstuen

∞

FFV Gratulerer

Johan Moan 70 år



Den 27. april 2014 fylte professor Johan E. Moan 70 år. Dermed har en av våre aller mest produktive og markante kolleger innen fysikk- og biofysikk-fagene gått inn i pensjonistenes rekker. Skjønt, pensjonist? Det vil nok bli vanskelig å få bildet av "pensjonisten" til å passe på Johan Moan på lenge ennå. Til det er han for det første altfor opptatt av sin forskning, og for det andre for opptatt av mange spørsmål som gjelder vitenskap, tro/religion, helse og samfunnsliv generelt. For det tredje er Johan fremdeles blant våre mest aktive forskere med en publikasjonsrate på omlag ti vitenskapelige artikler i året.

Johan Moan er en ivrig debattant, en som ikke er redd for å lufte sine meninger offentlig. Og også når det gjelder frivillig avgang til pensjonering har han vært krystallklar offentlig: Han så helst at pensjonisttiden ble utsatt med minst fem år for sin egen del, og mener at alle bør ha den friheten. Hans deltagelse i den offentlige debatt er en berikelse vi håper å få glede av i mange år fremover.

I 1976, kort tid etter sin doktorgradsdisputas, ble Moan anmodet om å inkludere levende kreftceller i sine studier av UV-strålingens virkninger. Han hadde tidligere studert molekylære byggesteiner (aminosyrer) i frossen tilstand, men Radiumhospitalet anså det ønskelig med en mer cellulær tilnærming. Konsekvensene av dette ble forbløffende. Som stipendiat ved Avdeling for Vevsdyrkning kunne jeg følge dette arbeidet på nært hold. Johan bet tennene sammen og gikk i gang.

Meget raskt kom han til å bli en internasjonal kapasitet innenfor den ganske nye disiplinen, fotodynamiske effekter av lys og fotodynamisk terapi (PDT). Altså, effekter av synlig lys, ikke bare av UV.

Det er med stor beundring, og ikke så lite undring, jeg ser tilbake på den enormt raske utviklingen Johan Moan sto for med de for ham nye biologiske modellene på slutten av 1970-årene. Jeg oppdaget raskt at han hadde en utradisjonell tilnærming til mange problemer som noen hver av oss forskere kan ha noe å lære av. Moan har en tendens til å gå rett inn til sakens kjerne uten å la seg hefte av alle slags detaljer som egentlig har liten betydning. Når jeg nå ser tilbake på dette med mer enn 30 års distanse, innser jeg at dette var en enorm styrke rent vitenskapelig. Det bidro til en uventet rask utvikling av det nye fagområdet, og at mekanismene for de fotodynamiske effektene ble avdekket med stormskritt. Også utviklingen av kjemikalier med klinisk potensiale ble dermed raskt og effektivt gjort av Johan og hans medarbeidere.

Men den egenskapen at Johan så å si gikk rett på mål hadde også en annen side, en side som ble kostbar for ham: Med den "nærsynthet" man har mens man står midt oppe i utviklingen var det flere forskere i nærmiljøet som uttrykte at Johans forskning måtte være for lite grundig. Han hadde en veldig stor produksjon av artikler, noe som i seg selv vakte respekt. Men samtidig ble det antydet fra enkelte kolleger at dette da måtte være enkel forskning, og dessuten på et fagområde som var lite relevant for kreftbehandling. Hvordan kunne noen forvente at synlig lys noen gang kunne få et potensiale innen kreftbehandling? Akkurat denne kritikken har Johan selv kommentert i mange sammenhenger. Det var nok hardt for ham å møte dette samtidig med at han arbeidet nesten døgnet rundt i perioder. Men etter forbløffende få år kom gjennombruddene, og etter hvert endog opprettelsen av norsk legemiddelindustri på grunnlag av Moans forskning og patenter (Photocure: For en kort historie og oversikt, se for eksempel artikkel i Teknisk Ukeblad 7. februar 2012). Dermed forstummet ikke bare kritikken; holdningene snudde i den grad at det ble viktig for mange forskere å vise at også de hadde bidratt til denne forskningen. Og det var virkelig mange som bidro etter hvert, selvsagt var det det. Men ingen kan ta fra Johan Moan at det var han som var drivkraften og idéopphavet. Han tok støyten da det røynet på, og han bygget opp det miljøet som drev forskningen fremover i tiårene som fulgte. Anerkjennelsen kom også etter hvert i form av priser, og de ble det mange av:

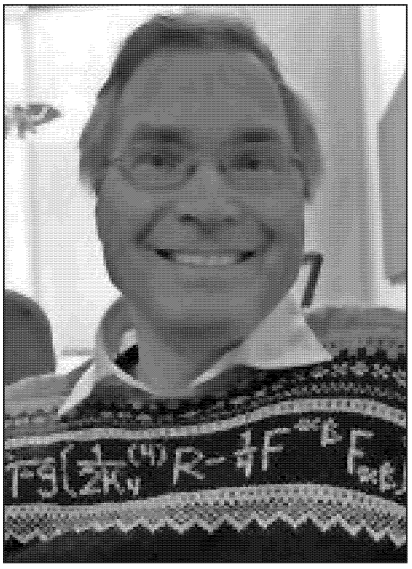
1995: UiO og Forskningsparkens 1. pris
1996: Radiumhospitalets og Forskningsstiftelsens nyskapingspris
1998: Bergesenprisen for allmennyttig forskning
1999: Ærespris fra den Europeiske Forening for Fotobiologi
2001: Venture Cup fase 1
2003: Norsk Hydros Birkelandpris i fysikk
2010: UiOs forskningspris

Johan Moans forskning er et eksempel på at man skal være varsom med å opphøye seg som dommer over fagområder. Når støtte til forskning skal vurderes bør det være på grunnlag av kvalitet, ikke på grunnlag av politiske strømninger eller tilfeldige spådommer, og heller ikke nødvendigvis på grunnlag av størrelsen på forskningsgruppen. På dette området har Moan offentlig rettet en pekefinger mot Forskningsrådet som for tiden gjerne satser på store programmer. Ingen vet på forhånd hvilken grunnforskning som vil forbedre samfunnet og verden. Og noen krefttyper både kan og bør faktisk behandles med lys, det har Moan lært oss på tross av at det en gang var kontroversielt. – En stor gratulasjon til Johan Moan ved hans 70-årsdag!

Erik O. Pettersen

∞

Øyvind Grøn 70 år



Det er en glede å ønske professor Øyvind Grøn, for tiden en av redaktørene i FFV, til lykke med 70-årsjubileet i vår. Han er en kjent størrelse i det

norske forskermiljøet, så vel som i internasjonale fora, innen klassisk generell relativitetsteori og kosmologi og innen klassisk elektromagnetisk teori.

Øyvind Grøn ble utdannet ved Universitetet i Oslo (UiO) i meteorologi, men ble senere trukket over i retning av Einsteins feltligninger (ta en titt på genseren på bildet!). Han fikk først lektorkompetanse i matematikk og fysikk, og tok den filosofiske doktorgrad ved UiO i 1990 om repulsiv gravitasjon. Han ble ansatt ved Oslo Ingeniørhøgskole (nå Høgskolen i Oslo og Akershus, HiOA) som førsteamanuensis i 1985, ble professor samme sted i 1994, og ble professor II ved UiO i 1995. Ved universitetet har han forelest generell relativitetsteori i hele 30 år; et fag han overtok og videreutviklet etter professor Finn Ravndal.

Øyvind er forfatter, eller medforfatter, til tre bøker om relativitetsteori publisert på Springer-Verlag, og har for tiden under arbeid en ny lærebok på universitetsnivå om termodynamikk (Cappelen-Damm). Han har vært veileder for en rekke hovedfags-/masterkandidater ved UiO, og har skrevet over 100 vitenskapelige artikler. For øvrig har han mottatt flere priser: Kongens gullmedalje, Illustrert Vitenskaps forskerpris, HiOAs forskerpris og samme institusjons formidlingspris.

Et karakteristisk trekk ved Øyvinds arbeidsinnsats gjennom hele hans karriere er den store aktivitet han har vist innenfor formidling. Han har skrevet omkring 1000 populærartikler, deriblant en serie med 15 såkalte "nyhetsbrev", på til sammen ca. 3000 sider. Nyhetsbrevene er utgitt i rapportserien til HiOA. Redaktørjobben i FFV er åpenbart et ledd i samme type virksomhet. Han har vært en flittig foredragsholder i forskjellige fora rundt omkring i landet, med 24 foredrag bare i 2013. Betydningen av formidlingsvirksomhet overfor allmennheten er sannsynligvis større enn hva forskermiljøene vanligvis selv tenker på. Signaler som en får både fra USA og andre steder, tyder på at forståelse og velvilje i opinionen overfor grunnforskning er ikke lenger så opplagt som tidligere. Øyvind har i senere tid deltatt også i den epistemologiske debatt i dagspressen, f.eks. i Aftenpostens "Viten"-serie.

Selv om Øyvind rundet 70-årsmilepelen den 11. mars, er det ingen ting som tyder på at han sikter seg inn mot en passiv tilværelse som emeritus. Han publiserte hele 10 forskningsartikler i internasjonale tidsskrifter i 2013. Han har gjennom de omtrent 30 år jeg har kjent ham alltid vært omgjengelig og hyggelig å samarbeide med.

Det norske fysikermiljøet ønsker Øyvind Grøn mange gode og produktive år framover!

Iver H. Brevik

∞

Hvordan strålingstrykk påvirker asteroiders bevegelser

Øyvind Grøn *

Yarkovsky-effekten, YORP-effekten og Poynting-Robertson-effekten er ulike virkninger av strålingstrykk. Yarkovsky-effekten og Poynting-Robertson-effekten resulterer i krefter som endrer legemenes baner, og YORP-effekten er årsak til kraftmoment som virker på roterende legemer og kan forandre deres rotasjonshastighet og rotasjonsaksens retning. Kreftene er små, men virkningene er observerbare på små legemer som asteroider når kreftene virker over lang tid.

* Høgskolen i Oslo og Akershus, og Fysisk institutt, UiO.

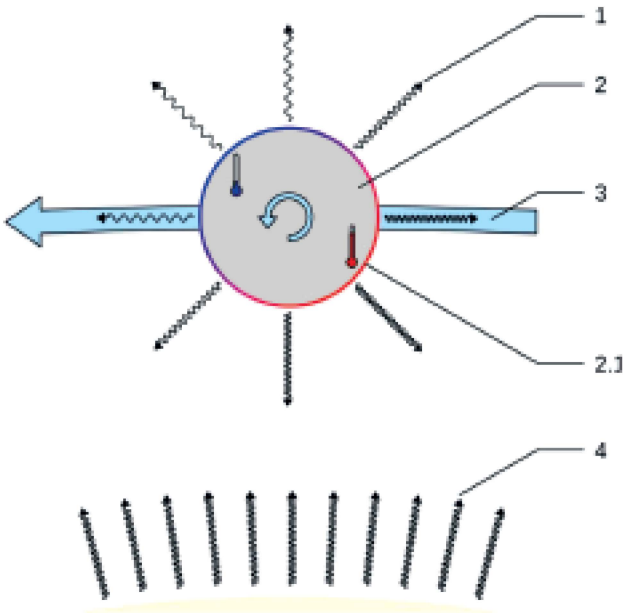
Yarkovsky-effekten

Denne effekten dreier seg om virkningen av strålingsreaksjonen som skyldes stråling utsendt fra et roterende legeme, på dets banebevegelse. Hvis legemet er kuleformet og strålingen sendes ut likt i alle retninger, er det ingen slik virkning. For et legeme som beveger seg rundt sola med bunden

rotasjon slik at det hele tiden vender den samme siden mot sola, blir denne siden varmere enn den motsatte. Da sendes det ut mer stråling mot sola enn utover fra den motsatte siden. Dermed blir det en strålingskraft radielt utover. Dette svarer til et svakere gravitasjonsfelt hvis det ikke hadde vært noen strålingsreaksjon. En asteroide med gitt hastighet vil derfor fanges inn i en lavere bane rundt en sol som sender ut stråling enn rundt et kaldt legeme med én solmasse.

Vi skal nå se hvilken betydning legemets rotasjon har når det gjelder kraften på legemet fra strålingen det sender ut. Strålingen avgis i form av lyspartikler – fotoner. Når et foton sendes ut oppstår en bitte liten rekyl. Men siden det er et enormt antall fotoner som sendes ut kontinuerlig over lang tid, vil denne rekylkraften få en observerbar effekt på legemets bevegelse.

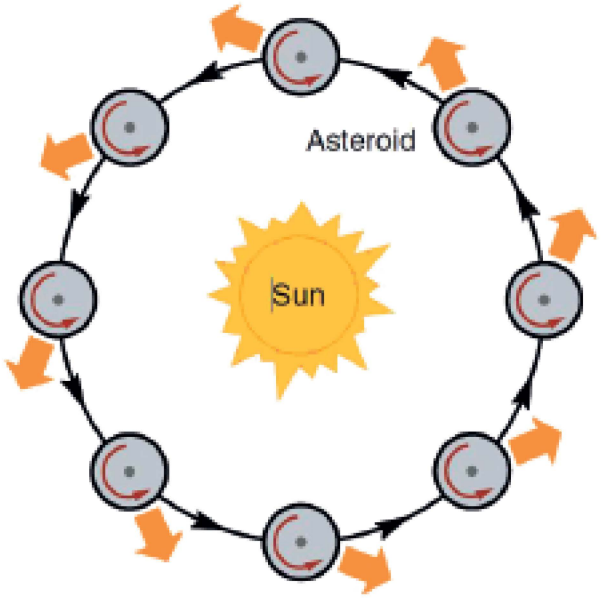
La oss se nærmere på hva som skjer. Når et roterende legeme befinner seg i solskinnet, varmes den delen opp som vender mot sola. Dette tar imidlertid litt tid. Anta at legemet roterer i samme retning som rotasjonen av dets posisjonsvektor i banen rundt sola. Da vil den delen som er i ferd med å varmes opp, få maksimal temperatur litt til høyre når vi ser i retning av solstrålingen, mens skyggedelen på baksiden får lavest temperatur litt til venstre (figur 1).



Figur 1. Illustrasjon av mekanismen bak Yarkovsky-effekten:
1. En asteroide sender ut stråling i alle retninger.
2. Asteroiden roterer i retning mot urviserens bevegelse.
3. Asteroiden har en banebevegelse mot venstre.
2.1. Den varmeste delen av asteroidens overflate.
4. Stråling fra sola.

Retningen med maksimal utstråling fra legemet faller ikke sammen med retningen til strålingen som kommer fra sola. Solstrålingen virker på asteroiden med en radiell kraft rettet utover. Rekylkraften fra legemets egen utstråling er størst rett ut fra det varmeste området på asteroiden (det røde på figur 1) og minst ut fra det kaldeste. Vi ser at det blir en netto rekylkraft utover på skrå mot venstre på figuren. Rekylkraften har altså både en komponent radielt utover og en komponent langs asteroidens bevegelsesretning. Virkningen på asteroidens bevegelse er at den vil bevege seg langsomt utover langs en spiralbane.

Hvis vi tenker på et "asteroidedøgn" som den tiden en asteroide bruker på å rotere én runde om sin egen akse, kalles denne effekten for *den døgnlige Yarkovsky-effekten* (figur 2).



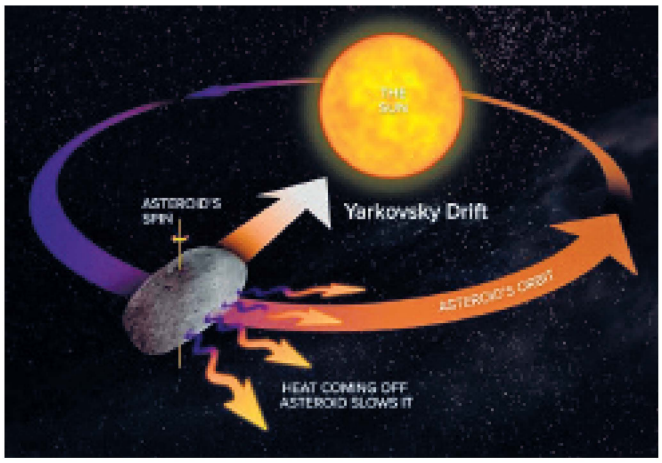
Figur 2. Illustrasjon av mekanismen bak den døgnlige Yarkovsky-effekten for en asteroide som roterer i samme retning som banebevegelsen. De gule pilene markerer retningen til strålingsreaksjonen summert over hele overflaten til asteroiden.

Dersom asteroiden hadde rotert motsatt vei i forhold til bevegelsesretningen, ville strålingsreaksjonen fått den til å spiralisere innover (figur 3).

