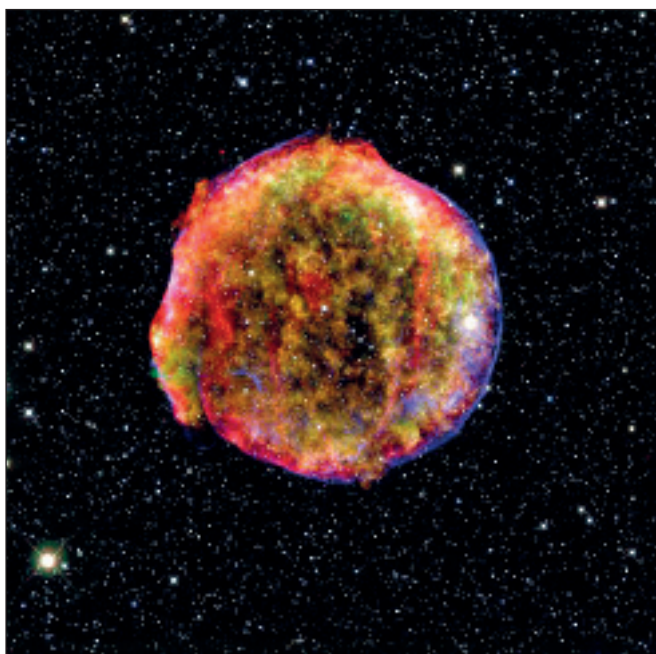


Fra Fysikkens Verden



Restene etter Tycho Brahe supernova av type Ia
Bilde fra NASAs romteleskop Spitzer
(Se artikkel om Nobelprisen i fysikk)

Nr. 4 – 2011
73. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øyvind Grøn
Marit Sandstad

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Øyvind Grøn:	
Nobelprisen i fysikk 2011	112
Kommentar	114
En nordmann var først	
Hans Christofer Børresen:	
Var tungtvannsakksjonene	
i Norge berettiget?	116
Emil J. Samuelsen:	
Vatn i nanorør	124
Øyvind Grøn:	
Tvillingene og Universet	128
Øyvind Grøn:	
Tegn til mørk materie?	132
Øyvind Grøn:	
Observasjoner bekrefter relativitet	135
Fra Redaktørene	110
FFV Gratulerer	110
Martin Landrø	
Fysikknytt	111
Hint av Higgspartikkelen	
Nye grunnstoffer	
Bokomtale	137
Pål Brekke: Vår livgivende	
stjerne SOLA	
Nytt fra NFS	138
IUPAP	
Nye medlemmer	
Trim i FFV	139

Fra Redaktørene

I skrivende stund er det november og dagene blir stadig kortere. Det er sikkert mange som savner sol, lys og varme, men samtidig er det mye å glede seg over. For de av oss som liker en pause fra det jordiske er dette en ypperlig tid for å kikke på nattehimmelen. På klare kvelder er det mye å se både med det blotte øye og for den som har et teleskop å kikke gjennom.

Fjorårets Kavlipris i astronomi gikk til tre menn som har utviklet nye og innovative metoder for å bygge enda større teleskoper. Med disse har vi kunnet se enda lenger ut og med bedre oppløsning. I år går Nobelprisen i fysikk til noen av dem som har benyttet seg av disse teleskopene. Mulighetene de åpnet for observasjon av fjerntliggende supernovaeksplosjoner førte til at vi i dag vet at universet utvider seg med akselererende hastighet. Det er dette årets nobelpris vil honorere.

I dette nummeret av Fra Fysikkens Verden har vi mer stoff om årets nobelpris og flere andre astrorelaterte artikler. Øyvind Grøn har skrevet om mørk materie og en ny astrofysisk test av relativitetsteorien. Oddbjørn Engvold har anmeldt en ny bok om sola.

Når vi kikker ut i verdensrommet ser vi også bakover i tid. Sola ser vi for eksempel slik den saa ut 8 minutter tidligere. Supernovaene som årets nobelprisvinnere har studert for å finne universets akselererende ekspansjon befinner seg betydelig lenger unna, og vi ser altså inn i en fjern fortid. En fortid litt imellom disse ytterpunktene trykker vi ogsaa en artikkel om i dette nummeret. Hans Christofer Børresen har skrevet en spennende artikkel om etterretnings- og kunnskapsgrunnlaget for tungtvannssaksjonene. Artikkelen er ikke bare fascinerende lesning, men innbyr også til ettertanke omkring hemmelighold i militære konflikter.

Marit Sandstad

∞

FFV Gratulerer

Heder og takk til Martin Landrø



Professor Martin Landrø, NTNU, er tildelt ENI-prisen for "*New Frontiers of Hydrocarbons*", og Norsk Fysisk Selskap gratulerer hjerteligst! Prisen, som er på 300 000 euro, ble overrakt av Italias president i juni, og deles med kjemikeren Gabor A. Somorjai fra Berkeley. I begrunnelsen for prisen til Landrø heter det: "*The application of professor Landrø's technology permits to increase significantly the factor of hydrocarbon recovery.*"

Martin Landrø er siv.ing. fra NTH (fysikk, 1983), og dr.scient. fra Universitetet i Trondheim (partikkelfysikk, 1986). Han er nå professor ved Institutt for anvendt geofysikk og petroleums-teknologi, NTNU.

Prisen ble gitt for videreutvikling av seismiske metoder, spesielt den såkalte firedimensjonale seismikken. Ved å foreta avbildning av et reservoar ved flere tidspunkt, er det mulig å finne gjenglemte lommer med olje i reservoaret. Dette har fått stor betydning også for Statoil.

ENI (*Ente Nazionale Idrocarburi*) er et stort privat italiensk energiselskap som selger bensin og diesel via datterselskapet Agip. De har et berømt logo som alle som har kjørt bil i Italia kjenner: en seksbeint hund med en rød stikkflamme fra kjeften. ENI har nærmere 80 000 ansatte, og en årsomsetning på rundt 100 milliarder euro. I tillegg til prisen som Landrø fikk, deler ENI også ut tre andre priser relatert til energi.

Takk

Norsk Fysisk Selskap har mottatt en gave på 150 000 kr fra prisvinneren. Dette beløpet vil bli brukt til å opprette et fond hvor avkastningen vil gå til en pris for spesielt gode mastergradsavhandlinger. Statuttene for denne prisen er under utarbeidelse, og det tas sikte på en første utdeling ved Fysikermøtet i 2013.

Norsk Fysisk Selskap vil herved rette en stor takk til Martin Landrø for at han på denne måten ønsker å stimulere yngre talentfulle fysikere!

Per Osland

∞

Fysikknytt

Hint av Higgspartikkelen

Rett før jul var det tillyst et seminar på CERN hvor talspersonene for de to store eksperimentene, ATLAS (ved Fabiola Gianotti) og CMS (Guido Tonelli), skulle gi en statusrapport om letingen etter Higgspartikkelen. Seminaret, som skulle begynne kl 14:00, var imøtesett med stor spenning. De første personene innfant seg i auditoriet allerede kl 08:30 fordi ryktene tilsa at de kom til å annonsere at de hadde ekskludert et stadig større masseintervall, men at de ikke kunne ekskludere Higgspartikkelen i det laveste masseområdet, rundt 125 GeV. Der hadde de tvert imot et overskudd av hendelser. Overføringen av seminaret over Internett ble også fulgt med stor interesse av mange.