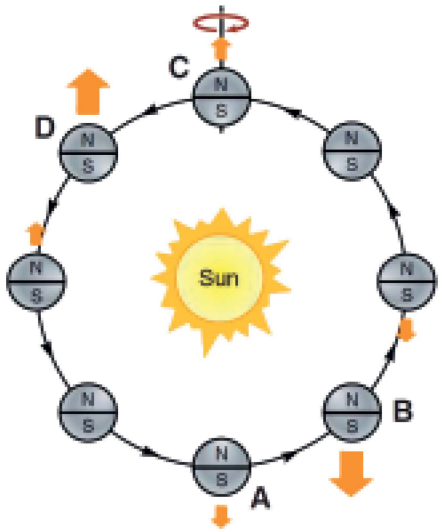
Det er også en såkalt *årlig Yarkovsky-effekt* knyttet til forskjellen på orienteringen av en asteroide før og etter et omløp rundt sola (figur 4).

Mekanismen bak den årlige Yarkovsky-effekten er illustrert i figur 4 for en asteroide med rotasjonsaksen i asteroidens baneplan, slik at det ikke er noen døgnlig Yarkovsky-effekt. Det er en sesongavhengig oppvarming av den sørlige (S) og nordlige (N) delen av asteroiden. På grunn av den termiske forsinkelsen er temperaturen høyest

på den nordlige delen av asteroiden, ikke i punkt A hvor den nordlige delen peker rett mot sola, men litt seinere, i punkt B. Tilsvarende har den sørlige delen høyest temperatur ikke i punkt C,



Figur 3. Illustrasjon av Yarkovsky-effekten for en asteroide som roterer i motsatt retning av rotasjonen til dens radius vektor fra sola på grunn av banebevegelsen. Rotasjonen av asteroiden vil nå føre det varmeste området i bevegelsesretningen (motsatt av i figur 2), slik at det sendes ut mest stråling i retning forover. Strålingsreaksjonen gir da en resultantkraft som har en komponent rettet bakover i forhold til banebevegelsen og sakker av asteroidens banehastighet. Dette tapper asteroiden for energi og gjør at den får en drift innover som kalles Yarkovsky-driften.

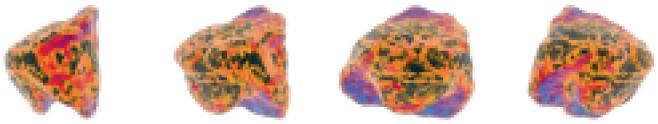


Figur 4. Illustrasjon av mekanismen bak den årlige Yarkovsky-effekten. Se forklaring i hovedteksten.

men i D. De vertikale gule pilene viser retningen av strålingsreaksjonen fra asteroidens egen termiske utstråling. Vi ser at strålingsreaksjonen har en en komponent mot bevegelsesretningen. Det fører til en liten nedbremsing som gjør at asteroiden driver litt innover mot sola.

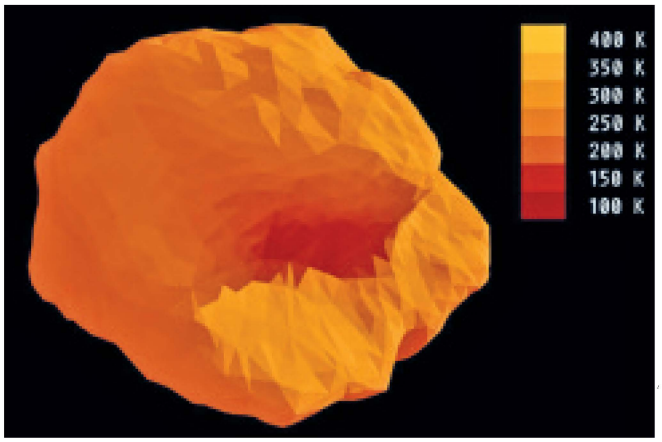
Observasjoner av Yarkovsky-effekten

Eksistensen av Yarkovsky-effekten ble for første gang bekreftet i 2003 ved å analysere observasjonsdata av posisjonen til asteroiden 6489 Golevka (figur 5) gjort med radar fra 1991 i 12 år fremover.



Figur 5. Computermodell av asteroiden 6489 Golevka sett fra ulike vinkler, basert på observasjoner med Areciboteleskopet i Chile. Den har en utstrekning på omtrent 1 km.

Astronomen Steven R. Chesley og medarbeidere, gjorde en presis beregning av virkningen av Yarkovsky-effekten på asteroiden 6489 Golevka. De delte først opp overflaten i 4092 elementer og beregnet temperaturen på hvert element (figur 6).



Figur 6. Temperaturfordeling på overflaten av asteroiden 6489 Golevka.

Så beregnet de strålingsreaksjonen på hvert element på grunn av strålingen det sendte ut. En summasjon av reaksjonskraften på alle elementene gir størrelsen og retningen av Yarkovsky-effekten på asteroiden. Den ble på $0,25$ N som gir asteroiden akselerasjonen 10^{-10} m/s^2. Strålingstrykket fra solstrålingen i jordas avstand fra sola er $9 \cdot 10^6$ N/m^2. For en asteroide med et tverrsnittareal på 1 km^2 gir det en kraft på 9 N, som gir en akselerasjon på $3,6 \cdot 10^{-9}$ m/s^2. Men for en sirkelbane har denne kraften ingen komponent i bevegelsesretningen, så den vil ikke gjøre noe arbeid på asteroiden.

Til sammenlikning er tyngdeakselerasjonen i solas gravitasjonsfelt i jordas avstand fra sola $6 \cdot$

10^{-3} m/s^2. Siden strålingstrykket avhenger av tverrsnittarealet og massen av volumet, vil akselerasjonen på grunn av strålingstrykket for en kuleformet asteroide, være omvendt proporsjonalt med asteroidens utstrekning. Det betyr at for en asteroide med utstrekning på én meter, vil trykk-kraften fra solstrålingen være omtrent like stor som solas gravitasjonskraft.

Observasjoner har vist at asteroiden hadde et avvik på 15 km over en periode på 12 år fra posisjonen som ble forutsagt dersom asteroiden bare hadde vært påvirket av gravitasjonskrefter. Beregningene der Chesney og medarbeidere tok hensyn til Yarkovsky-effekten, ga overensstemmelse mellom beregninger og observasjoner.

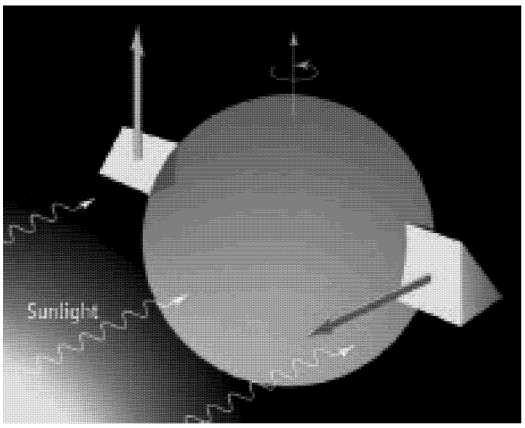
Den foreløpig nyeste bekreftelsen av Yarkovsky-effekten er oppnådd i observasjoner av asteroiden 1999 RQ36 som har en diameter på omtrent 500 m. Nøyaktige posisjonsbestemmelser frem til 2012, har vist at denne asteroiden i løpet av de siste 12 årene har drevet 150 km vekk fra den posisjonen den ville hatt om den bare hadde vært påvirket av gravitasjonskrefter. Beregninger viser at dette kan forklares som et resultat av Yarkovsky-effekten.

YORP-effekten

YORP-effekten, eller Yarkovsky-O'Keefe-Radzievskii-Paddack-effekten, er at stråling utsendt fra et roterende, usymmetrisk legeme endrer legemets rotasjonshastighet og rotasjonsaksens retning (figur 7).

YORP-effekten bidrar med et kraftmoment som produseres når sollys reflekteres fra overflaten til en asteroide, og strålingsenergien sendes ut igjen fra asteroiden som infrarød stråling. Utstrålingen fra ethvert element på overflaten av asteroiden tar med seg en bevegelsesmengde vinkelrett på flateelementet. Strålingens intensitet er proporsjonal med T^4, der T er den absolutte temperaturen til flateelementet. Dette gir en strålingsreaksjon på flateelementet som avhenger sterkt av elementets temperatur. For en symmetrisk asteroide gir dette opphav til Yarkovsky-effekten som er en resultantkraft på asteroiden. Dersom legemet er usymmetrisk slik som i figur 7, oppstår også et kraftmoment som vil endre asteroidens rotasjonshastighet. Dette er *YORP-effekten.*

Legemets fasong og spinnaksens retning i forhold til dets bevegelsesretning rundt sola, har betydning for hvordan endringen av rotasjonsbevegelsen blir. Hvis legemet spinner i samme retning

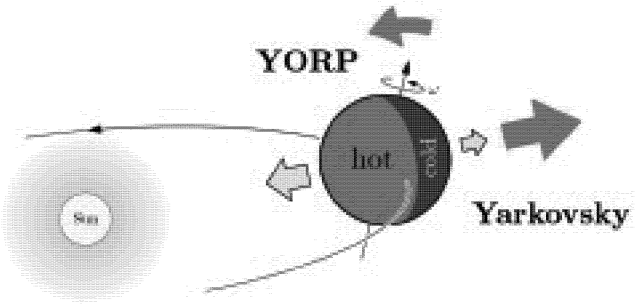


Figur 7. Illustrasjon av YORP-effekten. Kulen med utstikkerne er en enkel modell av en asteroide med uregelmessig fasong. Utstikkerne har flater i forskjellige retninger slik at strålingen fra de to utstikkerne reflekteres i forskjellige retninger (blå piler). Resultatet av strålingstrykket fra solstrålingen samt strålingsreaksjonen fra strålingen som legemet selv sender ut, er da at det oppstår et kraftmoment som endrer legemets rotasjonshastighet.[2] Strålingstrykket kan også endre rotasjonsaksens retning.

som banespinnet, vil rotasjonshastigheten øke, men hvis det spinner i motsatt retning vil rotasjonshastigheten avta.

Den seinere tids pionér når det gjelder YORP-effekten, er *David Rubincam* (f. 1947). I år 2000 utviklet han teorien for kraftmomentet fra YORP-effekten og laget simuleringer som viste hvordan denne effekten påvirker rotasjonsbevegelsen av asteroidene. Et viktig resultat av disse undersøkelsene var at YORP-effekten har størst betydning for små og usymmetriske legemer. Effekten er størst for legemer med bare noen få meters utstrekning.

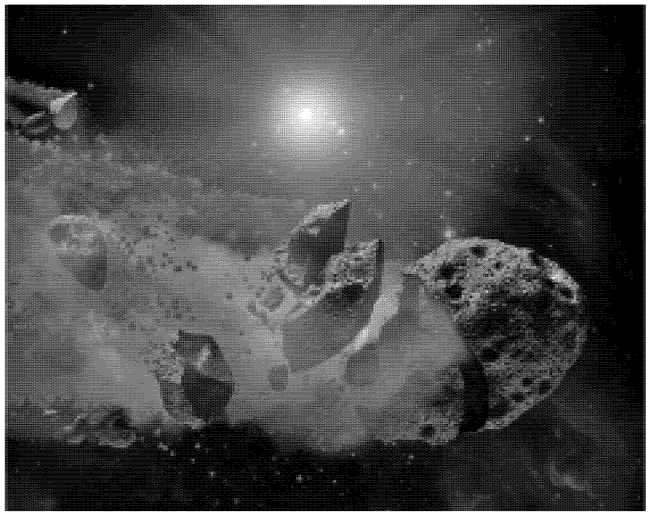
Figur 8 viser hvordan Yarkovsky- og YORP-effektene virker på en asteroide som roterer i samme retning som posisjonsvektorens rotasjon på grunn av banebevegelsen. Asteroiden driver da utover i retning vekk fra sola, og rotasjonshastigheten øker.



Figur 8. Yarkovsky-effekten endrer banebevegelsen, og YORP-effekten endrer rotasjonsbevegelsen til et legeme i solsystemet. Endringene er mer merkbare desto mindre legemene er.

Observasjon av YORP-effekten

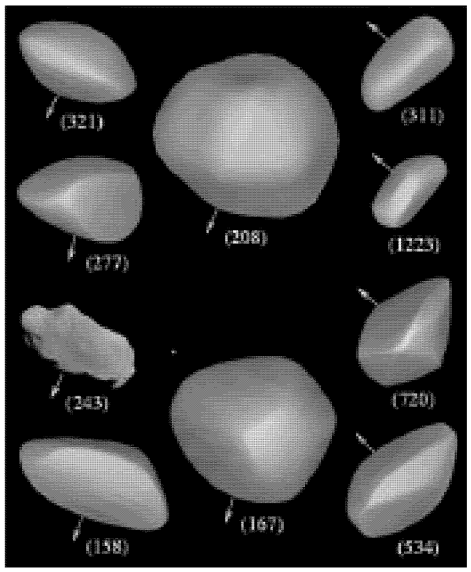
Man fikk en indirekte bekreftelse av YORP-effekten i 2003. Over en periode på 10 år ble det gjort nøyaktige observasjoner av ti asteroider i Koronis-familien, som trolig stammer fra en kollisjon mellom to svære legemer for omtrent to milliarder år siden (figur 9).



Figur 9. Illustrasjon av hvordan Koronis-familien av asteroider kan ha blitt dannet.

Spesielt ble retningene til spinnaksene bestemt. Resultatet var overraskende. Spinnaksene var på ingen måte tilfeldig fordelt som man kanskje kunne vente. Fire asteroider som roterte i samme retning som rotasjonen av posisjonsvektoren, hadde omtrent samme retning, og de resterende asteroidene som roterte i motsatt retning, hadde også sammenfallende retninger av rotasjonsaksene (figur 10).

Det var litt av en utfordring å forstå disse dataene. David Vokrouhlicky, David Nesvorny og William Bottke, som hadde jobbet mye både med Yarkovsky-effekten og YORP-effekten, tok imot utfordringen. De gjorde omfattende beregninger og viste hvordan YORP-effekten påvirket retningene til de observerte asteroidenes spinnakser. Spinnaksene begynte å presesere på samme måten som aksen til en snurrebass som sakker av. De fant at det oppsto et resonansfenomen mellom spinnaksenes bevegelse og asteroidenes banebevegelser, som endte med at retningene til spinnaksene ble fiksert i rommet. Denne overraskende ensrettingen av spinnaksene til de roterende asteroidene lot seg forklare som et resultat av en kombinert YORP-effekt og en gravitasjonell effekt.



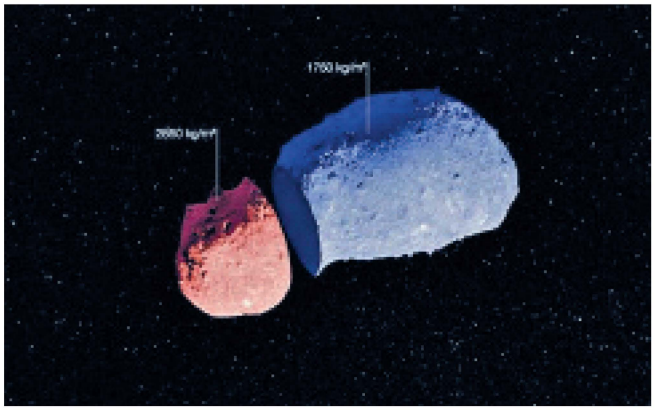
Figur 10. Her vises retningen av spinnaksene for de ti observerte medlemmene av Koronis-familien av asteroider.

Eksistensen av YORP-effekten ble mer direkte bekreftet ved observasjoner gjort av to uavhengige grupper av astronomer, med resultater som ble rapportert i 2007. Den ene gruppen ble ledet av den finske astronomen M. Kaasalainen. De analyserte observasjonsdata av asteroiden Apollo. Den spinner med en periode på 3 timer. Observasjonene viste at i løpet av 25 år hadde asteroiden rotert 125 grader lengre enn om den hadde rotert med den rotasjonshastigheten den hadde til å begynne med. Den andre gruppen ble ledet av briten S.C. Lowry og P.A. Taylor. De fant at en asteroide kalt 54509 YORP, i løpet av 4 år hadde rotert 250 grader lengre enn om den hadde rotert med konstant hastighet. Den har en rotasjonsperiode på 12 minutter. De regnet ut at rotasjonsbevegelsen hadde en vinkelakselerasjon på $2 \cdot 10^{-4}$ grader per dag i annen. Beregninger viste at begge disse observerte rotasjonsøkningene kunne forklares som et resultat av YORP-effekten.

YORP-effekten er nylig blitt brukt til å måle tetthetsfordelingen i en asteroide. En gruppe astronomer, igjen under ledelse av Lowry, har målt hvordan rotasjonshastigheten til asteroiden 25143 Itokawa har endret seg. Den har en rotasjonsperiode på 12 timer.

Forskerne målte rotasjonshastigheten ved å observere hvordan asteroidens lysstyrke varierte med tiden. De kjente asteroidens størrelse og fasong. Dermed kunne de beregne virkningen av YORP-effekten på asteroidens rotasjon. Resultatene av beregningene og målingene ble rapportert 5. februar 2014. De viste at YORP-effekten forårsaker en minskning av rotasjonsperioden til denne asteroiden

med 0,045 sekund per år. Sammenholdt med observasjonene av asteroidens fasong ga dette informasjon om tetthetsfordelingen i asteroiden, der de antok at den er satt sammen av to deler med konstant tetthet i hver del. Den ene delen har en tetthet på 2,8 g/cm^3, og den andre 1,7 g/cm^3. Trolig består asteroiden av to legemer som har kollidert og smeltet sammen (figur 11).