ATLAS (hvor grupper i Bergen og Oslo deltar) annonserte et overskudd av hendelser med masse rundt 126 GeV. Dette er hendelser som kan tolkes som en Higgspartikkel som henfaller til to fotoner, eller til to vektorbosoner (ZZ eller W^+W^-), hvorav det ene er "virtuelt" (dets energi er ikke i samsvar med relativitetsteoriens krav for gitt masse og impuls). CMS annonserte et lignende overskudd ved 125 GeV, samt et mindre overskudd ved 119 GeV.

Det er foreløpig for få hendelser til at kollaborasjonene kan påberope seg en oppdagelse, det kan være statistiske fluktuasjoner av "triviell" fysikk. Men det er påfallende at begge eksperimentene finner disse overskuddene rundt samme masse. Hvis

LHC-akselleratoren går like fint til våren, burde eksperimentene ha nok data til å si noe definitivt om Higgspartikkelen utpå sommeren 2012.

Imens florerer tolkningene: Hvis det er den etlerlengtede Higgspartikkelen som er funnet, hvorfor er dens masse rundt 125 GeV? Jo, det har supersymmetri forklaringer på.

Per Osland

∞

Nye grunnstoffer

Tre nye grunnstoffer ble 4. november 2011 godkjent av *The General Assembly of the International Union of Pure and Applied Physics* for inkludering i det periodiske systemet. Det er grunnstoff nr. 110 kalt *darmstadtium*, nr. 111 kalt *roentgium* og nr. 112 kalt *copernicium*.

De tre grunnstoffene ble først syntetisert i et laboratorium nær Darmstadt. Arbeidet ble utført av under ledelse av Sigurd Hofmann. Oppdagelsene ble gjort i perioden fra 1994 til 2002 og er senere bekreftet ved flere laboratorier.

Øyvind Grøn

∞

Studér
fysikk!

Nobelprisen i fysikk 2011

Øyvind Grøn *

Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt og Adam G. Riess har fått årets nobelpris i fysikk for oppdagelsen av at universets ekspansjon øker farten.

Saul Perlmutter, født 1959, ledet Supernova Cosmology-prosjektet ved Lawrence Berkeley National Laboratory i USA. Det var denne gruppen og High-z Supernova Search Team, som i 1998 oppdaget at universets ekspansjon har øket farten de siste fem milliarder årene.^(1,2)

Brian Schmidt, født 1967, ledet det internasjonale High-z Supernova Search Team. Uavhengig av Supernova Cosmology-Prosjektet fant de tegn til at universets ekspansjon akselererer.

Adam Riess, født 1969, var sentral i undersøkelsene til High-z Supernova Search Team, og han var førsteforfatter i rapporten der gruppen annonserte at observasjonsdataene tydet på akselerert kosmisk ekspansjon.⁽²⁾

Forskningsprosjektets hensikt

Intensjonen med Supernova Cosmology Prosjektet og High-z Supernova Search Team var å bruke supernovaobservasjoner til å finne ut hvor raskt den tiltrekkende gravitasjonen til den kosmiske materien bremses ned universets ekspansjon.

Prinsippet som ble benyttet, var at *når man ser utover i universet ser man bakover i tid*, for man ser et objekt slik det var da det sendte ut den mottatte strålingen. Supernovaer er eksploderende stjerner som lyser så sterkt at de kan sees på flere milliarder lysårs avstand.

Universets ekspansjon

Universets ekspansjon beskrives ved hjelp av en såkalt skalafaktor, $a(t)$, som representerer forholdet



Figur 1. Nobelprisvinnerne i fysikk 2011. Fra venstre: Saul Perlmutter, Brian Schmidt og Adam Riess.

mellom avstandene til to galaksehoper ved et vilkårlig tidspunkt og deres avstand nå.⁽⁴⁾ Kosmisk tid er definert som tiden målt med tenkte klokke som følger galaksehoperne. Derivert med hensyn på kosmisk tid betegnes med en prikk over den deriverte størrelsen. Ekspansjonshastigheten og ekspansjonsbevegelsens akselerasjon er henholdsvis $\dot{a}$ og $\ddot{a}$. Hvis $\ddot{a} < 0$ avtar ekspansjonshastigheten, og hvis $\ddot{a} > 0$ er ekspansjonsbevegelsen akselerert.

Forskerne bestemte rødforskyvningen til spektrallinjer i strålingen fra supernovaer av type Ia med forskjellige avstander fra jorda. Alle supernovaer av denne typen lyser omtrent like sterkt, så man kan bruke den observerte lysstyrken til å bestemme hvor langt lyset har beveget seg fra den eksploderende stjernen til jorda. Ifølge relativitetsteorien avhenger sammenhengen mellom rødforskyvningen og avstanden av hvor raskt universet ekspanderte ved det tidspunktet lyset ble sendt ut. Dermed kunne man bestemme verdien av $\dot{a}$ ved ulike sendertidspunkter.

Jo nærmere en supernova er oss, desto kortere tid bruker lyset på reisen. Det betyr at sendertidspunktet er senest for de nærmeste supernovaene. Siden forskerne mente at ekspansjonshastigheten bremses ned av tiltrekkende gravitasjon, ventet de å finne minst verdi av $\dot{a}$ for de nærmeste supernovaene. Stor var overraskelsen da målingene ga omvendt resultat. Verdien av $\dot{a}$ var størst for de nærmeste supernovaene. Hvis universet er ho-

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

mogent betyr dette at den kosmiske ekspansjonen er i ferd med å øke farten.⁽⁵⁾

Bor vi i en kosmisk boble?

Troen på at universet er homogent i stor skala, dvs. at alle kosmiske områder med utstrekning på over en milliard lysår er lik hverandre, var så stor at det inhomogene alternativet ikke engang ble vurdert av forskningsgruppene. Dette ble imidlertid gjort i 2006 av blant andre Håvard Alnes, Morad Amarzguioui og Øyvind Grøn.^(6,7) De fant ut at observasjonene kunne forklares selv om universets ekspansjon ble bremsset ned av den tiltrekkende gravitasjonen til en kald kosmisk materie, dersom vi befinner oss nærmere sentrum enn 50 millioner lysår i en enorm kosmisk "boble" med radius 5 milliarder lysår hvor tettheten av materien er litt mindre og ekspansjonsfarten litt større enn utenfor boblen.

Denne måten å forklare observasjonene på bryter imidlertid med det såkalte kopernikanske prinsipp som sier at vi bor på et tilfeldig sted i universet. Det er også kommet nye observasjoner som ikke er så lette å forklare med "boblemodellen" for universet. Så den homogene modellen står sterkest.

Astronomene og fysikerne måtte da forklare den kosmiske fartsøkningen. Dersom vi bare hadde hatt Newtons gravitasjonsteori, ville det vært umulig. Ifølge Newtons teori er gravitasjonen alltid tiltrekkende. Men den generelle relativitetsteorien tillater frastøtende gravitasjon.

Frastøtende gravitasjon

I et homogent univers fylt av et kosmisk medium (en kombinasjon av materie og energi) med masse tetthet ρ og trykk p , tar den relativistiske gravitasjonsloven formen

$$\ddot{a} = -\frac{4\pi G}{3}a \left(\rho + \frac{3p}{c^2} \right) \quad (1)$$

der G er Newtons gravitasjonskonstant og c er lysets hastighet i tomt rom.

Likningen viser at negativt trykk, dvs. strekk, gir et frastøtende bidrag til gravitasjonen. I den newtonske grensen av relativitetsteorien som kan tas ved å la $c \rightarrow \infty$, forsvinner trykkets eller strekkets gravitasjonsvirkning. Hvis $p < -(1/3)\rho c^2$, vil strekkets frastøtende gravitasjon dominere over massens tiltrekkende gravitasjon. Dersom det

kosmiske mediet oppfyller denne betingelsen, vil nettoresultatet av mediets gravitasjon være en frastøtning som forårsaker akselerert ekspansjon.⁽⁸⁾

Vakuumergergi

Kvantefysikken sier at det ikke er mulig å fjerne all energien i et rom. Det vil alltid være igjen en form for kvantefluktuasjoner som gir opphav til en vakuumenergi.⁽⁹⁾ Virkningen av den er observert for eksempel i lambforskyvningen av spektrallinjer fra hydrogenatomet. Så denne energien er en fysisk realitet. Som all annen energi har den masse og forårsaker gravitasjon. Massen til et volum med energi E er $m = E/c^2$.

Men noen modell for vakuumenergien har vi ikke. Hvis den fyller hele universet kunne man tenke seg at den opptrer som en slags "eter" som definerer et absolutt referansesystem i ro. Men det ser ikke ut til at verden er slik. Ingen har greid å måle hastighet i forhold til vakuumenergi. Kanskje det ikke er mulig? En slik energi kalles lorentzinvariant vakuumenergi, LIVE. Man kan vise at LIVE må ha et strekk, $p_V = -\rho_V c^2$, som innsatt i (1) gir følgende bemerkelsesverdige resultat: *Vakuumenergi forårsaker frastøtende gravitasjon*. Kosmisk energi med denne egenskapen kalles gjerne *mørk energi* og kan forklare at den kosmiske ekspansjonen øker farten.

Den kosmologiske konstanten

Da Einstein i 1918, ti år før universets ekspansjon ble oppdaget, ville bruke gravitasjonslikningene i den generelle relativitetsteorien til å lage en statisk universmodell, fant han ut at det gikk ikke. En universmodell som opprinnelig var statisk, ville begynne å falle sammen på grunn av tiltrekkende gravitasjon. For å kunne lage en statisk universmodell postulerte Einstein at rommet har en iboende tendens til å ekspandere. Denne representerte han i relativitetsteoriens gravitasjonslikninger ved en størrelse som kalles Den kosmologiske konstanten, Λ .

I 1922 brukte russeren Alexander Friedmann de relativistiske gravitasjonslikningene til å konstruere en relativistisk universmodell. Den belgiske pateren og kosmologen Georges Lemaître viste i 1927 at en slik universmodell startet for en endelig tid siden fra en tilstand med uendelig stor energitetthet og høy temperatur, noe som senere ble kalt *Big Bang*.

Da Edwin Hubble i 1928 annonserte at observasjoner av rødforskyvningen til spektrallinjer i lyset fra fjerne stjerner tydet på at universet ekspanderer, omtalte Einstein innføringen av Λ i gravitasjons-likningene som sitt livs største tabbe. I stedet kunne han ti år tidligere ha forutsagt universets ekspansjon ut fra de opprinnelige likningene.

Nå har imidlertid den kosmologiske konstanten kommet til heder og verdighet igjen, dog med en annen betydning enn den Einstein ga den. Av den relativistiske likningen for energibevarelse (kontinuitetslikningen) følger at energitettheten til LIVE ikke endres under universets ekspansjon. I moderne kosmologi representerer Λ *tettheten* til LIVE.

Materiedominert univers med retardert ekspansjon

Den foretrukne universmodellen før det ble oppdaget at universets ekspansjon akselererer, var den såkalte Einstein-De Sitter-universmodellen. Den var dominert av kald materie, størsteparten mørk og av en ukjent type. Denne materien forårsaket tiltrekkende gravitasjon som gjorde at universets ekspansjon ble bremsset ned. Universets fremtidige utvikling var avhengig av massetettheten. Hvis den var større enn den såkalte kritiske tettheten, ville ekspansjonen stoppe opp om noen titalls milliarder år og så begynne å falle sammen. Det hele ville ende med en *Big Crunch* om kanskje femti milliarder år.

Akselerert kosmisk ekspansjon

Alt dette ble endret da den kosmiske akselerasjonen ble oppdaget. Man mener nå at universet inneholder omtrent 30 % materie hvorav mesteparten er av det mørke, ukjente slaget, og 70 % mørk energi, trolig av typen LIVE, som forårsaker frastøtende gravitasjon og akselerert ekspansjon.⁽¹⁰⁾ Universet vil trolig ekspandere stadig raskere enten tettheten er mindre eller større enn den kritiske tettheten, for vakuumenergiens tetthet er konstant under ekspansjonen, mens materiens tetthet avtar.

Perlmutter, Schmidt og Riess har gitt oss et nytt verdensbilde.

Referanser

1. S. Perlmutter et al.: *Discovery of a supernova explosion at half the age of the universe and its cosmological implications*. Nature, **391**, 51 (1998)

2. S. Perlmutter et al.: *Measurements of Omega and Lambda from 42 High-Redshift Supernovae*. Astrophys. J. **517**, 565–586 (1999)
3. A. Riess et al.: *Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant*. Astron. J. **116**, 1009–1038 (1998)
4. Ø. Grøn: *Relativistiske universmodeller*. FFV **56**, (3) 75–83 (1994)
5. Ø. Grøn: *Er universet i en tilstand av akselerert ekspansjon?* FFV **61**, (3) 73–80 (1999)
6. Håvard Alnes, Morad Amarzguoui og Øyvind Grøn: *Inhomogeneous alternative to dark energy*. Phys. Rev. D **73**, 083519 (2006)
7. H. Fagerheim: *Bor vi i universets sentrum?* Forskning. no. 2, november (2006)
8. Ø. Grøn: *Repulsive gravitation and inflationary universe models*. Am. J. Phys. **54**, 46–52 (1986)
9. Ø. Grøn: *Kvintessens – universets vakuumenergi*. FFV **63**, (1) 9–14 (2001)
10. Ø. Grøn: *A new standard model of the universe*. Eur. J. Phys. **23**, 135–144 (2002), november (2006)

∞

Kommentar

Akselererende univers – En nordmann var først!

Årets nobelpris i fysikk er tildelt lederne av to kosmologigrupper for deres påvisning av at universets utvidelse akselererer: Saul Perlmutter i Supernova Cosmology Project, og Brian P. Schmidt og Adam G. Riess i High-z Supernova Search Team. I 1998 publiserte de sine uavhengige undersøkelser av hastigheten til en spesiell type fjerne supernovaer. Deres forbauselse var stor da begge gruppene måtte konkludere med at universets utvidelse ikke ble bremsset opp som man kunne forvente hvis gravitasjon alene fikk virke. Tvert imot: *Universet har en akselererende hastighet.*

Det var et meget omfattende forskningsarbeid som ble publisert, og vi skal ikke her se på de intrikate detaljene, kun skissere metoden i grove trekk. Den interesserte leser henvises i stedet til Øystein Elgarøys gode artikkel på Astrofysisk institutts hjemmeside.⁽¹⁾

Først måtte de finne disse supernovaene. Dette var et arbeid som strakte seg over flere år, for supernovaeksplosjoner er ikke noe vanlig fenomen. Det spesielle med denne type supernovaer, betegnet Ia, er at deres maksimale lysstyrke er omtrent den samme for alle. Det gjør dem til "standard lyskilder" som kan brukes til å bestemme avstandene. Den observerte lysstyrken avtar jo med avstanden, så ved å måle hvor sterk eller svak en slik supernova er, kan man beregne hvor nær eller fjern den er.