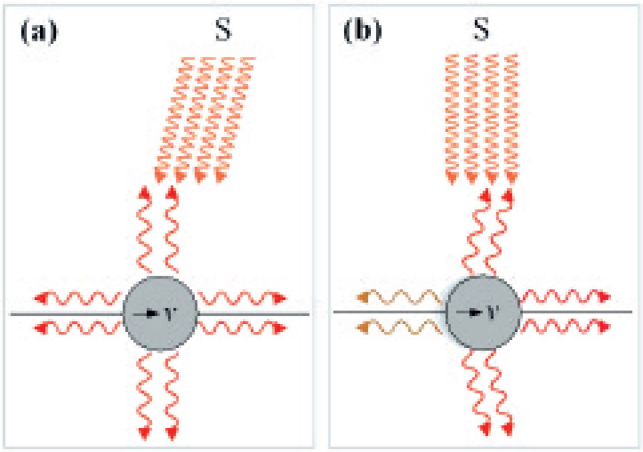


Figur 11. Datamanipulert fotografi, tatt med hjelp av den japanske romsonden Hayabusa, av asteroiden 25143 Itokawa. Det viser de to delene med minst og størst tetthet.

Poynting-Robertson-effekten

Det er også en kraftvirkning på et kuleformet, ikkeroterende legeme fra solstrålingen som treffer det og strålingen det selv sender ut. Denne har sammenheng med legemets banebevegelse, og er illustrert i figur 12.

I 1903 undersøkte den britiske fysikeren J.H. Poynting (1851–1914) den dynamiske virkningen på



Figur 12. Illustrasjon av Poynting-Robertson-effekten. Til venstre vises innstråling fra sola og utstråling fra en asteroide observert i asteroidens hvilesystem, og til høyre den samme situasjonen observert i solas hvilesystem.

bevegelsen til små legemer og partikler i solsystemet av strålingstrykket fra solstrålingen, samt strålingsreaksjonen fra strålingen som legemene selv sender ut. Poynting viste at strålingen virker med en resultantkraft mot legemets bevegelsesretning og en komponent som virker utover fra sola. Den siste komponenten er rett og slett trykk-kraften fra strålingen på asteroiden. Den amerikanske fysikeren H.P. Robertson (1903–1960) ga en detaljert matematisk beskrivelse av fenomenet i 1937.

Kraftkomponenten mot bevegelsesretningen vil sammen med gravitasjonskraften bidra til at små partikler kan drive innover til tross for det utoverrettede strålingstrykket. Det er denne innoverrettede tendensen som kalles *Poynting-Robertson effekten.*

Poynting-Robertson effekten forklares på to forskjellige måter i legemets og i solas hvilesystemer (figur 12). I solas hvilesystem beveger legemet seg i bane rundt sola. Men i legemets hvilesystem beveger sola seg i motsatt retning mens legemet er i ro. I dette systemet sender legemet ut stråling med lik intensitet i alle retninger. Men strålingen fra sola beveger seg litt på skrå inn mot legemet. Dermed produserer strålingstrykket en resultantkraft i solas bevegelsesretning.

I solas hvilesystem har solstrålingen som treffer legemet ingen bevegelseskomponent i legemets bevegelsesretning. Men fordi legemet beveger seg, sender det ut stråling med litt større intensitet i retning forover enn bakover. Dette skyldes to forhold. Det ene er den såkalte frontlyseffekten: Hvis et legeme sender ut like mye stråling i alle retninger observert i legemets hvilesystem, sender det ut mer stråling forover enn bakover observert i et referansesystem hvor legemet beveger seg. Strålingen får en bevegelseskomponent i legemets bevegelsesretning. Den andre effekten er dopplereffekten. I solas hvilesystem observeres det at strålingen legemet sender ut i retning forover har litt høyere frekvens enn strålingen det sender ut bakover. Dermed blir det en bakoverrettet strålingsreaksjon. Denne effekten er den samme uansett hvilket referansesystem den beskrives i, men forklaringen avhenger av referansesystemet. I asteroidens hvilesystem kommer kraften på legemet fra solstrålingen som treffer det. Men i solas hvilesystem kommer kraften fra strålingen legemet selv sender ut.

Oppsummering

Alle legemer har termisk treghet. Vi ser det tydelig på jorda hvor det er varmere mellom klokka 2 og

3 enn klokka 12. Dette gjelder også på roterende asteroider og gjør at utstrålingen fra asteroidene gir en strålingsreaksjon med en komponent i bevegelsesretningen. Hvis asteroiden roterer i samme retningen som dens posisjonsvektor, sendes mest stråling bakover, og da peker den totale strålingsreaksjonen forover. Asteroiden får da tilført energi og flytter seg utover fra sola. Med motsatt rotasjonsretning tapper Yarkovsky-effekten energi fra asteroiden og gir den en drift innover.

For asteroider med uregelmessig fasong kan strålingen føre til et kraftmoment som endrer asteroidens rotasjonshastighet, og i blant også rotasjonsaksens retning. Alt dette kalles YORP-effekten.

En tredje strålingseffekt som verken har sammenheng med rotasjon eller uregelmessig fasong, er Poynting-Robertson-effekten. Det er en kraft fra solstrålingen på en asteroide som avhenger av asteroidens fart i forhold til sola. Denne effekten forklares i asteroidens hvilesystem ved at solstrålingen kommer inn litt på skrå forfra, mens den i solas hvilesystem forklares som et resultat av at asteroiden sender ut mer strålingsenergi i retning forover enn bakover.

Alle disse effektene er kraftvirkninger av stråling fra sola og stråling som asteroidene selv sender ut. Det er små effekter, og det tar lang tid før man kan måle noen virkning av dem. Men de virker hele tiden, og over tidsintervaller på mange år kan de ha observerbar betydning for astroidenes banebevegelse, rotasjonsbevegelse og for rotasjonsaksens orientering.

Referanser

1. G. Beekman: *I.O. Yarkovsky and the discovery of 'his' effect.* J. Hist. Astron. **37**, 71–86 (2006)
2. W.F. Bottke, D. Vokroulick'y, D.P. Rubincam og D. Nesvorn'y *The Yarkovsky and YORP Effects: Implications for Asteroid Dynamics.* Annu. Rev. Earth Planet. Sci. **34**, 157–191 (2006)

Forøvrig finnes nyttig informasjon om disse effektene på (engelsk språklig) Wikipedia.

∞

Solcellerevolusjon med perovskitt

Emil J. Samuelsen *

Skal solceller kunne bli ei hovudkjelde for å dekke energibehovet vårt, er det nødvendig at dei blir enklare og billigare å laga enn dei vi har i dag, samtidig som virkningsgraden må vere høg. Nyoppdaga metall-organiske sambindingar med perovskittstruktur kan bli slike framtidige cellemateriale. Dei kan framstillast av ordinære, rimelege og lett tilgjengelege materiale, og framstillinga kan skje med ukompliserte prosessar.

Det føregår stadig jakt etter betre og rimelegare solceller. I dag er det silisiumbaserte solceller som dominerer marknaden. Med *krystallisk silisium* kan ein oppnå virkningsgrad over 20 % for konvertering av strålingsenergi til elektrisk energi, mens celler med *amorft* silisium er billegare, men gir mindre utbytte, opptil 15 %. Betydeleg høgre virkingsgrad kan ein få med celler basert på halvleiarmateriala GaAs, CdTe, $CuInSe_2$ og andre meir eksklusive materiale, men dei er dyrare enn Si-cellene.

Solcelleenergi blir gjerne kalla for fotovoltaisk energi, og celleutviklinga for *fotovoltaikk.* Ein viktig tilvekst til fotovoltaikken er utviklinga av organisk baserte celler.[1] Dei har fordelen av å vere billegare å lage og kan også gjerast meir fleksible enn Si-cellene, som er svært sprøe. For slike materiale har utviklinga vore god ved at utbyttet stadig har blitt betre. For få år sidan opererte ein med tal rundt 5–6 %, mens nyutvikling har gitt utbytte på opptil 12 %.

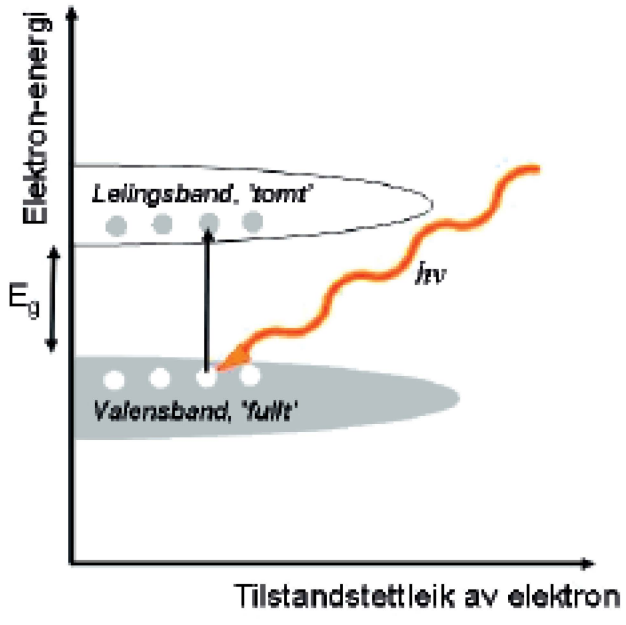
Ein spesiell type solceller er dei som går un-

* Institutt for fysikk, NTNU, Trondheim.

der namnet "*Dye-sensitized solar cells*" (fargestoff-stimulerte solceller), eller også Gräzelceller etter oppfinnaren, Michael Gräzel frå *Ecole polytechnique federale* i Lausanne i Sveits. "Fargestoffet" kan vere ulike organiske eller uorganiske tilsettingar som skal framhjelpe ladningsseparasjonen i solcellene. Under vidareutvikling av denne celletypen har ein nyleg funne fram til fargestoff som har vist seg å ha sjølvstendige gunstige halvleiareigenskapar, og dette gir optimisme om heilt nye, rimelege og effektive solceller, som vi skal sjå på her.

Solcellefysikk

Solceller er kvantefysikk i praksis. Det aktive materialet i dei er halvleiarar. I grunntilstanden for halvleiarar, gjerne kalla *valenstilstanden*, er elektrona bundne til dei individuelle atoma, men ved tilførsle av lyskvant med høg nok energi, kan ein få overgang til *eksiterte* tilstandar der elektrona er frigjorde frå atoma og kan vandre omkring i materialet omtrent som dei frie elektrona i metall. Denne tilstanden blir kalla *leiingstilstanden* for halvleiaren. Elektrona vil etterlate seg positive ladningar på atoma dei forlèt, kalla *hol*. Slike hol kan også flytte på seg ved at elektron frå naboatom hoppar inn i holet, og ved det skapar eit nytt hol på atomet dei kom frå. Energidifferansen mellom leiingstilstand og grunntilstand går under nemninga *energigap*, E_g.



Figur 1. Energiforhold for halvleiar. Eit lyskvant eksiterer halvleiaren og skaper leiingselektron (e^-) i leiingsbandet som var tomt, og etterlet positive hol (p^+) i valensbandet når lyskvantenergien er større enn bandgapet.

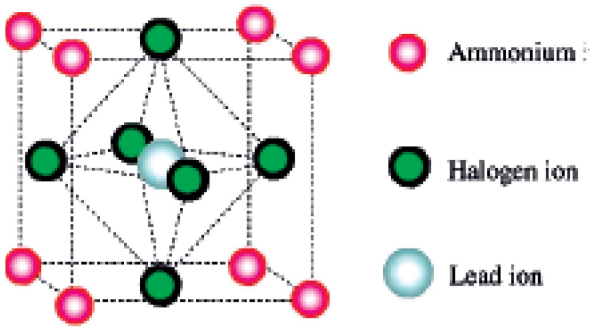
Lys med kvanteenergi lik eller større enn energigapet, er altså i stand til å eksitere halvleiaren så det oppstår "frie" elektron og hol. Men for at det skal bli elektrisk straum av det, må ein få den negative ladninga (e^-) til å skilje lag med det positive holet (p^+). Her nyttar ein ulike metodar for ulike celletypar. For Si-celler, der Si-skivene er mange titalls mikrometer tjukke, nyttar ein ulik *doping* av halvleiaren som skapar eit indre elektrisk felt. I vårt aktuelle tilfelle er halvleiarlaget svært tynt ($\sim 200-500$ nm, sjå seinare), og ladningsseparasjon skjer ved kontakt mot e-leiande (n-leiande) elektrodeoverflate på ei side (anoden) og p-leiande elektrodeoverflate på den andre sida (katoden).

Nye og effektive halvleiarar

Dei nye halvleiarmateriala blei oppdaga under arbeidet med vidareutvikling av Gräzelceller. I 2009 blei ein ny type fargestoff, *metyl-ammonium-bly-halogen-perovskittar*, prøvd.[(2)] Kjemisk samansetning og struktur blir forklart nedanfor. Desse stoffa er sterkt farga, og har såleis svært høg lysabsorpsjonsevne, og har også bra elektrisk leiingsevne. I tillegg er bandgapsverdien slik at dei kan utnytte ein stor del av solspektret og gi ut ei fotospenning på nær ein volt. Si-celler gir ut spenningar på om lag 0,5 V per celle. Best utbytte og enklast framstilling får ein når perovskitten kan leggast på direkte som eit tynt, homogent lag.

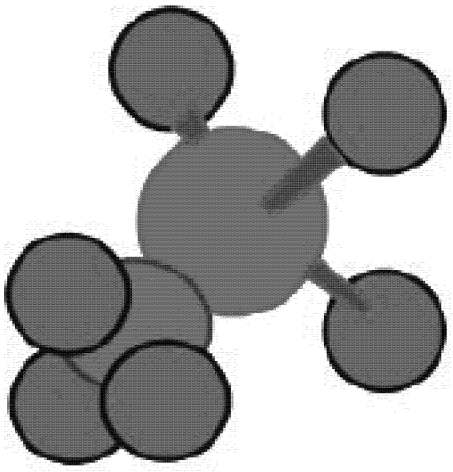
Metylammonium-bly-halogen-perovskittar (MABHP)

Desse nye fargestoffa har perovskittstruktur, vist i figur 2, for ein kubisk variant. I ammoniumionet (NH_4^+) i dette materialet er eitt av hydrogenatoma



Figur 2a. Krystallstrukturen av perovskitt. Figuren viser repeterande eining i materialet, med metyl-ammonium ($CH_3NH_3^+$) i hjørna, bly (Pb^{2+}) i sentret og halogen (X^-, dvs. Cl^-, I^- eller Br^-) på alle dei seks sideflatene.

bytt ut med den organiske atomgruppa metyl (CH_3) til $NH_3CH_3^+$, som vist i figur 2b. Det gir molekylet ei usymmetrisk form og eit elektrisk dipolmoment.



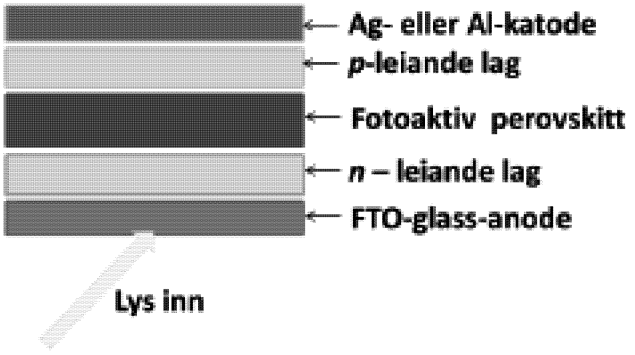
Figur 2b. Metylammonium-ionet $NH_3CH_3^+$: Oransje N, brun C og grøne H.

Halid er dei negative iona av halogenatoma; både klorid Cl^-, bromid Br^- og iodid I^- blir brukt, og også blandingar av dei. Celleeigenskapane varierer ein del med kva for halid ein nyttar. Bromidet er rapportert å vere kubisk ved romtemperatur, mens iodidet har ei tetragonal form. Densiteten er 4,0 g/cm^3. Perovskittar er kjende som stoff som kan eksistere i mange ulike krystallformer, ofte med faseovergangar mellom ulike former ved ulike temperaturar, noko som er med på å gi dei mange varierande og interessante eigenskapar.[3] I_3-perovskitten har ein overgang ved 150 K frå ein ortorombisk lågtemperaturfase til den tetragonale, som går over til kubisk fase ved 330 K (57 °C). Bandgapet er på 1,51 eV. Truleg har metylammoniumionet uordna orientering i kubisk fase, og delvis uordna i tetragonal fase.