Ved å måle hvor mye spektrallinjene fra supernovaene var forskjøvet mot den røde delen av spektret sammenlignet med de samme linjene observert for en kilde i ro, kunne de beregne hastigheten de fjerner seg med. Med denne metoden kan hastigheten måles med stor nøyaktighet.

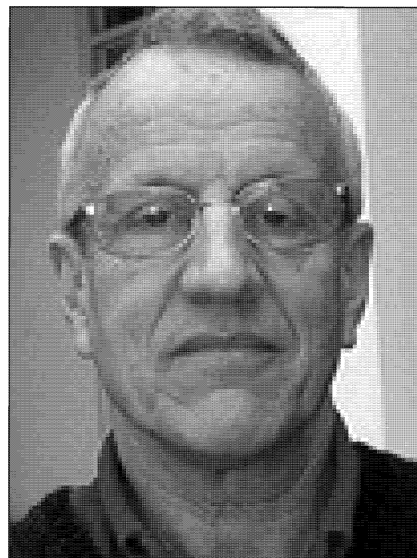
Etter å ha samlet sammen noen titalls supernovamålinger, kunne nobelprisvinnerne beregne hvor fort universet utvidet seg på forskjellige avstander og til forskjellige tider. De ble meget overrasket da det viste seg at universet utvidet seg raskere nå enn tidligere. Universets utvidelse akselererer! Deres overraskelse var stor fordi de antok at det på stor skala bare er én kraft av betydning: den tiltrekkende gravitasjonskraften. Med den skulle man få det motsatte resultat: en decelerasjon.

Men kanskje burde de ikke ha blitt så overrasket? Einsteins feltligninger som anvendes for å beskrive modeller for vårt univers, og som for øvrig snart fyller 100 år, har alltid gitt muligheten for akselererende univers, selv om den fysiske årsaken til dette fremdeles ikke er godt forstått.

Norske målinger

For nesten femti år siden begynte en liten gruppe nybakte kosmologer ved Astrofysisk institutt, Universitet i Oslo, å klassifisere og beregne alle viktige parametere for et stort utvalg av de universmodeller som følger av Einsteins ligninger. Én i denne gruppen, **Jan-Erik Solheim**, bestemte seg for å se på de observasjonene som var tilgjengelige, for å finne hvilken modell som passet best. Han fikk tak i de beste målingene man hadde av den tids standardlyskilder: de sterkeste galakser i store hoper av galakser. Han benyttet de samme metodene som blir brukt for dagens supernova-standard.

Men den lyssterkeste galakse er ikke noen god standard, så resultatene måtte bli tilsvarende unøyaktige. I 1966 publiserte Solheim imidlertid sine resultater i det prestisjefylte engelske tidskriftet *Monthly Notices of the Royal Astronomical*



Society.⁽²⁾ Uten å bli voldsomt overrasket, kunne Solheim konkludere med at observasjonene viste at vårt univers mest sannsynlig hadde en akselererende utvidelse!

Resultatet vakte ikke stor oppsikt, sikkert av flere grunner: Sterkeste galakse i en hop er en unøyaktig standard, og lysstyrken forandrer seg dessuten med tiden siden stjernene i galaksen utvikler seg. Dette siste prøvde Solheim for øvrig å korrigere for og fikk dermed et litt mer korrekt resultat. Akselererende modeller for vårt univers var heller ikke spesielt populære på den tiden, og noe PR-apparat fantes ikke på instituttet.

I dag kan man ved hjelp av en meget god standardlyskilde med stor sikkerhet si at vårt univers har en akselererende utvidelse, men Jan-Erik Solheim sa det først!

Referanser

1. <http://www.mn.uio.no/astro/forskning/aktuelt/aktuelle-saker/astronytt/2011/astronytt-2011-10-10.html>
2. Solheim, J.-E.: *Relativistic world models and redshift-magnitude observations*. *Monthly Notices of R.A.S.*, **133**, 321 (1966)

Rolf Stabell

Var tungtvannssaksjonene i Norge berettiget?

*Hans Christofer Børresen **

Høsten 1942 oppga tyskerne å utvikle atombomben.^(1,2) Realiteten var da at det norske tungtvannet ikke lenger var krigsviktig. Denne artikkelen setter søkelyset på beslutningsprosessene bak tungtvannssaksjonene. Beslutningene var beheftet med svakheter som i stor grad skyldtes britisk hemmelighold med dårlig informasjonsflyt. Leif Tronstads og Niels Bohrs roller i denne sammenhengen drøftes.

Etterpåklokskap?

Vil man lære av historien, må man granske begivenhetene i ettertid og spørre om hva som kunne vært gjort annerledes. Dette må uunngåelig skje i lys av ettertidens erfaringer. Å kritisere er imidlertid ikke det samme som å felle dom over dem som tok beslutningene. De må bedømmes etter hva de hadde av viten og handlingsrom den gang. Glemmer man dette, utsetter man seg for anklage om etterpåklokskap.

England sto alene mot Hitler inntil Sovjetunionen og USA i løpet av 1941 ble trukket inn i krigen. De tyske ubåtene var i ferd med å få overtaket i kampen om forsyningslinjene over Atlanteren. England kunne ikke håpe på å seire over Tyskland, bare å unngå å tape krigen. Dette må man ta hensyn til når man stiller seg kritisk til den atmosfære av hemmelighetskremmeri og frykt som førte til enkelte uheldige beslutninger i kampen om tungtvannet.

De fire tungtvannssaksjonene

Norsk Hydros Hydrogenfabrikk på Rjukan ble reist foran kraftstasjonen på Vemork. Bygningen er nå revet. Konstruktør og leder var Jomar Brun (1904–1993). Professor Leif Tronstad (1903–1945) ved NTH, var konsulent for Hydro. Han fikk i gang elek-

trolytisk anriking av deuteriumoksid (tungtvann) i Hydrogenfabrikkens underetasje kort tid etter at G.N. Lewis hadde oppdaget denne prosessen i 1933 i California. Fabrikken på Vemork var verdens eneste kommersielle produsent av tungtvann.

Det første forsøket på å stanse produksjonen endte tragisk. Den 19. november 1942 ble soldater i britisk uniform sendt av gårde med to Horsaglidere for å landsettes på Hardangervidda. På grunn av dårlig sikt greide de to firemotors Halifaxtrekkflyene ikke å finne målområdet. Gliderne og den ene Halifaxen, forulykket. De overlevende ble summarisk henrettet i henhold til et direktiv fra Hitler, i strid med folkeretten. 41 briter mistet livet.⁽³⁾

Vel tre måneder senere greide sabotører å sprengte elektrolyseanlegget. Ideen var Tronstads egen. Etter nøye planlegging ble aksjonen elegant gjennomført den 28. februar 1943. Ingen liv gikk tapt, og de fleste kommandosoldatene returnerte til England via Sverige. Dette var den egentlige "Tungtvannssabotasjen".

Den 16. november 1943, sendte US Air Force 140 Boeing B-17 flygende festninger for å bombe Vemork og Rjukan. Flystyrken hadde ikke oppdrag på kontinentet denne dagen på grunn av dårlig flyvær der. Som Tronstad hadde forutsagt tidligere, ble ikke elektrolyseanlegget ødelagt. Det var beliggende i kjelleren og dermed beskyttet av den solide fabrikkbygningen over. Et tilsvarende anlegg på Såheim ble ikke rammet. 21 sivile mistet livet.⁽³⁾ Etter dette oppga tyskerne videre anriking av deuteriumoksid på Rjukan.