$CH_3NH_3PbX_3$-materiala (X = Cl, I eller Br) krystalliserer godt og er halvleiarar med bandgap på 1,5–1,7 eV. Dei har svært høg absorpsjonsevne for lys med energi større enn bandgapet, svarande til bølgjelengder opptil 730–825 nm, altså stordelen av det synlege lysspektret. For eksempel vil 1 μm av iodidet absorbere 98 % av lys med bølgjelengde 700 nm. Dette opnar for at ein kan vente seg godt lysutbytte av solceller med nokre nanometer-tynne halvleiarsjikt. Ein har då også etter få års forskingsinnsats greidd å forbetre utbyttet (virkningsgrad) frå rundt 3 % i 2009 til over 15 % i 2013, som vist i figur 4. Endå nyare forsking rapporterer utbytteverdiar heilt opp til 19,3 %.[4] Forskarane har tru på at betydeleg høgre verdiar kan vere muleg.

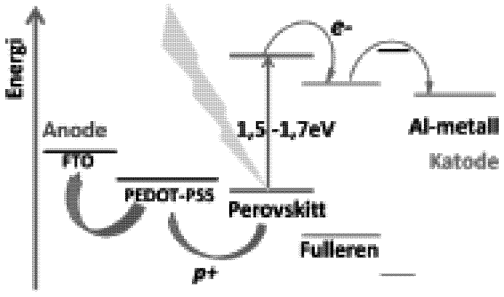
Solceller basert på MABHP

I figur 3a viser vi ei prinsippskisse av ei MABHP-solcelle. Den totale celletjukkleiken kan vere nede i 1,5 μm. Lyset kjem inn gjennom FTO-glas (fluorisert tinnoksid) og eit gjennomsiktig elektron-leiande lag, t.d. polymeren PEDOT (poly-etylen-dioksydtiofen) dopa med polystyrensulfonat PSS, og treffer det aktive tynne laget av MABHP. Lyset eksiterer eit bunde elektron til ein tilstand der det blir i stand til å forflytte seg, blir "leiande", som illustrert i figur 3b. Frigjorde elektron e^- diffunderer til anoden gjennom det n-leiande laget, og "positive hol" p^+ går til katoden via eit tynt p-leiande lag, som kan vere eit fullerénkompleks (C_{60}).



Figur 3a. Prinsippskisse av ei perovskittbasert solcelle.

Ein opplagt fordel ved celler med lagdelt konfigurasjon, som i figur 3, er at framstillingsmåten kan gjerast enkel: Ein kan starte med ei FTO-glassplate og deponere på dei ulike laga etter tur, og det kan skje ved romtemperatur, eventuelt med litt varmebehandling til slutt. Liu og medarbeidarar[5] studerte celler med klorid-iodid-blandingar i MABHP, og fann at virkingsgraden kunne variere mykje med måten det aktive perovskittlaget vart påført. Såleis fekk dei ein virkningsgrad på heile 15,4 % ved påføring frå dampfase jamført med påføring frå oppløysing som gav det halve. Det

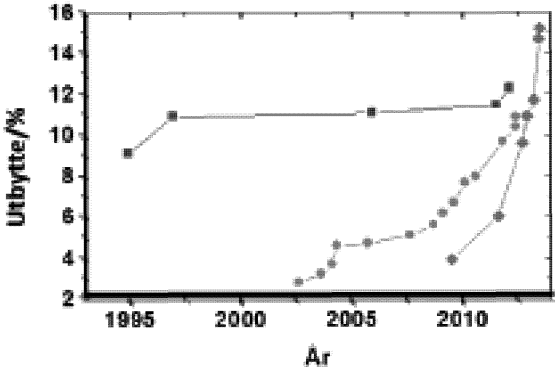


Figur 3b. Dei elektroniske energinivåa på tvers av cella frå anodesida til katodesida, med elektron (e^-)- og hol (p^+)- forflyttingane etter eksitasjon med lyskvant inn.

viser seg at ein viktig forskjell er at lagstjukkleikane blir jamnare med den første metoden, og den andre fører til store variasjonar som truleg påverkar utbyttet. Målte tjukkleikar var 330 nm, og mellom 50 og 410 nm for to "like" celler etter dei to metodane. Total celletjukkleik var på berre 1,6 μm. Frå røntgendiffraksjon kunne dei få gode estimat over storleiken på dei krystallinske korna av perovskitten, og dei fann for begge tilfella at krystalliniteten er svært god og mykje betre enn det som er tilfelle for polymerar i organiske solceller.

Fordelar og ulemper

Perovskittbaserte solceller er for tida sterkt "på mote", fordi feltet er så lovande, og dessutan gir ut spenningar på over ein volt. Figur 4 viser at tidsutviklinga av oppnådd virkingsgrad har vore bratt dei siste to åra, og peikar kraftig oppover.



Figur 4. Utviklinga av straumutbyttet for tre ulike celletypar: blå kurve – Grätzelceller med TiO_2, grøn kurve - organisk-polymerbaserte celler, raud kurve – perovskittbaserte celler. Den siste er på rask veg oppover. Nyaste tal i mai 2014 er på opptil 19,3 % utbytte.[4]

Grunnen til det gode utbyttet er utan tvil å finne i det at perovskitten er så godt krystallinsk. Det gjer at levetida og dermed diffusjonslengda (diffusjonsfriveg) blir lang for elektronet og det positive holet som blir skapt ved absorpsjonen av kvart lyskvant, slik at sannsynet er stort for at dei rekk å diffundere mot kvar sin elektrode utan å gå tapt i rekombinasjon, som berre gir varmetoning, men ikkje straum. Fotoluminiscensstudiar av iodid-klorid-celler viser frivegslengder på over 1000 nm, dvs. lengre enn tjukkleiken av perovskittlaget. For reine iodidceller er frivegsverdiane noko mindre, men likevel mykje lengre enn i dei polymerbaserte organiske cellene. Korfor blandingshalid gir betre verdiar enn rein iodid har forskarane enno ikkje svar på.

Det er heller ikkje klargjort om metylgruppa (CH_3) i ammoniumionet spelar ei avgjerande rolle for eigenskapane. Energibandberekningar[6] viser eit bandbilde som i stor grad er bestemt av PbX_6-oktaedra i strukturen, og er i liten grad påverka av MA-gruppene. Venteleg skulle ei slik usymmetrisk sidegrein føre til større posisjonsfluktuasjonar i materialet, ein slags "kunstig høgre temperatur" som kan påverke den elektriske leiingsevna i halvleiaren.

Det at celleframstillinga er enkel, og kan skje ved ordinære temperaturar og ved deponering frå oppløysing eller direkte pådamping, har vi alt nemnt. Eit anna viktig poeng er at perovskittane består av billege og ordinære kjemikaliar. Ingen eksotiske, dyre grunnstoff er i bruk.

Stabilitet mot luft og fukt er til no ikkje avklart. Truleg må det aktive materialet kapslast inn. Ei innvending mot perovskittcellene kan vere at tungmetallet bly inngår. Faktisk kan bly i perovskitten erstattast av metallet tinn (Sn), men tinnbaserte celler er førebels ikkje så mykje utforska som dei med bly. Ein skal likevel vere merksam på at mengda av bly det her er snakk om, er bortmot forsvinnande jamført med dei mengdene bly som framleis blir brukt i blybatteri for straumlagring. Ein kan lett rekne ut at med 200 nm tjukke perovskittlag, vil der vere 0,31 g bly per kvadratmeter celleoverflate. Dette kan jamførast med at eit blybatteri for eit lite solcelleanlegg på 100 Ah veg 32 kg, der anslagsvis halvparten er bly, altså så mykje bly som det vil vere i 50 000 m^2 perovskittsolcelleoverflate.

Avslutning

Denne artikkelen gir oversikt over samansetjing og fysisk utvikling av solceller basert på metylammoniumperovskittar av bly-halogen. Lett tilgjengelege råstoff, enkel tillaging og god effektivitet, som no nærmar seg 20 %, gjer desse cellene særs interessante for framtidig masseframstilling. Forskingsmagasinet *Science* reknar denne utviklinga som eit av dei viktigaste forskingsresultata i 2013.

Referansar

1. Emil J. Samuelsen og Dag W. Breiby: *Solceller av organisk materiale.* Fra Fysikkens Verden **71**, Nr. 2, 47–51 (2009)
2. A. Kojima, K. Teshima, Y. Shirai, T. Miyasaka: *Organometallic halide perovskites as visible-light sen-*

sitizers for photovoltaic cells. J. Am. Chem. Soc. **131**, 6050–6051 (2009)

3. Emil J. Samuelsen: *Ein Materialeigenskap aom kan vere normal, gigantisk eller kollosal.* Fra Fysikkens Verden **73**, Nr. 2, 63–67 (2011)
   og
   *Perovskittar, rikeleg i naturen, nyttig i teknologien.*Naturen **135**, Nr. 2, 50–58 (2011)
4. Material Research Society Meeting, San Francisco 21–25 April 2014: Science **344**, 458 (2. mai 2014)
5. M. Liu, M.B. Johnston, H.J. Snaith: *Efficient planar heterojunction perovskite solar cells by vapour deposition.* Nature **501**, 395–398 (2013)
6. T. Baikie, Y. Fang, J.M. Kadro, M. Schreyer, F. Wei, S.G. Mhaisalkar, M. Graetzel, T.J. White: *Synthesis and crystal chemistry of perovskite ($CH_3NH_3PbI_3$).* J. Mater. Chem. A **1**, 5628–5641 (2013)

∞

Gravitasjonsbølger fra universets begynnelse?

Øyvind Grøn *

Med observasjonsutstyr på Sydpolen har en internasjonal forskergruppe, BICEP2, oppdaget en type polarisasjon, kalt B-moder, i den kosmiske mikrobølgebakgrunnsstrålingen. De hevder at 80 % av denne polarisasjonen skyldes gravitasjonsbølger produsert av kvantefluktuasjoner under inflasjonsfasen som inntraff før universet var 10^{-33} s gammelt, mens 20 % skyldes støv strålingen har passert gjennom på vei til jorda. BICEP2-signalet kan derfor gi oss utsikt til den første lille brøkdelen av et sekund i universets historie. Men usikkerheten i støvets bidrag til polarisasjonen er stor, og det er nødvendig med bekreftelser fra andre observasjoner, i særdeleshet fra Planckprosjektet, før vi kan si at det er oppdaget spor av gravitasjonsbølger fra inflasjonsfasen i den kosmiske bakgrunnsstrålingen.

Standardmodellen for universet

Tolket i lys av relativitetsteorien har observasjoner gjort de siste 30 årene ledet til en teori om hvordan universet ble dannet og har utviklet seg. Det er konstruert en såkalt standardmodell for universet der bare 5 % av innholdet består av vanlig materie og elektromagnetisk stråling, mens 25 % består av mørk materie og 70 % er mørk energi.(1) Vi vet ennå ikke hva den mørke energien, eller den mørke materien, er for noe.

Universet ekspanderer. Fra målinger av de nåværende avstandene og av ekspansjonshastigheten kan man regne ut at de kosmiske avstandene var svært små for 13,8 milliarder år siden. Man mener at universet oppsto på denne tiden i en kosmisk Big Bang-eksplosjon.

Inflasjonsfasen

Kosmologene har en teori for hvordan denne eksplosjonen skjedde. Det kan vises at relativitetsteorien har en bemerkelsesverdig konsekvens. Man kan måle jordas fart gjennom elektromagnetisk energi, f.eks. gjennom den kosmiske bakgrunnsstrålingen. Dopplereffekten gjør at den observerte temperaturen er litt høyere i fartsretningen enn i motsatt retning. Men hvis det finnes en type energi slik at det ikke er noen dopplereffekt – ja, slik at man ikke på noen måte kan måle hvor stor fart jorda har gjennom denne energien, da vil denne energien forårsake frastøtende gravitasjon.(2) Slik energi kalles i vår tid

* Høgskolen i Oslo og Akershus, og Fysisk institutt, UiO.

for mørk energi. Ifølge standardmodellen oppsto universet i en tilstand dominert av mørk energi med enormt stor tetthet. Den tilhørende frastøtende gravitasjonen forårsaket da en voldsom fartsøkning av den kosmiske ekspansjonen.

Denne ekstremt tidlige fasen i universets historie kalles inflasjonsfasen og varte bare i 10^{-33} s. Ekspansjonen universet fortsatt har, skyldes den hurtige ekspansjonen universet fikk i den utrolig kortvarige inflasjonsfasen. Denne fasen har observerbare konsekvenser, f.eks. at den kosmiske mikrobølgebakgrunnen, CMB, har samme temperatur i alle retninger med en nøyaktighet på én titusendels grad. Observasjoner som viste at dette virkelig er tilfelle, hadde ingen god forklaring i Big Bang-modellene for universet uten inflasjon.

Ikke minst viktig er det at inflasjonsscenariet gir en mekanisme som kan forklare universets struktur og spekteret av tetthetsfluktuasjoner som senere ga opphav til galakser og galaksehoper.

Kosmisk mikrobølgebakgrunn

Universet var varmt da det var ungt. Den ordinære materien eksisterte da i form av et plasma med frie protoner og elektroner. Elektronene påvirket den elektromagnetiske strålingen slik at universet var ugjennomsiktig på denne tiden. Men 380 000 år etter Big Bang var temperaturen sunket så mye at protonene greide å fange elektronene og danne nøytrale hydrogenatomer. Dermed forsvant de fleste frie elektronene, og det gjorde at universet ble gjennomsiktig.

Tetthetsvariasjonene som kom fra inflasjonsfasen, eksisterte fortsatt på denne tiden. De satte sitt avtrykk på temperaturen til den kosmiske bakgrunnsstrålingen. Derfor er det ørsmå temperaturvariasjoner i den kosmiske mikrobølgebakgrunnen. De mest nøyaktige observasjonene av disse fluktuasjonene (figur 1) er gjort med Planck-satellitten.

Når vi observerer et objekt ser vi det slik det var da det sendte ut det lyset vi mottar. Vi ser bakover i tid. Jo lenger borte et objekt er, desto lenger bakover i tid ser vi. CMB er vårt vindu til den fjerneste fortid vi har kunnet observere – 13,8 milliarder år tilbake i tid, til en epoke 380 000 år etter Big Bang.

Polarisasjon

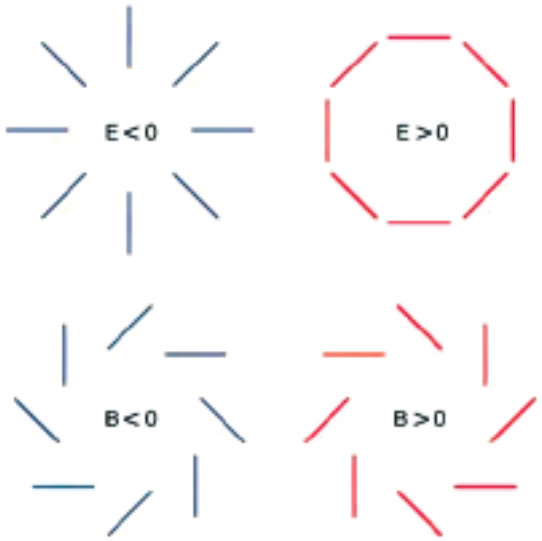
Elektromagnetisk stråling er elektriske og magnetiske felter som svinger vinkelrett på hverandre. Den elektriske feltstyrken betegnes med E og den magnetiske med B. Det elektriske feltet fra en ladning peker radielt inn mot eller ut fra ladningen, mens det magnetiske feltet fra en strøm går rundt strømmen. I et område hvor det er ladning, har det elektriske feltet divergens, men ingen virvel, og i et område med strøm har det magnetiske feltet virvel, men ingen divergens.

Elektromagnetisk stråling kan være polarisert. Det betyr at f.eks. det elektriske feltet svinger i

Figur 1. Temperaturvariasjonene i CMB målt med Planck-satellitten slik de ville ha tatt seg ut dersom vi kunne sett CMB og registrert temperaturforskjellene som bare er noen hundretusendels grader. Poenget med figuren er å vise vinkelutstrekningen av temperaturvariasjonene på himmelen.

bare en retning. Grafisk kan dette markeres med en strek.

Polarisasjon beskrives i ethvert punkt ved et utslag og en svingeretning. Generelt kan et polarisasjonsfelt dekomponeres i to såkalte moder, en som betegnes med E og er virvelfri, og en som betegnes med B og er divergensfri. Disse er illustrert i figur 2.



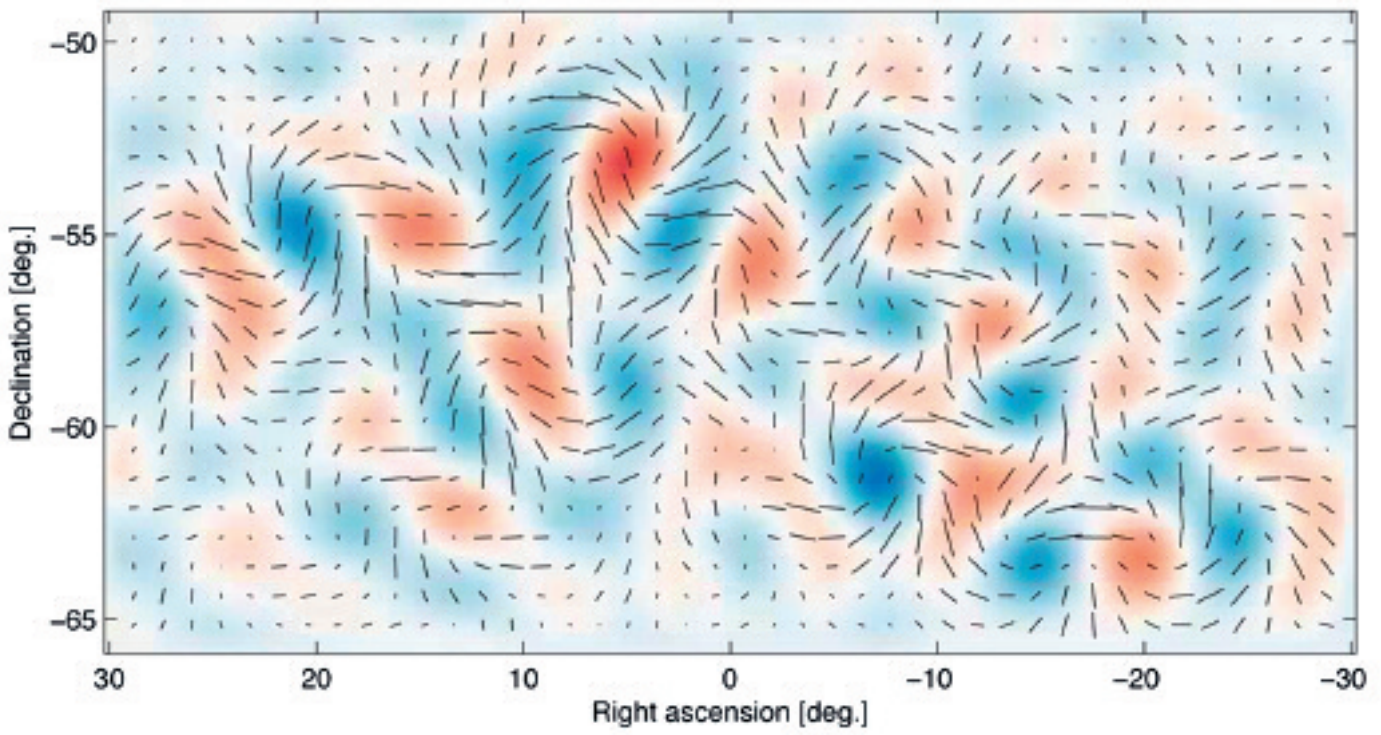
Figur 2. Polarisasjon kan dekomponeres i E og B moder. E-modene er virvelfrie lik et elektrisk felt, og B-modene er divergensfrie lik et magnetfelt. Tetthetsbølger forårsaker bare E-moder, mens gravitasjonsbølger forårsaker både E- og B-moder.

Polarisasjon i den kosmiske mikrobølgebakgrunnen

Hvis vi greier å observere både temperaturfluktuasjonene og polarisasjonsmønsteret i CMB fra denne epoken, får vi spennende informasjon både om tiden da universet ble gjennomsiktig og om den ekstremt tidlige inflasjonsfasen. Teoretikerne har nemlig forutsagt at kvantefluktuasjoner i inflasjonsfasen ville forårsake både tetthets- og gravitasjonsbølger. Disse fungerer som budbringere fra inflasjonsfasen. Når de har reist i 380 000 år, lager de et ørlite "avtrykk" på materiefordelingen i den tiden universet ble gjennomsiktig, og dette forplanter seg videre som et avtrykk av to mønstre i CMB-strålingen, ett av temperaturvariasjoner (figur 1), og ett polarisasjons-mønster som inneholder både E-moder fra tetthetsbølgene, og E- og B-moder fra gravitasjonsbølgene.

Polarisasjon skapt av gravitasjonsbølger fra universets opprinnelse?

Den 17. mars 2014 sammenkalte BICEP2-teamet til pressekonferanse om en mulig oppdagelse av spor etter gravitasjonsbølger som en mener ble produsert i den tidlige inflasjonsfasen av universets historie i polarisasjonsmønsteret i CMB (figur 3). Samtidig lastet de inn en vitenskapelig rapport i preprintarkivet.[3]



Figur 3. Figuren viser B-mode polarisasjonsmønsteret i CMB observert med BICEP2-teleskopet på Sydpolen. De røde og blå feltene viser B-mode-mønstre som dreier henholdsvis med og mot urviseren.

Konsekvenser av BICEP2-målingene

Vi har mange inflasjonsmodeller, men vi har foreløpig hatt for få observasjonsdata til å vite hvilke som representerer en god beskrivelse av det tidlige univers. Skal vi vite hvordan verden var helt i starten, nytter det ikke å ramse opp en drøss med modeller og si at universet kan beskrives ved en eller annen av disse modellene. Vi ønsker å eliminere de som ikke stemmer med observasjonene. BICEP2-observasjonene er et av de første skrittene på vei mot kunnskap om hvilke modeller som ikke stemmer med virkeligheten.

Dersom BICEP2-teamets tolkning av sine polarisasjonsdata stemmer – at de skyldes gravitasjonsbølger – har de åpnet et nytt vindu mot hendelser som skjedde da universet oppsto. I de kommende årene vil andre observasjonsprosjekter som allerede er i gang, komme med sine resultater, og da får vi vite om BICEP2-resultatene blir bekreftet eller ikke. Jeg vil her liste opp noen konsekvenser av resultatene hvis de blir stående.

Allerede dagen etter annonseringen av den mulige oppdagelsen av spor etter gravitasjonsbølger fra universets tilblivelse, kom de første faglige reaksjonene i form av preprint lastet inn i preprint-arkivet på Internett, ArXiv. Frem til midten av juni var det lastet inn over 400 preprints i ArXiv som diskuterte ulike konsekvenser av BICEP2-målingene. Hovedresultatene så langt kan summeres opp i følgende punkter:

1. Det har eksistert en inflasjonsfase. Dette kan ha vært selve Big-Bang eksplosjonen. Den hadde en varighet på 10^{-33} s.
2. Forskerne har vært i tvil om når inflasjonsperioden startet, men har vært av den oppfatning at det må ha skjedd mellom plancktiden, 10^{-43} s og 10^{-35} s etter et tenkt starttidspunkt der temperaturen ville vært uendelig høy. BICEP2-målingene tyder på at inflasjonsperioden har startet ved tidspunktet 10^{-36} s. De har muligens åpnet et vindu helt tilbake til denne tiden.
3. Den typiske energien til en partikkel ved dette tidspunktet er omtrent 12 størrelsesordener større enn den mest energirike partikkel man kan produsere med partikkelakseleratoren LHC ved Cern.
4. Kvantefluktuasjoner produserte gravitasjonsbølger under inflasjonsperioden. Strengt tatt trenger vi en kvantegravitasjon for å ha håp om å kunne gi en realistisk beskrivelse av hvordan kvantefluktuasjoner produserer gravitasjonsbølger. Vi møter her vår egen utilstrekkelighet. BICEP2-observasjonene peker mot fenomener som vi ikke har greid å lage en sterk nok teori til å kunne forstå.
5. Ulike inflasjonsmodeller kan karakteriseres ved hvordan den dominerende mørke energien som lager frastøtende gravitasjon, beskrives. BICEP2-målingene luker ut mange modeller. Men mange modeller er fortsatt akseptable i lys av BICEP2-målingene.
6. BICEP2-dataene synes å favorisere anisotrope universmodeller der en må ta i betraktning forskjellen av temperaturfluktuasjonene i CMB i motsatte himmelretninger, noe som ble oppdaget av H.K. Eriksen og medarbeidere i 2003.[4]

Usikkerhet i målingene

Polarisasjonsmønsteret i CMB som er målt i BICEP2-prosjektet er uhyre svakt. Det er hundre ganger svakere enn temperaturfluktuasjonene målt av Planck-satellitten der temperaturvariasjoner på en hundretusendels grad er målt. Målinger av B-mode polarisasjonssignalet krever en presisjon på en timilliontedels grad. For å oppnå dette ble det brukt 512 detektorer kjølt ned til 0,27 K og plassert på Sydpolen 3000 m over havet på et av jordas kaldeste steder. Ved hjelp av dette utstyret og observasjonsperioder med nesten et halvt år lange "netter", ble det registrert et tydelig signal. Men hva har produsert dette signalet? Det er her teori kommer inn i bildet. Man vet at det er tre hovedkilder til B-mode polarisasjon i CMB. Disse er:

1. Massekonsentrasjoner i universet virker som gravitasjonslinser som avbøyer elektromagnetisk stråling. Beregninger viser at når CMB-stråling passerer gravitasjonslinser, dannes B-mode polarisasjon i den observerte CMB. Slik polarisasjon ble observert i 2013. Ut fra disse observasjonene ble det laget nøyaktige modeller som forteller hvor stort bidrag gravitasjonslinser gir til B-mode-polarisasjonen i CMB ved ulike vinkelutstrekninger.
2. Når stråling passerer gjennom kosmisk støv dannes det også B-mode polarisasjon, men man vet ikke helt hvor mye. Det er laget

modeller for dette også, men på grunnlag av mangelfulle observasjoner. Når Planck-prosjektet kommer med sine resultater i oktober-november, får vi vite mer.

3. Gravitasjonsbølger fra inflasjonsfasen i universets begynnelse kan også lage B-mode polarisasjon. Det er denne polarisasjonen BICEP-prosjektet har annonsert at de har observert. Ifølge deres modeller bidrar B-mode signalet fra forgrunnsstøv med en femtedel av det observerte B-mode-signalet. Men her kan det være en større usikkerhet enn det forskerne var klar over da annonseringen fant sted 17. mars.

I en blogg datert 12. mai, antyder Adam Falkowski at støvet bidrar med så mye B-mode polarisasjon i det observerte signalet at det kanskje ikke blir noe igjen fra inflasjonsfasens gravitasjonsbølger.[5] Falkowski antyder også at BICEP2-teamet har misforstått en figur fra Planck-teamet som de har brukt for å beregne støvets bidrag. Dette benektes imidlertid av to av BICEP-teamets ledere.[6,7,8]

Det er spennende tider. Mitt håp er at BICEP2-resultatet blir bekreftet. I så fall holdes vinduet åpent til inflasjonsfasen i den første brøkdelen av et sekund i universets historie. Da ser vi et mønster som bekrefter inflasjonsfasens eksistens, gravitasjonsbølgers eksistens, og eksistensen av kvantefluktuasjoner som fant sted før universet var 10^{-40} s gammelt. Det ville være trist om dette vinduet blir lukket igjen.

Videre lesning

En mer utførlig versjon av denne artikkelen finnes i *Naturen*, Nr. 3 (2014).

Astronomi Nr. 3, 18-23 (2014) har en fin artikkel om BICEP2-resultatene skrevet av Jostein Riiser Kristiansen.

Det finnes mye interessant materiale på hjemmesiden til BICEP2 der de nye resultatene ble annonsert 18. mars 2014. Internettadressen er: *http://bicepkeck.org/*

Blogger på Internett:
http://www.preposterousuniverse.com/blog/2014/03/16/gravitational-waves-in-the-cosmic-microwave-background/
og
http://profmattstrassler.com/2014/03/18/if-its-holds-up-what-might-bicep2s-discovery-mean/

Referanser

1. Internett: *http://www.mn.uio.no/astro/forskning/aktuelt/aktuelle-saker/astronytt/2013/planck-kosmoresultater.html* Med avrundede tall.
2. Ø. Grøn and S. Hervik: *Einstein's General Theory of Relativity*, p 188, 189 and 272. Springer-Verlag (2007)
3. P.A.D. Ade et al.: *BICEP2 I: Detection of B-mode Polarization at Degree Angular Scales.* ArXiv: 1403.3985.
4. H.K. Eriksen, F.K. Hansen, A.J. Banday, K.M. Gorski, P.B. Lilje: *Asymmetries in the CMB anisotropy field.* Astrophys. J. **605**, 14–20 (2004)
5. A. Falkowski: *Is BICEP wrong?* Internett: *http://resonaances.blogspot.no/2014/05/is-bicep-wrong.html/* 5 mai (2014)
6. A. Cho: *Blockbuster Big Bang Result May Fizzle, Rumor suggests.* Internet: *http://news.sciencemag.org/physics/2014/05/blockbuster-big-bang-result-may-fizzle-rumor-suggests/* 12 mai (2014)
7. L. Grossman: *Rumours swirl over credibility of big bang ripple find.* New Scientist, Internett: *http://www.newscientist.com/article/dn25558-rumours-swirl-over-credibility-of-big-bang-ripple-find.html#.U3pLKk2KBaQ/* 13 mai (2014)
8. J. Achenbach: *Big Bang backlash: BICEP2 discovery of gravity waves questioned by cosmologists.* Internett: *http://www.washingtonpost.com/national/health-science/big-bang-backlash-bicep2-discovery-of-gravity-waves-questioned-by-cosmologists/ 2014/05/16/e575b2fc-db07-11e3-bda1-9b46b2066796_story.html/* 16 mai (2014)

∞

Husk å melde adresseforandring til sekretæren i NFS!

Antimaterie fra pulsarer eller mørk materie?

Sigurd Kirkevold Næss *

Et overskudd av antimaterie i den kosmiske strålingen skaper hodebry for både astronomer og partikkelfysikere. En mulig forklaring er at antimaterien er et biprodukt av mørk materie, en mystisk type materie som teoretisk utgjør mesteparten av massen i universet, men som aldri har blitt observert. Men dette er ikke den eneste mulige forklaringen, og observasjonene har ikke vært gode nok til å skille mellom dem. Nå har et instrument på den internasjonale romstasjonen gjort nye målinger med uovertruffen presisjon. Disse bekrefter overskuddet, men i motsetning til det visse aviser har hevdet, er det fortsatt for tidlig å si at mørk materie er oppdaget.

Mørk materie omtalt i nyhetene

Hvis du fulgte med på forskningsnyheter den første uken i april 2013, la du kanskje merke til overskrifter som disse:

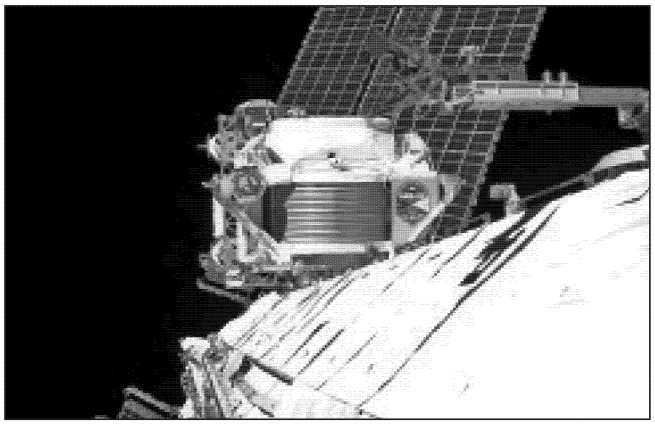
Universets største gåte kan være i ferd med å spaltes (Dagbladet)

Mulig tegn til mørk materie (Forskning.no)

Alpha Magnetic Spectrometer zeroes in on dark matter (BBC)

Det alle disse artiklene referte til var det første settet med målinger fra partikkeldetektoren "*Alpha Magnetic Spectrometer*" (AMS-02), og gåten det var snakk om var noe så fundamentalt som hva universet består av.

Partikkeleksperimenter var på denne tiden i nyhetene også av en annen grunn, da CMS- og ATLAS-eksperimentene ved CERN kunngjorde oppdagelsen av Higgs-partikkelen, som var en av de manglende byggesteinene i vår forståelse av fysikken. Men der detektorene på CERN analyserer partikler fra menneskeskapte partikkelakseleratorer, ser AMS isteden på frittflyvende, men svært energirike partikler i verdensrommet, kalt kosmisk stråling. Siden atmosfæren vekselvirker kraftig med kosmisk stråling, befinner AMS seg utenfor atmosfæren som en del av den internasjonale romstasjonen (se figur 1).



Figur 1. AMS ble montert på utsiden av den internasjonale romstasjonen I 2011, og måler egenskapene til kosmisk stråling med hittil uovertruffen nøyaktighet.[2,3,4]

AMS måler hastighet, ladning og energi til partiklene i den kosmiske strålingen. Det lar den finne ut hva slags partikler detektoren ble truffet av, og gjør det mulig å skille vanlig materie fra antimaterie.[1,3] I resultatene for antimaterien finner man noe rart som kanskje kan gi hint om hva mesteparten av universet består av.