Den fjerde og siste operasjonen ble å senke dampfergen "Hydro" på Tinnsjøen den 20. februar 1944. Fergen førte last som bestod av tønner med lavanriktet restlut fra elektrolysecellene, og en del teknisk utstyr, som skulle til Tyskland. 14 norske sivile og 4 tyskere druknet. Aksjonen var kontroversiell.⁽³⁾

Dersom leveransene av tungtvann fra Norsk Hydro hadde fått pågå uten forstyrrelser, ville Tysk-

* Tidligere overlege ved Rikshospitalet og professor II ved HiO

land ha mottatt ca. 5 tonn per juni 1944. Dette er nokså nær det Heisenberg trengte for å få i gang en selvgående "uranbrenner". Som det nå var, fikk tyskerne i alt noe under 3 tonn deuteriumoksid.

Advarsler og vantro

Den franske utsending Jacques Allier varslet i mars 1940 generaldirektør Axel Aubert (1873–1943) i Norsk Hydro, om at tungtvann kanskje kunne brukes til å fremstille en atombombe av uran. Aubert og Allier sørget for at beholdningen på 185 kg tungtvann kom til Paris, og ikke til Berlin. Kort tid etter dro Allier til London for å advare om at tysk kjernefysisk forskning kunne bli en trussel.^(4,5) Han møtte ledende fysikere som James Chadwick (1891–1974), John Cockroft (1897–1967), og ikke minst en skeptisk Sir Henry Tizard (1885–1959), vitenskapelig rådgiver for Air Ministry fra 1934. Tizard hadde vært drivkraften bak utviklingen av den radarstøtte som kort tid etter skulle sette det britiske jagerflyvåpen i stand til å vinne "Slaget om Storbritannia" sensommeren 1940. På tross av alarmerende fantasier i media om en superbombe⁽⁵⁾ hadde Tizard og mange med ham, liten tro på at det var mulig å frisette energi i stor skala fra atomkjerner. Dr. Otto Robert Frisch (1904–1979) fra Wien, og professor Rudolf Peierls (1907–1995) fra Berlin, arbeidet begge i Birmingham etter flukt fra Tyskland. De advarte i mars 1940 uttrykkelig om at Tyskland kanskje allerede kunne være i gang med å utvikle atomvåpen.⁽⁴⁾

I USA hadde Leo Szilard (1898–1964), Edward Teller (1908–2003) og Eugene Wigner (1902–1995), "den ungarske sammensvergelse", fått Albert Einstein (1879–1955) til å undertegne en henvendelse til president Roosevelt (1882–1945) om at det hastet med å utforske atomenergien.⁽⁶⁾ Frykten for fiendtlige atomvåpen var sterkt motiverende. Det siste avsnittet i brevet varsler om at sønn av utenriksråden i Berlin, von Weizsäcker, holder på med å gjenta Enrico Fermis (1901–1954) og Szilards siste kjernefysiske studier, og at det er påfallende at Tyskland har stanset eksporten av uran fra Tsjekkoslovakia.⁽⁷⁾ Szilard førte skrivet i pennen like før den annen verdenskrig brøt ut, 3. september 1939, men budskapet nådde Roosevelt først i oktober. Presidenten forsto øyeblikkelig poenget: Hitler måtte ikke få atombomben først.⁽⁶⁾

Strengt hemmelig

Da tyskerne okkuperte Norge og ga ordre om at fabrikken på Vemork skulle øke produksjonen av tungtvann, ble uroen over tysk kjernefysisk forskning forsterket. Publisering av kjerneforskning opphørte etter hvert. Frem mot sommeren 1941 ble britiske fysikere imidlertid klar over at det ikke var mulig å fremstille noen atombombe ved hjelp av uran og tungtvann. Videre forskning etter Frisch og Peierls memorandum fra mars 1940, bekreftet at atomvåpen basert på nukleær kjedereaksjon formidlet av hurtige nøytroner i høyanriket Uran-235, ikke bare var teoretisk, men også teknisk mulig.⁽⁵⁾ Nøytroner nedbremset til termisk fart med tungtvann hadde ikke noe med slike uranbomber å gjøre. Britene antok derfor til å begynne med at tungtvann ikke ville få betydning under den pågående krig. På dette tidspunkt var imidlertid hemmeligholdet så kompakt at slike motforestillinger ikke ble meddelt professor Leif Tronstad og andre på taktisk nivå, som skulle gi råd om, og planlegge, krigsaksjoner mot det norske tungtvannet. Spørsmålet er om de tre uheldige angrepene på den norske tungtvannsproduksjonen kunne vært avverget dersom ledende britiske kjernefysikere hadde fått holde Leif Tronstad og andre på operativt nivå i London, løpende oppdatert. Tronstads votum kunne da fått større gjennomslag.

Uranbomben ikke til å unngå

I mars 1940 leverte Frisch og Peierls et memorandum hvor de viste at en atombombe sannsynligvis kunne lages med en forbausende liten mengde høyanriket Uran-235 (de underestimerte uranets kritiske masse til å være under en kilo), og at slik anriking var teknisk mulig. Frisch hadde som den første, direkte påvist at atomkjernene i uran og thorium delte seg, eller "fisjonerte", under beskytning med nøytroner.⁽⁸⁾ Dette foregikk i romjulen 1938 ved Niels Bohr Instituttet i København. Dokumentet førte til at Tizard fikk opprettet en komité med kodenavnet MAUD sommeren 1940, under Ministry of Aircraft Production, for å koordinere britisk "uranforskning". Komiteen omfattet fysikere fra "øverste hylle". Blant medlemmene var nøytronets oppdager (i 1932) James Chadwick, og John Cockroft, nobelpristagere henholdsvis i 1935 og 1951.

En viktig grunn til at komiteen arbeidet raskt og oppnådde fremragende resultater, var at man ikke

lot hemmelighold være til hinder for at forskerne fikk fullt innsyn i, og kunne drøfte åpent, det arbeid som kollegene drev på med ved universitetene i Cambridge, Oxford, Manchester og Birmingham, samt i firmaet ICI (Imperial Chemicals Industries Ltd.). De "fiendtlige utlendinger", Frisch og Peierls, som vitterlig hadde satt det hele i gang, ble omsider også trukket inn i arbeidet for fullt, til tross for motstand fra byråkrater med typisk stor tro på hemmelighold.

Komiteen kom med sin rapport i juli 1941. Første del beskriver i detalj anriking av uran, og hvordan et kjernevåpen kan fremstilles ved å skyte sammen to uranbiter. Annen del gjelder det banebrytende arbeid som de franske forskere Hans von Halban (1908–1964) og Lew Kowarski (1907–1979) hadde utført i Cambridge i 1940–41, med 185 kg tungtvann fra Norge. MAUD-rapporten tok feil bare på ett avgjørende punkt: Man anbefalte utelukkende anriking av Uran-235, og bagatelliserte Plutonium-239 som mulig spaltbart materiale til atombomber.⁽⁵⁾

Tungtvann ikke krigsviktig?