Kosmisk stråling og antimaterie

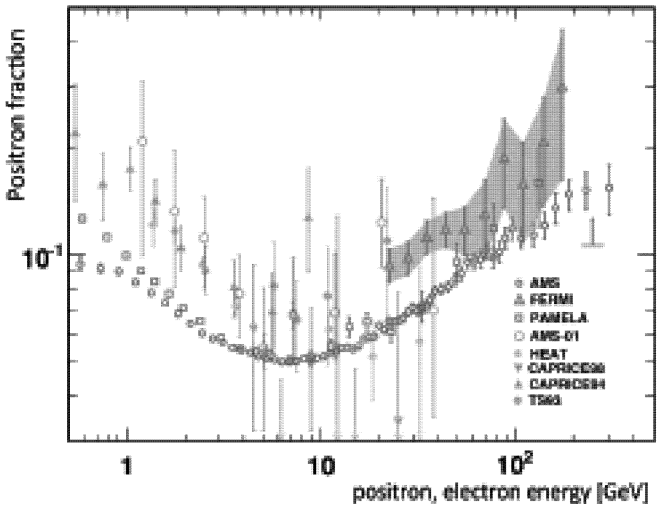
I utgangspunktet skulle man kanskje ikke forvente å se noe antimaterie i det hele tatt, siden universet etter alt å dømme ser ut til å bestå av vanlig materie – det er ikke noen anti-stjerner eller antigalakser der ute. Men partikler med høy nok energi kan produsere par av partikler og antipartikler når de kolliderer, på samme måte som vi ser i partikkel-

* Sub-department of Astrophysics, University of Oxford, UK.

akseleratorer på jorda. Og det er mer enn nok av partikler med høy nok energi til å gjøre dette i den kosmiske strålingen. Så noen av partiklene i den kosmiske strålingen burde være antimaterie, og det er også hva man ser.

Allerede i 1963 ble andelen positroner i den kosmiske strålingen målt, og man fant at det var ca. 10 % så mange positroner som elektroner, noe som passet med at positroner bare ble produsert som biprodukt av kollisjoner, i motsetning til elektroner som også blir produsert direkte.

I tiårene etterpå har målingene gradvis blitt mer nøyaktige og utvidet til å dekke høyere energier, og i 1986 oppdaget man noe merkelig: Hvis positroner bare produseres som biprodukt av kollisjoner med kosmiske protoner, burde man kunne regne ut forventet antall positroner basert på observert antall protoner. Ut fra dette forventet man å se lavere antall positroner i forhold til elektroner jo høyere energi man går til, dvs. en positronandel som faller med energien. Men de nye eksperimentene viste at denne sammenhengen ikke lenger holder når energien overstiger ca. 10 GeV/c^2. Etter det øker positronandelen med energien (se figur 2).



Figur 2. Positronandelen faller først, men begynner så å øke igjen, i konflikt med rådende teorier om opphavet til positronene. Punktene viser målinger fra forskjellige eksperimenter. De små tykke sirklene svarer til de nye AMS-resultatene.[3,4]

Dette slår bena under hypotesen om at positronene bare dannes ved kollisjoner. Det må da finnes en ekstra, ukjent prosess som også bidrar med positroner, en prosess som er uviktig ved lave energier, men begynner å dominere ved energier over 10 GeV/c^2. Dette var brysomt for astrofysikere fordi det ikke så ut til å finnes noen passende kilde til disse positronene. Men det var gode nyheter for partikkelfysikere, som hadde håpet at nettopp noe slikt skulle bli observert.

Mørk materie

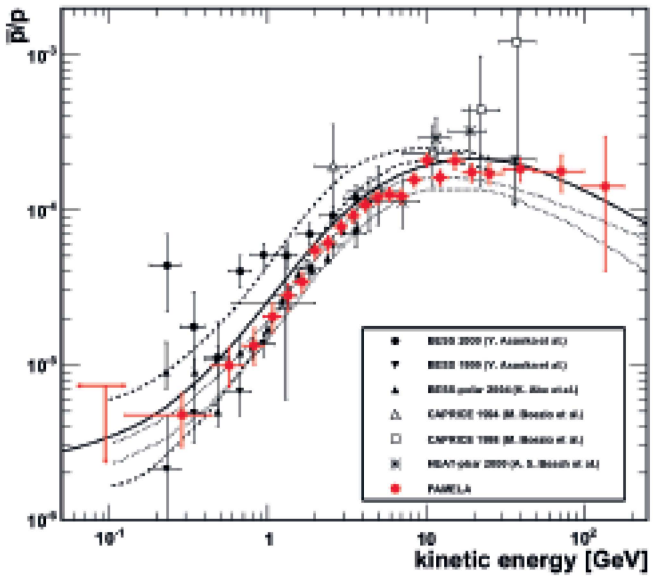
Det har nemlig lenge vært tydelig at den synlige massen vi ser i universet i form av diffus gass og stjerner, ikke er tung nok til å holde galakser og stjernesystemer sammen ved hjelp av tyngdekraften. Ekstra, ikke-lysende materie er nødvendig for å forklare at galakser ikke går i oppløsning, og fra observasjoner av det tidlige universet vet vi at mesteparten av denne mørke materien må være i form av helt ukjente typer partikler.

Partikkelfysikere har forsøkt å lage modeller for hvordan disse ukjente partiklene oppfører seg, og et fellestrekk er at mørk materie-partiklene kan produsere blant annet elektron-positronpar, enten ved radioaktivt henfall, eller ved at to mørk materie-partikler møtes og annihileres. Dette ville produsere positroner med en foretrukken energi svarende til hvilemassen til mørk materie-partiklene med et spektrum som stiger gradvis før denne energien og faller brått etterpå. Så på den ene siden har vi et mystisk overskudd av positroner ved høye energier, og på den andre siden har vi forklaringer på mørk materie som forutsier nettopp et slikt overskudd.

Det er fristende å tolke det første som et bevis på det andre, hvilket i så fall ville indikere en mørk materie-partikkel med masse på minst 100 GeV/c^2, kanskje opp til noen TeV. Og faktisk forventer man ut fra den populære (men hittils ubekreftede) supersymmetri-hypotesen i partikkelfysikken å finne nye partikler med masser i dette området. Så det er forståelig at mange sperret opp øynene da den økende positronandelen ble kjent. Hvis man var heldig kunne man samtidig få en bekreftelse på supersymmetri og en forklaring på mørk materie!

Uenighet

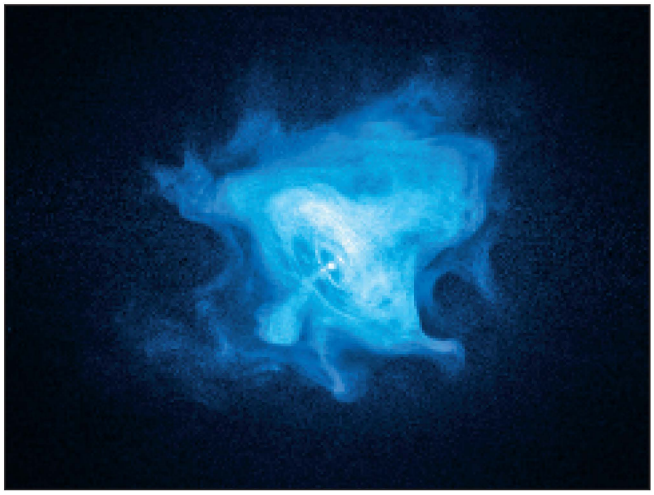
Dessverre er det ikke alt som stemmer med en slik forklaring. De samme teoriene som forutsier at den mørke materien bør produsere positroner og elektroner, forutsier også at den bør produsere mange andre slags partikler, som protoner og antiprotoner, gamma-stråler, etc., og man finner ikke noe tilsvarende overskudd av disse (se figur 3). Nøyaktig hvor mye man burde få av hver av disse partikkeltypene varierer fra modell til modell, men



Figur 3. Andelen protoner som er antipartikler, målt av eldre eksperimenter som PAMELA. I motsetning til for positroner, stemmer alt med forventningene her. Dette setter sterke føringer på modeller for mørk materie: De må produsere mye færre antiprotoner enn positroner, ellers burde PAMELA ha sett et antiprotonoverskudd. AMS har ennå ikke publisert sine nye antiprotonresultater.

det har vist seg å være vanskelig å lage modeller som passer både med positronene og mangelen på anti-protoner og gamma-stråler.[5,6]

Samtidig har det etter hvert dukket opp forslag om hvordan positronene kanskje kan forklares helt uavhengig av mørk materie, likevel. Nøytronstjerner, som f.eks. den i sentrum av Krabbetåken (figur 4), har sterke elektromagnetiske felt som både akselererer elektroner til høye energier og holder dem fanget i spiralformede baner. Ladde partikler som svinger sender ut fotoner i form av såkalt synkrotronstråling, og for veldig energirike elektroner blir også fotonene veldig energirike. Beregninger viser at de faktisk burde ha så stor energi at de spontant kan omdannes til elektron-positronpar med en energifordeling som ser ut til å kunne forklare det mystiske positronoverskuddet.



Figur 4. Lys fra energirike elektroner rundt nøytronstjernen i Krabbetåken. Slike nøytronstjerner er konkurrenter til mørk materie som forklaring på positronoverskuddet i den kosmiske strålingen. Bildet kommer fra ESOs FORS-instrument.

En annen mulighet er at protoner som akselereres av disse feltene, kan kollidere og produsere positroner før de forlater feltet. Da får feltet også en sjanse til å akselerere positronene, som dermed får et annet og mer energirikt spektrum enn man ellers skulle trodd.

En tredje mulighet er at en høyere konsentrasjon av supernovaer langs spiralarmene til Melkeveien fører til en ujevn fordeling av elektroner, hvilket også kan føre til en stigende positronandel.

Kan AMS rydde opp i forvirringen?

Det er tydelig at dette feltet er alt annet enn oppklart, og forskere har derfor ønsket seg bedre data med lavere usikkerhet, høyere energi og om mulig retningsmåling til de kosmiske strålene. *Alpha Magnetic Spectrometer* ble bygget for å oppnå dette; og etter en rekke forsinkelser kom de med sine første resultater på en stor pressekonferanse 3. april 2013. De presenterte der tre hovedresultater:[3]

1. Positronandelen øker gradvis fra 10 GeV/c^2 og pågår fortsatt ved 250 GeV/c^2, der målingene stopper. Men økningen ser ut til å avta mot slutten.
2. Målingene passer veldig godt med en enkel modell som består av standardfordelingen for elektroner og positroner, pluss et felles bidrag til begge to ved høy energi.
3. Positronandelen ser ut til å være retningsuavhengig, men presisjonen på disse målingene er ikke så veldig høy.

Det at en så enkel modell passer så godt tyder på at alle de ekstra positronene produseres av samme mekanisme og ikke er et resultat av mange forskjellige mekanismer som hver bidrar litt, og retningsuavhengigheten legger føringer på forklaringer basert på noen få lokale kilder. Men målingene går dessverre ikke høyt nok i energi til at en kan avgjøre hvilket av de forestlåtte alternativene som eventuelt er den riktige forklaringen.

Mer data i vente

Disse resultatene representerer imidlertid bare 10 % av dataene som vil bli samlet inn i løpet av de neste årene, og de vil også tillate en å gå opp til en energi på 350 GeV/c^2. Pressemeldingen sier:

"den eksakte formen på spekteret [...] utvidet til høyere energi, vil til syvende og sist avgjøre om dette spekteret kommer fra kollisjoner mellom mørk materie-partikler eller fra pulsarer i galaksen. Det høye presisjonsnivået til dette datasettet viser at AMS snart vil oppklare denne saken" (4)

Men dette er nok å ta litt hardt i. Det er store usikkerheter involvert både i de astrofysiske og de partikkelfysiske forklaringene på positronoverskuddet, som gir dem en god porsjon slingringsmonn til å tilpasse seg til selv veldig detaljerte målinger av positronfraksjonen. Det er derfor ikke sikkert at man ville kunne avgjøre dette selv om man hadde hatt perfekte målinger opp til langt høyere energi enn det AMS kommer til å gi. Så avisoppslagene om at AMS har knekt mørk materie-nøtten er nok overdrevne.

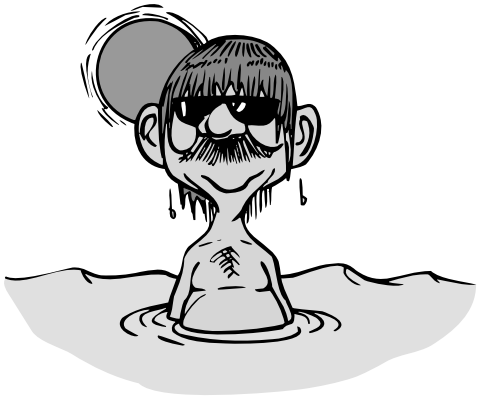
Dette betyr likevel ikke at AMS ikke har potensiale til å oppdage hva mørk materie er. AMS måler nemlig ikke bare forholdet mellom positroner og elektroner, den måler også mengden av protoner, antiprotoner og andre lette atomkjerner, som deuterium, og det er ved å sammenligne disse målingene man lettest kan skille modeller for mørk materie-annihilasjon og -henfall fra hverandre, og fra andre, mindre eksotiske forklaringer som nøytronstjerner.

Positronandelsmålingen var bare den første av en serie med AMS-målinger som kan kaste lys over egenskapene til mørk materie. Men foreløpig er situasjonen ganske dunkel.

Referanser

1. Internett: *http://en.wikipedia.org/wiki/Alpha_Magnetic_Spectrometer*
2. S. Coutu : *Positrons Galore.* Physics **6,** Artikkel 40 (2013)
3. AMS Collaboration: *First Result from the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station: Precision Measurement of the Positron Fraction in Primary Cosmic Rays of 0.5–350 GeV.* Phys. Rev. Letters **110,** 141102 (2013)
4. AMS Collaboration: *First Results from the Alpha Magnetic Spectrometer (AMS) Experiment,* press release, *http://www.ams02.org/wp content/uploads/2013/04/Press_AMS_en.pdf*
5. A. Falowski: *Resonaances: First results of AMS-02.* Blog, *http://resonaances.blogspot.co.at/2013/04/first-results-of-ams-02.html*
6. M. Strassler: *Of Particular Significance: AMS Presents Some First Results on Cosmic Rays and Dark Matter,* blog, *http://profmattstrassler.com/2013/04/03/ams-presents-some-first-results/*

∞



God sommer!

Grafén i fokus

Emil J. Samuelsen *

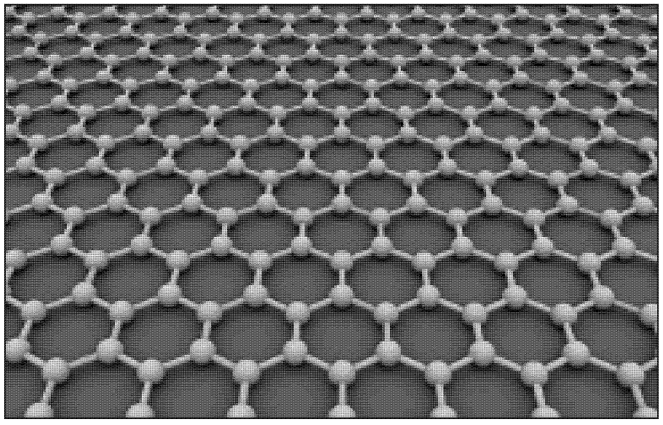
Karbonmaterialet grafén er i fokus som aldri før. Talet på bøker og publikasjonar om grafén aukar jamt, og lista er blitt lang over mulege bruksområde. Det blir spennande å sjå kor mange av forventningane som blir oppfylte. Oppstyret minner litt om det som var rundt oppdaginga av høgtemperatur-supraleiande materiale i 1987. Ettertida har vist at forventningane den gongen var altfor luftige. Hovudproblemet i tilfellet no er tilgangen på materialet i tilstrekkelege kvanta.

Grafén

Karbon finst naturleg i mange former der grafitt er den mest stabile ved vanleg trykk og temperatur. Her i landet blir naturleg grafitt utvunne på Skaland på Senja, men finst elles mange stader i verda. Grafitt består av karbonflak stabla på kvarandre. Kvart flak består av "sauenetting" av karbonatom, vist i figur 1. Interessa for eigenskapane til slike enkeltflak har lenge eksistert, og teoretisk utleiing av dei elektroniske og mekaniske eigenskapane daterer seg tilbake til 1947.(1)

I 2004 lykkast det forskarane André K. Geim og Konstantin S. Novoselov ved universitetet i Manchester å isolere slike enkeltflak, kalla grafén, og det opna for den store nye interessa for materialet.(2) No kunne ein etterprøve dei teoretiske resultata, og eksperimentering kunne starte med sikte på mulege bruksområde. Samtidig gav gjennombrotet også startsignal for å undersøke om ein kunne framstille flakmateriale også av andre atomslag enn karbon. Eksempel på det siste er *stanén*, som består av tinn-atom Sn (av latin stanium) i staden for karbon C i grafén. Eit anna eksempel er molybden-disulfid MoS_2, som blir studert for eigenskapar i kontakt med andre enkeltflak, m.a. i solcelle- og opto-elektronikk. Professor Konstantin S. Novoselov er invitert som "Onsager-forelesar" ved NTNU hausten 2014.

* Institutt for fysikk, NTNU, Trondheim.



Figur 1. Grafén. Kulene symboliserer karbonatom. Kortaste karbonavstand er 0,142 nm.

Eigenskapar

Det spesielle ved grafén er at det er eit todimensjonalt materiale, bestående av plan av karbon med berre eitt atoms tjukkleik. Dette gir spesielle eigenskapar, som vart omtala i to tidlegare artiklar i FFV i samband med at Geim og Novoselov fekk *European Physical Society Condensed Matter-prisen* i 2008,(3) og då dei fekk Nobelprisen i fysikk i 2010.(4)

Dei viktigaste eigenskapane til grafén er:

- Stor mekanisk styrke idet C-C-bindinga er den sterkaste kjemiske bindinga naturen kan oppvise.
- Grafénflaka er fleksible.
- Materialet toler høge temperaturar og har høg varmeleiingsevne.
- Grafén er ein halvleiar med lite energigap som er null i perfekte flak.
- Elektrona oppviser ein lineær relasjon mellom energi og bølgjevektor, analogt med såkalla "relativistiske dirac-fermion". Det inneber at elektrona kan flytte seg som "masselause" partiklar med forsvinnande liten motstand.
- Den elektriske leiingsevna er høg.
- I magnetfelt har grafén kvantisert leiingsevne, såkalla kvante-halleffekt.

- Enkeltflak av grafén absorberer 2,3 % av innkomande lys. Kvart flak lar derfor lyset gå omtrent uhindra gjennom. Men samtidig er det oppsiktsvekkande at berre eitt atomlag kan ha såpass stor absorpsjonsevne. Denne eigenskapen er av kvantemekanisk natur og absorptansen, eit mål for absorpsjonsevna, kan uttrykkast med berre fundamentalkonstantar.

Potensielle bruksområde

Det første som gjerne blir nemnt som bruksområde for grafén er i nye typar mikro- eller nanoelektronikk. Høg ladningsmobilitet saman med små dimensjonar, stor mekanisk styrke og god varmetoleranse skulle tilseie at transistorar betydeleg mindre enn dagens Si-baserte, med minstestorleik på rundt 20 nm, skal lett kunne underskridast. Løysingar basert på "spinntronikk" blir gjerne nemnt i denne samanhengen.[5] Auken i datalagringskapasiteten blir gjerne framheva.

Nærliggande mulege bruksområde er FM-sendarar baserte på grafén, likeeins radiofrekvenselektronikk, tynne og lette display, og fotodetektorar.

Kanskje spesielt interessant er forslaget om å lage høgkapasitets elektriske batteri og superkondensatorar ved å deponere dopa polyanilin (ein bileg organisk halvleiar) på grafénunderlag. Ein ventar at slike batteri skal få korte oppladningstider, som er viktig for batteri til kjøretøy.

Forslag ligg føre om å utvikle grafénbaserte solceller, t.d. i kombinasjon med molybdensulfid MoS_2. Også lysemitterande element (LED) er venta.

Somme optimistar trur at grafén skal kunne erstatte metall i kraftforsyningsleidningar pga. lett vekt, god leiingsevne og høg mekanisk styrke. Det krev i så fall tilgang på store mengder av grafén.

Endeleg kan vi nemne membranar for avsalting av vatn, og kjemiske og biokjemiske sensorar baserte på grafén.

Tilgangen på grafénmateriale

Forsøks- og forskingsarbeid med grafén skjer for det meste med Geim og Novoselov sin genialt enkle, men heller primitive og tidskrevande metode: å pelle ut lag for lag med grafén frå grafitt ved å klemme kontorteip mot grafitten og trekke ut! Flak med opptil millimeterutstrekning kan framstillast slik. Men for utnytting i større mengder, for ikkje å seie i industriell skala, er dette ein altfor sein og utilfredsstillande metode. Faktisk er det framstillinga og etterhandsaminga av grafén som framleis er den største bøygen å overvinne.

Det er prøvd mange ulike metodar for å lage grafén ved "eksfoliering" av grafitt (eksfoliering er å skilje "folia" dvs. flaka, frå kvarandre). Eksempel er oppslemming av grafitt i væsker med etterfølgjande sentrifugering. Organiske væsker, eventuelt med tilsetting av "surfaktantar" (såpeliknande stoff), er brukt. Ein kan også først "interkalere" fremmedmolekyl som $FeCl_2$ eller SbF_5 mellom karbonlaga i grafitt ved å la grafitten ligge ei tid i oppløysingar med fremmedmolekyla før eksfoliering. Nyleg påstod forskarar frå Samsung at dei hadde gjort svære framsteg med eksfolieringsmetoden.

Ein kjemisk syntesemetode er å la molekyl med karboninnhald, som bensén C_6H_6 reagere over ein katalysator som fråspaltar H-atoma og gir eit produkt som er kalla "nanografén".

Mest lovande, og kanskje rimelegast, er vel metodane "kjemisk gassfase-deponering" CVD (*chemical vapour deposition*), og molekylstråle-epitaksi, MBE (*molecular beam epitaxy*). Ved den første metoden blir hydrokarbon, som metan CH_4, ført mot eit metallsubstrat ved høg temperatur. Metanet dekomponerer, og lag av grafén-karbon blir igjen. Ved MBE blir karbon varma til høg temperatur i vakuum, og fordampa materiale legg seg på høvelege valte substrat som nikkel eller silisiumkarbid, men kvaliteten på det grafénet er ofte ikkje god. Eit tilleggsproblem er å losne grafénet frå substratet utan å øydelegge det. Dette problemet varierer med kva slags substrat som er nytta.

Grafén i fokus

Her i landet føregår det litt grafénrelatert forsking. Forskarar ved Institutt for elektronikk og telekommunikasjon ved NTNU i Trondheim, under leiing av professorane Fimland og Weman, starta føretaket CrayoNano i 2012.[6] Føretaket tar sikte på å kommersialisere ein patentert metode for å gro vertikale nanostavar av halvleiarar som GaAs på membranar av grafén. Grafénet fungerer både som substrat og som elektrode. I motsetnad til GaAs sjølv, er dei ferdige membranane bøyelege og sterke, og skal kunne nyttast i solceller, LED-lamper, som termo- og piezoelektriske element og i nanoelektronikk.[6]

Interessa for grafén er enorm i heile verda, både i kommersielle føretak og i forskingsinstitusjonar. Fleire universitet har lansert store program, t.d.

Cambridge Graphene Centre; og kommersielt er t.d. IBM og Samsung tungt inne i bildet. For Europa er det spesielt interessant at det, etter initiativ av EU-kommisjonen, er danna eit konsortium kalla *Graphene Flagship*, med medlemmer frå 17 land, (sjå *www.graphene-flagship.eu*) som med eit budsjett på ein milliard euro over ein tiårsperiode har som mål å bringe grafén frå status som "interessant materiale" til noko konkret brukeleg. Prosjektet består av 11 delprosjekt, m.a. høgfrekvenselektronikk, fleksibel elektronikk, sensorar, energi, fundamentalstudie, og helse og miljø. Sentrale medlemsland er Tyskland, Frankrike, Nederland og Storbritannia. Frå Norden er både Sverige, Danmark og Finland med, men ikkje Noreg. Firmanamn som *Aixtron, Alcatel, Nokia, Oxford Instruments, Philips* og *Varta* er med. Chalmers tekniske universitet i Gøteborg har ei viktig styringsrolle. 23. til 27. juni i år er det ein konferanse kalla *Graphene Week* arrangert i Gøteborg. Seinare på året, 4. til 11. september, er det i Madrid ein *International Conference on Diamond and Carbon Materials*, med betydeleg innslag av grafén.

Grafén er tema også ved andre internasjonale materialkonferansar. I Madrid er det eit føretak kalla *Graphenea*, som framstiller og byr til sals grafénprøver til forskingsformål, for eksempel 10 × 10 mm monolag grafén på Si/SiO_2-substrat til ein pris på 175 euro. Prisen varierer mykje med framstillingsmåten, dvs. med kvaliteten. For grafén på SiC-substrat er prisen 25 euro per m^2. Ettersom 1 m^2 har masse 0,76 mg, svarar det til ein pris på 33 millionar euro per kg, det dyraste materialet ein kan kjøpe! Liste over andre grafén-leverandørar kan ein finne på nettstaden *www.UnderstandingNano.com/* Men desse tilboda er ikkje nok for å dekke behov og kvalitetskrav ein ventar seg i framtida på grafén-leveransane. Det er klart at etterspurnaden er påtrengande for å finne fram til gode masseproduksjonsmetodar av dette einestående materialet. Så spørst det om dei glitrande framtidsvonene kan bli realitet, eller om det igjen blir eit nytt vonbrot, som med supraleiarane ved høge temperaturar.

Meir informasjon er å finne på nettadressa: *www.graphene-info.com* og i referanse (7).

Referansar

1. P.R. Wallace: *The band theory of graphite.* Physical Review **71**, 476–478 (1947)
2. K. Novoselov, A. Geim og medarbeidarar: *Electric field effect in atomically thin carbon films.* Science **306**, 666–669 (2004)
3. Emil J. Samuelsen: *Grafén, meir enn ei skive av grafitt.* Fra Fysikkens Verden **70**, Nr. 4, 133–135 (2008)
4. Asle Sudbø og Jacob Linder: *Nobelprisen i fysikk 2010.* Fra Fysikkens Verden **72**, Nr. 4, 117–119 (2010)
5. E.W. Hill, A. Geim, K. Novoselov, F. Schedin og P. Blake: *Graphene spin valve devices.* IEEE Trans Magn. **42**, Nr. 10, 2694–2696 (2006)
6. A.M. Munish, D.H. Deeraj, V.F. Fauske, D-C. Kim, A.T.J. van Helvoort, B-O. Fimland, H. Weman: *Vertically aligned GaAs nanowires on graphite and few-layer grapheme.* Nano Letters **12**, 4570–4577 (2012)
7. Ron Mertens: *The Graphene Handbook, 112 pages.* Lulu. com ('Self-published books') (2013)

∞

Fysikknytt

Nøytrinoastronomi?

Ved hjelp av *IceCube*-detektoren på Sydpolen er det registrert 28 svært energirike nøytrinoer som kommer fra alle mulige himmelretninger. Forventet bakgrunn av nøytrinoer i det observerte energiområdet dannet av kosmisk stråling som treffer atmosfæren, er omtrent 10 nøytrinoer. Man regner derfor med at over halvparten av de observerte nøytrinoene er såkalte kosmiske nøytrinoer som kommer fra fjerne kilder.

Det er godt mulig at nøytrinoer med høy energi kommer fra samme type kilder som kosmisk stråling som består av ladde partikler. Observasjoner av nøytrinoer med høy energi kan i så fall gi verdifull informasjon om hvordan kosmisk stråling oppstår. Kanskje er kildene aktive galaksekjerner, men det gjenstår å dokumentere at det virkelig er tilfelle.

I en artikkel i *Science* publisert 22. november 2013, ble det rapportert om resultatet av en analyse av 2 år med observasjoner ved hjelp av nøytrinoobservatoriet *IceCube* på Sydpolen. Observasjonsdataene viste at detektoren har registrert 28 nøytrinoer som er for energirike til at de er blitt produsert i sola.

De registrerte nøytrinoene hadde en energi $E = mc^2$ som svarer til mellom 30 og 1200 protonmasser.

De beveger seg praktisk talt med lysets hastighet. Det er tydelig at det eksisterer partikkelakseleratorer i universet som kan akselerere nøytrale partikler til 40 millioner ganger større energi enn den *Large Hadron Colliderer* i CERN akselererer protoner til.

IceCube-detektoren er formet som en terning med en utstrekning på én kilometer. Den kan registrere nøytrinoer med høye energier. I sola produseres et enormt antall nøytrinoer. Her på jorda passerer det hvert sekund omtrent 70 milliarder nøytrinoer fra sola bare gjennom den ytterste halvparten av lillefingeren vår. Disse har energier som svarer til mellom 1/2500 og 1/50 protonmasser. Icecube kan registrere nøytrinoer som har mye større energi. I søket etter svært energirike kosmiske nøytrinoer med mellom 30 og 1200 protonmasser er det ingen "forurensning" av nøytrinoer fra sola.

Men det produseres energirike nøytrinoer når partiklene i den kosmiske strålingen treffer jordas atmosfære. Beregningene til IceCube-teamet viste at i løpet av observasjonsperioden skulle man registrere mellom 7 og 16 atmosfæriske nøytrinoer i det aktuelle energiområdet. Det ble observert 28 nøytrinoer. Man hadde trolig registrert over ti kosmiske nøytrinoer.

Det ble raskt klart at de ikke kom fra supernovaeksplosjoner. I 1987 ble det observert 24 nøytrinoer fra en supernova, SN 1987A, i Den store magellanske sky. De mest energirike hadde energier som svarte til under 1/25 protonmasse. Selv de minst energirike av de 28 nøytrinoene registrert med Icecube hadde omtrent tusen ganger større energi enn dette. Den eneste kjente type partikkelakselerator i universet som kan akselerere nøytrale partikler til de registrerte nøytrinoenes energi, er aktive galaksekjerner.

Forskerne prøvde å finne ut hvor nøytrinoene kom fra. Men det var vanskelig å bestemme bevegelsesretningen til de innkommende nøytrinoene med god presisjon. De viste seg å komme fra alle himmelretninger og hadde bare 8 % større tendens til å klumpe seg sammen i tid og rom enn det som kunne forventes ut fra statistiske fluktuasjoner. Konklusjonen ble at det ikke lot seg gjøre å identifisere kildene til noen av de 28 registrerte nøytrinoene.

Observasjonene vil fortsette. Men med 14 nøytrinoer i året vil det ta 71 år før man har registret 1000 nøytrinoer, og forskerne utelukker ikke at de må observere såpass mange for å oppnå en god nok statistikk til å kunne identifisere kildene til de kosmiske nøytrinoene. Det vil derfor blir søkt om økonomiske midler til å bygge en større detektor. Med en tilstrekkelig stor detektor vil et nytt fagområde kunne etableres: *nøytrinoastronomi.*

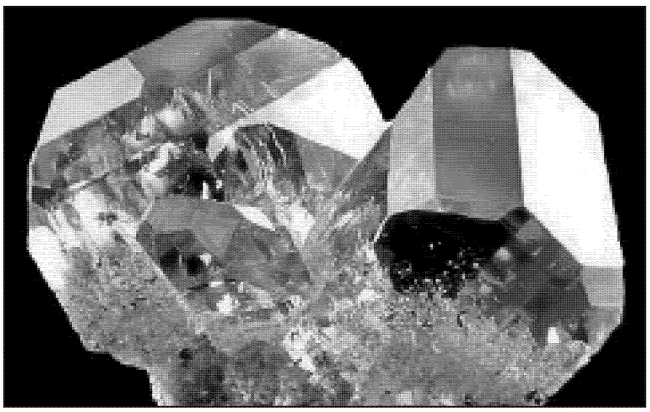
Øyvind Grøn

∞

Kva skjer

Krystallografiåret 2014

Den internasjonale krystallografi-unionen IUCr og FN-organet UNESCO har lansert 2014 som "Det internasjonale krystallografiåret", for å markere at det er 100 år sidan opptakten til moderne diffraksjonsbasert krystallografi.



Figur 1. Samanvaksne krystallar av topaz, $Al_2SiO_4(F,OH)_3$

Krystallografi er læra om form, farge, molekylær struktur og andre fysiske eigenskapar til krystallar. Mineral-, snø- og salt-krystallar i naturen har alltid fascinert menneska; dei første skildringane er over 2300 år gamle.

Klassisk makroskopisk krystallografi tar for seg dei ytre formene, karakterisert ved glatte, velforma og symmetrisk plasserte flater. For omlag 200 år sidan tok ein til å utvikle den matematiske beskrivinga av symmetrien, og på 1800-talet gjennomførte krystallografar og matematikarar gruppeteoretisk utleiing av moglege krystallsystem og klassar. Men for 100 år sidan visste ein enno ikkje korleis atom og molekyl var organisert inne i krystallane. Den kunnskapen kom i åra frå 1912 og utetter gjennom framvoksteren av

røntgendiffraksjon av krystallinsk materiale, gjerne kalla *røntgenkrystallografi*.

Wilhelm C. Röntgen hadde oppdaga røntgenstrålinga i 1895. At strålinga var bølgjer og ikkje partiklar, vart avklart i 1912 då Max von Laue for første gong påviste at krystallar gir spreiing av røntgenstrålar ved diffraksjon. Men observasjonane avslørte samtidig at krystallar har ein repeterande (periodisk) struktur, og kan beskrivast som oppbygde av tredimensjonale "stablar" av minsteceller, kalla elementærceller.

Max von Laue fekk Nobelprisen i fysikk i 1914 for oppdaginga. Men det var arbeidet til William H. Bragg og sonen, W. Lawrence Bragg, som opna vegen til strukturbestemming i åra utetter. Dei mottok Nobelprisen i fysikk i 1915 "för sina tjänster i analysen av kristallstrukturen genom röntgen". W. Lawrence Bragg utvikla teorien, m.a. ved formuleringa av "Braggs lov",[1] og William H. Bragg konstruerte laboratorieutrusting for nøyaktige intensitetsmålingar. I 1913 og 1914 bestemte dei struktur for ei lang rekke mineral som kvarts, sinkblende, kalsitt, dolomitt, diamant og mange andre. Den ferdigutvikla gruppeteoretiske beskrivinga var eit godt hjelpeverktøy. "Fra Fysikkens Verden" hadde ein fyldig omtale av denne utviklinga i fjor.[1]

I åra etter vart krystallstrukturar løyste i hundre- og tusental, først av uorganiske strukturar som er minst kompliserte, og etter kvart også av organiske stoff som det er svært mange av. På 1950-talet hadde ein lært å løyse struktur av makromolekylære stoff. Mange reknar 1964 som eit merkeår då Dorothy Hodgkin fekk Nobelprisen i kjemi. Ho strukturbestemte vitale materiale som penicillin, vitamin B_{12}, insulin og andre. Også dei første strukturane av protein kom på den tida, eit felt som i dag er avgjerande viktig for farmasiindustrien. DNA-strukturen basert på røntgendata, er eit anna gjennombrot. Til no har 45 nobelprisar blitt utdelte for diffraksjonsbasert krystallografiarbeid. Også diffraksjon med nøytron- og elektronstrålar spelar ei stor rolle.