I atomreaktorer kan tungtvann benyttes til å bremse ned de hurtige spaltningsnøytronene som frigjøres ved kjernefisjon. Nøytronene kolliderer med molekyler i tungtvannet og kommer i termisk likevekt med dem. Slike "termiske" nøytroner beveger seg derfor omtrent like fort som molekyler de kolliderer med. De er da ikke energirike nok til å bli tatt opp av majoritetsisotopen i naturlig uran, nemlig Uran-238, med mindre temperaturen blir svært høy. Frisch og Peierls var i mars 1940, først ute med å presisere at termiske nøytroner umulig kan formidle en eksplosiv kjedereaksjon: Uranet vil ekspandere så fort at de langsomme, termiske nøytroner ikke kan følge med. Ekspansjonen vil derfor raskt stanse kjedereaksjonen.^(5,9) Annerledes i atombomber basert på hurtige nøytroner. Her rekker nøytronene å fisjonere en større andel av det ekspanderende spaltbare materialet. Likevel fisjonerte bare ca. 1,4 % av Uran-235 i bomben over Hiroshima 6. august 1945. Peierls og Frisch arbeidet videre med dette i 1940, og MAUD-rapporten støtter deres syn.⁽⁵⁾

På den annen side kan hurtige spaltningsnøytroner ikke formidle noen kjedereaksjon i naturlig, ikke anrikt uran. Grunnen er at så energirike nøytroner raskt blir tatt opp av majoritetsisotopen Uran-238. Nøytronene når derfor ikke frem

til Uran-235 som er lettere spaltbart. Uranbomben måtte altså ta i bruk høyanrikt Uran-235 og hurtige nøytroner. I den forbindelse er tungtvann helt uten interesse.

MAUD-komiteens utgangspunkt hadde vært den alminnelig utbredte oppfatning at tungtvann kunne ha stor betydning for fremstilling av atomvåpen basert på uran. Etter hvert forsto komiteens fysikere at dette ikke er tilfelle. Tungtvann kunne ene og alene brukes som bremsemiddel (moderator) i energiprodukerende kjernereaktorer. Det var derfor ingen grunn til å tro at tungtvann kunne få betydning for krigen. Britiske fysikere var enige om at de store leveranser av tungtvann som Tyskland hadde sikret seg fra Norsk Hydro, ikke utgjorde den trussel man opprinnelig fryktet.⁽⁵⁾ Komiteen bemerker også at tyskerne nå måtte ha innsett dette.

Plutonium: Tungtvann viktig likevel

Imidlertid bygget det seg opp en økende mistanke om at tungtvannet likevel på indirekte måte, kunne få betydning for atombomben. McMillan og Abelson⁽¹⁰⁾ fra gruppen rundt syklotronens oppfinner, Ernest O. Lawrence (1901–1958) i Berkeley, viste at majoritetsisotopen Uran-238 (element 92) ble omdannet etter opptak av et nøytron til et ustabilt element 93, og videre til et stabilt element 94 med atomvekt 239 (senere kalt Plutonium-239). James Chadwick protesterte mot at dette ble offentliggjort, i juli 1940.⁽⁵⁾ Dette tyder på at han ante hvilken betydning det kunne få.

Hans von Halban og Lew Kowarski hadde tatt med seg det norske tungtvannet fra Paris til Cambridge, da Frankrike falt. De påpekte at en selvgående tungtvannsreaktor kunne produsere store mengder element 94. Chadwick sørget for at denne forskningsrapporten ble hemmeligstemplett og gjemt bort i arkivene til Royal Society. Den dukket opp igjen først 75 år senere. I juli 1941 ble våpenplutonium fra en "uranium boiler" uttrykkelig nevnt i MAUD-rapportens del II,⁽⁵⁾ men dette ville angivelig ikke få betydning for den pågående krig. Halban og Kowarski leverte også inn patentansøkninger. Disse ble først etter noen tid unndratt offentlighet i England. Det viste seg senere at de hadde vært åpent tilgjengelige i Sveits under hele krigen!⁽⁵⁾

Fysikerne Bretscher og Feather sto for den andre

skjellsettende rapporten fra Cambridge. De viste teoretisk at Plutonium-239 meget vel kunne være minst like lett spaltbart som Uran-235. En eksplosiv kjedereaksjon kunne altså utløses i en atombombe basert på Pu-239. Når MAUD-rapporten (del I) likevel hevder at tungtvann ikke vil få betydning i den pågående krig, er nok grunnen at komiteen mente at tilstrekkelige mengder høyanriket Uran-235 kunne fremstilles adskillig raskere enn de 3 til 6 tonn tungtvann som Halban hadde beregnet måtte til for til å få en plutoniumproduserende uranreaktor i gang.⁽⁵⁾ Merkelig nok sies det intet om at situasjonen kunne være helt annerledes for tyskerne som man visste disponerte økende mengder av tungtvann. I USA ble man mer oppmerksom på dette faremomentet etter at Glenn Seaborg (1912–1999) i mai 1941, hadde bekreftet eksperimentelt at Plutonium-239 var enda bedre egnet til kjernevåpen enn Uran-235. Dette ble hemmeligholdt under krigen, men publisert i sensurert form i 1946.⁽¹¹⁾

Tysk plutoniumbombe?

Werner Heisenberg (1901–1976) selv var fullt klar over at Plutonium-239 fra en tungtvannsmoderert "Uranmachine" kunne åpne en snarvei til atombomben. Det fremgår av manuskriptene til Heisenbergs forelesninger i Berlin 26. februar og 4. juni 1942. Året etter, 5. mai 1943, foreleser Heisenberg igjen over teknisk utnyttelse av kjerneenergien. Da sier han intet om element 94, og det passer med at våpenprosjektet var oppgitt. MAUD-rapporten sier nøyaktig det samme som Heisenberg, både om tungtvannsreaktorer og om Plutonium-239 som erstatning for Uran-235 i atomvåpen.⁽⁵⁾ Heisenberg etterlot ingen tvil om at tilførselene av tungtvann fra Vemork ville avgjøre hvor fort en plutoniumbombe kunne fremstilles.

En annen sak er at Albert Speer (1905–1981) satte en stopper for kjernevåpenprosjektet høsten 1942, etter at Heisenberg lot ham forstå at det ville ta lang tid.⁽²⁾ Det betydde at det norske tungtvannet var ute av trusselbildet endog før det første forsøket på å ødelegge produksjonsanlegget på Vemork, 19. november 1942. Speer tok konsekvensen av at krigen ville være avgjort lenge før plutoniumbomben kunne være klar. Det er uvisst om engelskmennene mottok noen etterretningsrapport om Speers beslutning, kanskje fra superspionen Paul Rosbaud. Det er uforståelig at MI6 (Secret Intelligence Service, SIS) fortsatt nekter å frigi Rosbauds rapporter.

Niels Bohr og uranfisjon

Tidlig i 1939 ble Niels Bohr den første som forstod at det bare var minoritetsisotopen Uran-235 som kunne spaltes (fisjoneres) av termiske nøytroner. Uran-238 og Thorium-232, derimot, måtte beskyttes med hurtige, energirike nøytroner for å kunne fisjonere.^(12,13) Bohr bygget her på Otto Frisch' eksperimenter i København ved årsskiftet 1938/39.⁽⁸⁾ Frisch påviste kjernespaltnings ved å registrere store strømstøt i nøytronbestrålte Geiger-Müller-rør som var belagt med et tynt lag med uran, eller thorium, på innsiden.

En av Bohrs mange glimrende forelesninger om dette fant sted i Ingeniørenes hus i Oslo, fredag før tirsdag 9. april 1940. Sven Oluf Sørensen (1920–), senere professor i fysikk ved UiO, var til stede. Bohr var selvsagt kjent med at en selvforsterkende nukleær kjedereaksjon er fullt mulig i Uran-235. Det kommer av at alle de to til tre nøytronene som frigjøres ved kjernefisjonen, kan spalte neste generasjon Uran-235. Mange av disse spaltningsnøytronene har derimot ikke nok energi til å spalte en ny generasjon av det energimessig mer kravstore Uran-238 (eller Thorium-232). Dermed blir det ingen lavineaktige eksplosive kjedereaksjoner i Uran-238.

Bohr, Heisenberg og plutonium

Carl Friedrich von Weizsäcker (1912–2007), Heisenbergs elev, forstod straks at enkelte transuraner måtte kunne brukes som spaltbart materiale i atomvåpen. Han ga feilaktig ²³⁹93 denne rollen, men korrigerte dette etter å ha lest McMillan og Abelsons artikkel.⁽¹⁰⁾ Det er uventet, nærmest en gåte, at Niels Bohr ikke reflekterte over at man her sto overfor en isotop med egenskaper omtrent som Uran-235. Det er uvisst om Bohr leste artikkelen til McMillan og Abelson.

Heisenberg besøkte Bohr i København i september 1941. Heisenberg nevnte da at tyskerne hadde oppdaget en "teknisk gangbar" vei til atombomben.⁽¹⁴⁾ Heisenberg hevdet i det samme intervjuet i *Der Spiegel* i 1967, at Bohr i 1947 ga uttrykk for at han ble svært opprørt over denne urovekkende opplysningen. Heisenberg føyer til at Bohr i 1941 åpenbart ikke hadde gått inn i denne delen av kjernefysikken. Det ser ut til at Bohr ikke fikk seg til å spørre ut Heisenberg om hva den gangbare vei til atombomben egentlig besto i. Bohr gikk altså glipp av en gylden anledning til å

få kjennskap til hva Heisenberg i verste fall kunne bruke det norske tungtvannet til, nemlig å utvinne våpenplutonium fra en tungtvannsreaktor. Imidlertid var dette formodentlig en topphemmelighet som Heisenberg verken hadde vilje eller fullmakt til å røpe. Niels Bohr selv gir på den annen side i ettertid en helt annen forklaring på hvorfor han ble så opphisset i september 1941:

I perioden 1957 til 1962 laget Bohr flere utkast til brev til Heisenberg om deres mislykkede samtale i 1941. I et av brevene (frigitt fra Niels Bohr-arkivet i 2002) hevder Bohr at Heisenberg hadde sagt at tyskerne nå satte alt inn på å utvikle kjernevåpen.⁽¹⁵⁾ Det er sannsynlig at Bohr her hadde misforstått Heisenberg, siden det er på det rene at det ikke var tatt noen tysk beslutning høsten 1941 om å utvikle en plutoniumbombe.

Da Bohr kom til den amerikanske atombombefabrikken i Los Alamos, presenterte han den 31. desember 1943, en skisse av en innretning bestående av metallisk naturlig uran og tungtvann, visstnok med henvisning til opplysninger fra Heisenberg. Bohr trodde dette var en atombombe, men i virkeligheten dreide det seg om en tungtvannsmoderert uranreaktor.⁽¹⁶⁾ Dette tyder på at Bohr ikke hadde fått kjennskap til våpenplutonium. Av denne grunn var Niels Bohrs råd av liten verdi for kampen om tungtvannet. Jomar Brun, sjef på Vemork, ble sittende ved siden av Niels Bohr under en lunsj i England 11. november 1943. På dette tidspunkt hadde Bohr endret oppfatning og blitt klar over at tungtvannet neppe kom til å få betydning før etter krigen.⁽³⁾

Innspill fra Niels Bohr

MAUD-rapportens del II, fra juli 1941, påpeker at en uranreaktor med tungtvann som moderator riktignok kan komme ut av kontroll, men at dette under ingen omstendighet innebærer en kjernefysisk eksplosjon.⁽⁵⁾ Bohr kan ikke ha hatt noen kjennskap til MAUD-komiteen, men han hadde likevel selv kommet til samme resultat, nemlig at termiske nøytroner ikke kan understøtte en kjedereaksjon som er hurtig nok til å bli eksplosiv.

Det merkelige er at Bohr tross dette nok en gang tar opp spørsmålet om man kan fremstille en eksplosiv blanding av naturlig uran og tungtvann ("*mixture of Uranium and Deuterium*"). Dette står å lese i en betenkning fra Bohr til MI6, datert 4. juli 1943. Kopi av dokumentet finnes i Leif Tronstads London-arkiv,⁽¹⁷⁾ og er dessuten funnet nedgravd i

hagen utenfor Bohrs hjem i København (privat informasjon fra Finn Aaserud). Bohrs utgangspunkt er at Uran-235 ikke kan anrikes i mengder av betydning. Han fastholder at rask temperaturøkning i en atomreaktor neppe kan utvikle seg eksplosivt. Høy temperatur vil bremse fisjonen av Uran-235 fordi termiske nøytroner da får så høy fart at de vil bli tatt opp "til ingen nytte" i Uran-238. Bohr åpner likevel for at man med svært store mengder tungtvann kan fabrikere så mange atombomber at de kan benyttes som alternativ til konvensjonelle eksplosiver. Han ville neppe ha gitt seg inn på slike spekulasjoner dersom han hadde vært klar over tungtvannets rolle i fremstilling av Plutonium-239 til våpenbruk.

Oberst J.S. Wilson, sjef for Skandinaviakontoret i SOE (Special Operations Executive), sendte Bohrs vurdering av 4. juli 1943, over til professor Tronstad. Dette utløste en "*first class row*" med "*Welsh in the background*". Eric Welsh i MI6 (Secret Intelligence Service, SIS) forlangte dokumentet tilbake omgående. Wilson tilføyde oppgitt: "*This is how war is waged against the enemy!*" Episoden viser at Commander Welsh ikke forstod at Bohrs skriv var av liten verdi. Det er vel så oppsiktsvekkende at Welsh og SIS åpenbart ikke anså professor Tronstad som rett mottager av antatt viktig etterretning!

Den 30. juni 1943 mottok norsk UD i London en melding fra Stockholm om at Bohr hadde svart ubetinget "ja", på spørsmål om tysk atomforskning kunne få betydning for krigen, og om tungtvannsanleggene ved Rjukan burde ødelegges. På dette tidspunkt var produksjonen av tungtvann allerede i gang igjen etter sabotasjen 28. februar.

Jomar Brun og Leif Tronstad var skeptiske. De varslet FO 4 (Forsvarets Overkommando, 4. kontor for "Operasjoner i ventetiden") i brev av 19. juli 1943, om at Bohrs kategoriske uttalelse "bør sammenholdes med andre fagmenns oppfatning", og at "det er forhold som tyder på at situasjonen ikke er akutt".⁽³⁾

Njål Hole i Stockholm

Leif Tronstad brevvekslet i London-tiden hyppig med sin "unge venn", kjemiingeniør Njål Hole (1914–1988), øyensynlig via Eric Welsh i MI6.

Hole ble i 1954 professor i eksperimentalfysikk ved NTH. Fra 1938 var han assistent ved NTH og arbeidet da med en partikkelakselerator til studier av atomkjerne. Han skulle derfor ha gode forutsetninger for å drive med "*atomic intelligence*". I

Stockholm hadde Hole stilling ved Nobelinstituttet for eksperimentell fysikk. Der ble han kjent med Lise Meitner (1878–1968).