I dag er strukturbestemming med røntgen i stor grad automatisert rutinearbeid. Begrensinga er tilgangen på gode krystallprøver, spesielt for proteinar og andre makromolekyl. Med strålar frå synkrotron-lagringsringar kan krystallar i nanometerstorleik nyttast. Også materiale i delvis uordna form, som flytande krystallar, blir studert.

I presentasjonen av krystallografiåret[2] understrekar IUCr betydninga av krystallografisk forsking i framtida på felt som material- og næringsstoffutvikling, økologi og helse ved studie av pesticid, antibiotika og farmasøytiske produkt. Men også studium og aldersbestemming av arkeologisk materiale og meteorittar blir nemnde. – Eit lite røntgenlaboratorium rullar no rundt på Mars i roveren "Curiosity".

Referansar

1. E.J. Samuelsen og D.W. Breiby: *Braggs lov i 100 år.* Fra Fysikkens Verden **75**, 54–58 (2013)
2. Internett: *http://www.iycr2014.org*

Emil J. Samuelsen

∞

Kommentar

Higgs-bosonet og atomenes masse og eksistens

I FFV 4/2013 har Farid Ould-Saada, Are Raklev og Alex Read (ORR) en utmerket artikkel om Nobelprisen i fysikk til Higgs og Englert, der de forklarer den historiske bakgrunnen for tildelingen. De påpeker, helt korrekt, at Higgs-feltet (eller Brout-Englert-Higgs-feltet som er en historisk mer korrekt betegnelse) bare er ansvarlig for en liten brøkdel av massen til rho-mesonene (eller til deres "slektninger" protonene og nøytronene), som den opprinnelig var ment å forklare.

Når de i neste omgang skriver at "Uten masse ville kvarkene alltid reist med lysets hastighet og aldri formet protoner og nøytroner i det tidlige universet", blir det imidlertid feil. Det er riktig at uten higgsfeltet, eller en annen mekanisme som kan gi masse til elektroner og kvarker, ville vi ikke hatt atomer, men årsaken til dette er mer komplisert.

Vi kan først påpeke at den mekanismen som ble formulert av Brout, Englert og Higgs, og som ORR forklarer bakgrunnen for, ikke gir masse til materiepartikler som kvarker eller elektroner, men bare til den svake vekselvirkningens fotonliknende partikler, W- og Z-bosonene. I standardmodellen får imidlertid kvarkene og elektronene sin masse fra en separat vekselvirkning med Higgsfeltet, som teoretisk sett er svært uelegant og dermed lite til-

fredsstillende. Forhåpentligvis kan denne delen av teorien etterprøves når LHC skrus på igjen neste år. Men vi kan enn så lenge gå ut fra at Higgs-feltet virkelig er ansvarlig for disse massene.

Så til protonets og nøytronets masse. Summen av massene til kvarkene de består av er omlag 10-12 MeV, sammenliknet med den virkelige massen på 938 MeV for protonet og 940 MeV for nøytronet. De resterende om lag 99 % av massen kommer, som ORR påpeker, fra bindingsenergien til kvarkene og gluonene.

Som en historisk sidebemerkning kan vi nevne at en enkel modell for hvordan dette kan skje, ble lagt frem av Nambu (nobelpris i 2008) og Jona-Lasinio allerede i 1961, tre år før Englert, Higgs og kolleger, og før kvarkene var postulert. I deres modell begynte de med masseløse "protoner" og "nøytroner" som elementærpartikler, og endte opp med massive partikler som tilsvarer de virkelige protonene og nøytronene. Denne modellen, men nå med kvarker som elementærpartikler, brukes hyppig den dag i dag til å forklare og beregne egenskaper ved den sterke vekselvirkningen.

Denne modellen, og teoretiske beregninger i den moderne teorien for sterke vekselvirkninger, kvantekromodynamikk (QCD), forteller oss at bindingsenergien i protonene er omtrent uavhengig av kvarkmassen, og dersom kvarkene var masseløse ville protonet fortsatt hatt en masse på rundt 900 MeV, ikke langt fra virkelighetens verden. Vi vet altså med sikkerhet at protoner og nøytroner ville eksistert også i en verden uten noe Higgs-felt som gir masse til kvarkene.

Her begynner forskjellene. Dersom kvarkene var masseløse, og vi ser bort fra den elektromagnetiske vekselvirkningen mellom dem, ville nemlig protonet og nøytronet hatt nøyaktig samme masse. Men siden protonet er positivt ladet, ville den elektrostatiske frastøtningen gi det en litt større energi, og dermed større masse. Etter det vi i dag vet, er denne energiforskjellen noe større enn elektronets masse på 0,5 MeV, og et proton kunne dermed henfalle til et nøytron og et elektron (pluss et nøytrino). Vanlig hydrogen ville altså vært ustabilt og radioaktivt, og universet ville for det meste ha bestått av helium og frie nøytroner. Liv slik vi kjenner det, basert på vann og hydrokarboner, kunne ikke ha eksistert.

Dersom elektronet heller ikke hadde fått noen masse fra Higgs-feltet, ville verden ha vært enda mer ugjenkjennelig. Hvis elektronmassen var null, ville Bohr-radien ha vært uendelig, og verken atomer eller kjemi slik vi kjenner dem, kunne ha eksistert. Så av denne grunn, om ikke annet, kan vi med vår nåværende kunnskap si at uten Higgs-feltet (eller BEH-feltet for å være historisk korrekt) ville det ikke ha eksistert atomer.

Jon-Ivar Skullerud

∞

Nytt fra NFS

Nye styremedlemmer

Biofysikkgruppa og Optikk- og akustikkgruppa har gjort endringer blant gruppelederne, og dermed har vi fått nye styremedlemmer i NFS. Nye styremedlemmer er:

Professor Eli Olaug Hole, Fysisk institutt, UiO.

Førsteamanuensis Børge Hamre, Institutt for fysikk og teknologi, UiB.

Vi ønsker begge velkommen, og takker avtroppende styremedlemmer og gruppeledere for innsatsen.

Faggruppemøter

I løpet ev vinteren er det avviklet flere gruppemøter.

Biofysikkgruppa

6.–7. mars ble det to-årlige biofysikkmøtet avholdt på Soria Moria Hotell og Konferansesenter, Voksenkollen, Oslo. Møtet inkluderte 36 deltakere, 21 foredrag og 8 posters. Det ble også gjort noen endringer i styresammensetningen. Styret består nå av:

Eli Olaug Hole, Oslo, konstituert leder,
Cecilia Futsæther, Ås,
Magnus Lilledahl, Trondheim,
Renate Gruner, Bergen.

Gruppa for optikk og akustikk

Optikkdelen av gruppa arrangerte "EO2014: *Norwegian Electro-optics meeting 2014*" i Fevik 23.–25.april 2014, med 70 deltakere fra akademia, instituttsektor og industri.

EO-møtet hadde 5 inviterte foredragsholdere fra USA, Spania, Tyskland, Norge og EU-kommisjonen. De inviterte foredragene inneholdt temaer som "*Graphene in Optics*", "*Industrial (Applied) Spectroscopy*", "*High resolution large-scale fibre optics ocean bottom seismic cable system*", "*So-*

lar cell technology. Surface nano-/micro structuring" og "*Photonics21a PPP in Horizon2020*". Utover dette ble det presentert 31 andre vitenskapelige bidrag og 15 postere. Nytt møte er planlagt i 2016.

International Year of Light 2015 (IYL 2015) ble tatt opp til diskusjon (se eget punkt), og gruppa har nå begynt å planlegge markering av IYL2015.

Børge Hamre, Ui, ble valgt til ny gruppeleder.

Gruppa for subatomær fysikk og astrofysikk
Faggruppemøte ble arrangert 28.-30. april 2014 ved Fysisk institutt, UiO.

Hovedformålet med denne konferansen er å samle studenter innen subatomær fysikk og astrofysikk i en studentvennlig setting der studenter sammen med seniorforskere og veiledere har mulighet til å presentere sine arbeider og få en oversikt over aktivitetene i det norske fagmiljøet.

Det var i alt 34 deltakere fra miljøene i Bergen, Trondheim og fra Praha, i tillegg til en sterk representasjon fra vertsinstitusjonen. De 24 bidragene som ble presentert dekket et bredt faglig spekter. Presentasjonene ble denne gangen tilfeldig fordelt i stedet for å bli gruppert etter tema, noe som resulterte i god variasjon, og et interessert og aktivt publikum bidro til livlige diskusjoner.

IYL 2015

FNs generalforsamling har erklært 2015 som *International Year of Light and Light-based Technologies* (IYL 2015). Dette er blitt til etter initiativ fra et stort konsortium av vitenskapelige organisasjoner sammen med UNESCO. *European Physical Society* er sterkt engasjert i planlegging av markeringen, og de nasjonale selskapene vil være sentrale for å bidra til at denne viktige delen av fysikken og dens anvendelser blir behørig markert. Mer informasjon finnes på Internett: *http://www.eps.org/?page=event_iyol*

Åshild Fredriksen

∞

Nye medlemmer

Aksnes, Arve; Nordahl Grieg vgs/Birkeland CSS

Andvik, Anette; Knarvik vgs.

Carlin, Mats; SINTEF, IKT

Gjesteland, Thomas; UiB

Hagen, Tor Espen; Lillestrøm vgs.

Hansen, Tor Inge; Skien vgs.

Høye, Dag Sverre; Norges Toppidrettsgym., Lillehammer

Haatuft, Hanne; Norges Toppidrettsgymnas, Geilo

Kiil, Arild; Bergeland vgs.

LaHoz, Cæsar; Univ. i Tromsø

Lindseth, Inger; Horten vgs.

Lundanes, Ingvild Olsen; St. Hallvard vgs.

Malamova, Elisaveta; Skagerak International School

Otterstad, Jan; Vestby vgs.

Reinholtsen, Frank;

Renoult, Ingunn; Hetland vgs.

Sandven, Jan Alfred; Berg vgs.

Stige, Jostein; Fauske vgs.

Sæther, Lars Eric; Steinkjer vgs.

Tjøstheim, Håvard; Kopervik vgs.

Tobiassen, Arne; Mandal vgs.

Vatne, Ann Kristin; Haram vgs.

Wiik, Natalia; Rauma vgs.

Waag, Grunde; Høgskolen i Vestfold

Aalbergsjø, Siv Gundrosen; Fysisk institutt, UiO

∞

Nye Doktorer

Håvard Granlund

MSc Håvard Granlund forsvarte 28. november 2013 avhandlingen *Scanning X-ray Scattering Studies of Mechanically Processed Polymers* for PhD-graden ved NTNU.

Polymerer blir brukt i mange produkter, som strukturelle materialer i f.eks. støtfangere på biler, og som funksjonelle materialer eksempelvis i OLED-TV-er. Produkter basert på polymerer er ofte svært billige å masseprodusere sammenlignet med andre materialer, og materialegenskapene kan relativt lett modifiseres ved kjemiske tilsettinger og mekanisk bearbeiding som valsing eller pressing.

Granlund har i sitt doktorarbeid studert molekylstrukturer i polypropylen og polyheksyltiofen, som er standardeksempler på henholdsvis strukturelle og funksjonelle polymerer. Han har vært en pionér ved å rasterskanne polymerprøver med røntgen, både ved synkrotron og i hjemmelaboratorium. Denne teknikken gir strukturinformasjon på to lengdeskalaer: på mikrometernivå bestemt av rasterskannet, og på nanometerskala via analyse av spredningssignalet. Metoden viste seg velegnet til å påvise makroskopiske gradienter av fasefordeling, krystallinitet og molekylorientering, som i samarbeid med SINTEF ble brukt til å validere numeriske simuleringer. Arbeidet åpner for bedre og mer detaljerte studier av polymerers respons på prosesseringsforhold, og er derfor interessant for grunnleggende polymerfysikk og for industrielt bruk.

Arbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTNU, med førsteamanuensis Dag W. Breiby som veileder.

∞

Trim i FFV

Løsning på FFVT 1/14

Barn

a) I oppgaven møter en forsikringsagent en trebarnsmor som sier at produktet av barna aldre er 36, og at summen av aldrene er lik naboens husnummer. Agenten sier at han trenger ytterligere informasjon, og får svaret at hennes eldste barn spiller piano. Hvor gamle er barna? (Det antas at alder er heltall.)

Det er åtte mulige kombinasjoner av tre aldre som gir produktet 36, nemlig (1,1,36), (1,2,18), (1,3,12), (1,4,9), (1,6,6), (2,2,9), (2,3,6) og (3,3,4). Alle disse gir forskjellige summer, bortsett fra (1,6,6) og (2,2,9) som begge gir summen 13. Det er bare denne summen som ikke gir agenten svaret, altså må naboen bo i nummer 13. Tilleggsopplysningen om den eldstes pianospilling viser at den eldste ikke er tvilling, slik at kombinasjonen (1,6,6) er utelukket. Altså er to av barna 2 år og ett er 9 år.

b) I nabohuset er et ektepar med to barn nyinnflyttet. Kona mi har nettopp hørt at minst ett av barna er jente. Hva er sannsynligheten for at begge barna er jenter? De mulige kombinasjoner er da (gutt,jente), (jente,gutt) og (jente,jente), med den eldste nevnt først. Det er rimelig å anta at de tre kombinasjonene er like sannsynlige. Det gir sannsynligheten 1/3 for at begge barna er jenter.

Dagen etter ser vi at ei jente leker utenfor nabohuset. Hva er nå sannsynligheten for to jenter? Det må være sannsynlighet 1/2 for at det andre barnet er jente, slik at sannsynligheten for at begge barna er jenter er nå lik 1/2.

FFVT 2/14

Taxfree

Ola, Ole og Olai var, sammen med sine ektefeller Anna, Anne og Anni, innom en taxfree-butikk. Hver person kjøpte bare en type ting, og så mange av dem som prisen på hver var i kroner. Ole kjøpte 23 ting mer enn Anna, og Ola kjøpte 11 ting mer enn Anne. Hver ektemann betalte 63 kr mer enn ektefellen. Hvem var gift med hvem?

∞

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

B
DISTRIBUERT AV POSTEN NORGE
posten
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 biblioteker ved videregående skoler. Bladet gis ut fire ganger i året, i mars, juni, oktober og desember. Tidsfristene for stoff er 1. februar, 1. mai, 1. september og 1. november. Opplaget er f.t. 1900.

FORMÅLET MED FFV er å gi informasjon om aktuelle tema og hendinger innen fysikk, og å bygge bro mellom forskere, fysikklærere, studenter og andre interesserte. Ikke minst ønsker FFV å være til hjelp for elever og lærere i videregående skoler og andre undervisningsinstitusjoner. Dette krever at artikler og annet stoff er skrevet på norsk og på en lett forståelig måte. Fagutrykk 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 forstås av en liten faggruppe har ingen plass i bladet. Alt stoff blir vurdert redaksjonelt, og redaksjonen forbeholder seg rett til å foreta mindre endringer.

MANUSKRIPTER leveres i en form som forfatteren mener er direkte publiserbar. De skal leveres elektronisk, helst som e-post. Dersom formatet ikke er ren tekst (helst LATEX) eller i Microsoft Word, må det merkes med hvilket 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 spaltebredde på 8,6 cm. De bør være på elektronisk form i et standard grafisk format og med god oppløsning. Vi kan unntaksvis motta figurer eller bilder som urastrerte kopier. Figurer og tabeller skal være referert i den løpende teksten, og ønsket plassering må markeres. Hvis forfatterne selv ikke har laget figurene, skal opprinnelsen oppgis. Forfatterne må selv innhente tillatelse til bruk av slike illustrasjoner.

FORSIDEBILDER velges som regel i tilknytning til en av artikklene. De må være teknisk gode og lette å forstå.

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

GRAFISK PRODUSKJON OG TRYKK: OSLO SATS, REPRO & MONTASJE A/S
WWW.OSRM.DINSTUDIO.NO

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:
Studiekonsulent Kjersti Gausvik
Inst. for fysikk og teknologi, UiT,
Pb. 6050 Langnes, 9037 Tromsø,
e-post: nfs@fys.uio.no
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.samuelsen@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
Førstelektor Ellen K. Henriksen,
Fysisk institutt, UiO
Professor Morten Førre
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 120 kr. (Studenter 60 kr.)
Løssalg 40 kr. pr. nummer.