Professor Meitner hadde vært den intellektuelle kraft bak de studier som ledet til oppdagelsen av uranspaltningen i 1938.^(18,19) Hole ble dermed en viktig informant om tysk kjernefysisk forskning for SIS og Tronstad. Hole lot som han bare var vitenskapelig interessert, og skjulte for Meitner at han var etterrettingsagent. Hole var i oktober 1943 til stede da Otto Hahn (1879–1968) foreleste i Stockholm om uranspaltningen som han etter krigen mottok nobelprisen for.⁽²⁰⁾

Tronstad fikk Holes referat oversendt fra Eric Welsh den 7. november. Hahn hevdet at det ikke går å få i gang en kjedereaksjon i naturlig uran basert på termiske nøytroner, men åpnet for at det kunne stille seg annerledes i fremtiden: "Så sa Hahn". Antyder denne kommentaren at Hole ante at Otto Hahn her ga desinformasjon mot bedre vitende? Tronstad ville ha forstått dette hvis han hadde fått tilgang til hva Halban og Kowarski hadde avdekket i Cambridge ved hjelp av det norske tungtvannet. Tronstad kunne da ha reflektert over tyskernes motivasjon for å spre slik desinformasjon.

Hole rapporterer at Hahn til slutt nevnte at isotopen $^{239}\text{93}$ (Neptunium-239) dannes etter opp-tak av et nøytron i Uran-238 ($^{238}\text{92}$). Ikke et ord ble sagt om at $^{239}\text{93}$ avgir en β -partikkel og transmuterer til stabilt $^{239}\text{94}$ (Plutonium-239). Hahn var selvsagt fullt klar over dette fra Heisenbergs forelesninger. Hole visste øyensynlig ikke noe om dette og hadde åpenbart ikke lest publikasjonen fra USA om $^{239}\text{94}$, fra juli 1940.⁽¹⁰⁾ Tronstad var ikke kjernefysiker, og kunne bare ha kjent til $^{239}\text{94}$ dersom han hadde fått tilgang til MAUD-rapporten. Hadde Hole og Tronstad kjent til dannelsen og betydningen av Plutonium-239, ville de ha fått mistanke om at det kunne bety noe viktig at Hahn hoppet over nettopp dette. Ufullstendig informasjon kan være subtil desinformasjon, og desinformasjon kan kaste lys over fiendens hensikter.

Svekket tysk atomtrussel

Hva britene visste om tysk atomforskning, og særlig hvem som fikk del i opplysningene, og når, lar seg bare delvis avdekke nå. Fysikeren Reginald Victor Jones (1911–1997) var vitenskapelig rådgiver for The Air Ministry. Han regnes som pioneren innen vitenskapelig og elektronisk etterretning under den annen verdenskrig. Om ham sa Winston Churchill:

"Han gjorde mer for å redde oss fra katastrofen enn mange som prydes med glitrende dekorasjoner."

Jones var så opptatt med å avsløre og bekjempe tysk radionavigasjon for bombefly, og en rekke andre hemmelige våpentekniske prosjekter, at han uheldigvis overlot "*atomic intelligence*" til klart mindre kompetente folk, som Eric Welsh i MI6. Jones understreker i sin bok fra 1989,⁽²¹⁾ at "Rosbaud (...) hjalp oss til korrekt å konkludere at tyskernes arbeid med å utløse atomenergi på intet tidspunkt kom utover forskningsstadiet; informasjonen fra ham dempet den frykt som ellers ville fylt oss."

Paul Rosbaud (1896–1963) ble rekruttert av Frank Foley (1884–1958) i Berlin før krigen. Foley er kanskje den av MI6s agenter som menneskeheten har mest å takke for: "*FOLEY – the spy who saved 10,000 jews*".⁽²²⁾ Dersom britene var i tvil om Rosbauds troverdighet, kunne de ha spurt Foley. Han hadde kunnet slå fast at Rosbaud var antinazist, gift med en jødisk kvinne, og at han aldri ville formidle desinformasjon. Rosbaud var sjef for vitenskapsavdelingen i Springer-Verlag og hadde derfor nære kontakter med tyske forskere. Det var Rosbaud som besørget øyeblikkelig offentliggjøring av Otto Hahns og Fritz Strassmanns oppdagelse av uranspaltningen.⁽²³⁾ Det har vært hevdet at Rosbaud på denne måten ville sikre at Vestmaktene fikk rask kjennskap til dette urovekkende funnet før tysk hemmelighold kunne hindre det. Rosbauds navn er ikke engang nevnt i det offisielle historieverket om britisk etterretning.⁽¹⁾

Sommeren 1943 antok forskere ved britenes uranprosjekt, "*Directorate of Tube Alloys*", at man kunne se bort fra faren for en tysk atombombe. Tidlig i 1944 mente etterretningseksperter at det heller ikke var fare for at tyskerne skulle produsere store mengder radioaktive spaltningsprodukter til bruk i "*dirty bombs*".^(5,1) Amerikanerne var skeptiske til dette syn⁽⁵⁾ Britene forstod at tysk atomforskning ikke lenger gjaldt kjernevåpen, men derimot kjernekraft.⁽¹⁾

I en rapport av 28. november 1944,⁽¹⁾ til sjefen for det amerikanske atombombeprosjektet, brigadér L.R. Groves, og den britiske finansminister som sto i spissen for "*Directorate of Tube Alloys*", heter det: "Tungtvann er ikke essensielt i samme betydning som Uran", og "2,5 tonn tungtvann er levert til Tyskland." Rapporten sier også at tysk uranforskning ble nedprioritert fra slutten av 1942. Den altfor begrensede krets som fikk del i hva britene faktisk visste i 1943 og 1944, var altså fullt klar over at

tungtvannet ikke lenger representerte noen trussel.

Blandet etterretningsbilde

Meldingene fra Tyskland var imidlertid ikke entydig beroligende. Det hører med til bildet at fysikeren Fritz Houtermans (1903–1966) hadde greid å få ut en advarsel fra Berlin, visstnok via Sveits: "*Hurry up. We are on the track.*" Houtermans var nærmest tvunget til å arbeide teoretisk med plutonium til våpenbruk ved Manfred von Ardennes private forskningslaboratorium i Berlin. Eugene P. Wigner bekrefter i sin selvbiografi at telegrammet med meldingen fra Houtermans ble mottatt i reaktormiljøet i Chicago i 1942.⁽²⁴⁾ Leslie R. Groves (1896–1970), administrativ leder av USAs atomprogram, "Manhattan Engineer District", la stor vekt på hemmelighold og alarmistiske etterretninger. Han fryktet nok at programmet hans kunne bli nedprioritert dersom det ble kjent at Albert Speer hadde stanset det tyske kjernevåpenprosjektet. I 1944 var imidlertid general Groves og James Chadwick begge på det rene med at Hitler ikke lenger utgjorde noen atomtrussel. Da den polske fysiker Joseph Rotblat (1908–2005) fikk vite dette, valgte han å forlate atombombefabrikken i Los Alamos. Groves sa at målsetningen nå var å få overtaket på Sovjetunionen. Rotblat og Pugwash-organisasjonen delte Nobels fredspris i 1996. På tysk side ønsket Heisenberg og andre, at tungtvann og uran fortsatt skulle se ut til å ha høy prioritet for å unngå at talentfulle forskere ble tatt ut til militærtjeneste.⁽³⁾

Leif Tronstad: Begrenset viten, god dømmekraft

Den 8. august 1942, oversendte Tronstad til Eric Welsh en avskrift av artikkelen "Drivstoff ved atomspaltning?" fra Teknisk ukeblad nr. 21, 1942. (Welsh leste og talte norsk.) Artikkelen sier intet om tungtvann, men påstår at nøytronene må bremses ned med vann for å unngå en eksplosiv uranspaltning. Dette er ikke særlig opplysende, men det er likevel en snev av sannhet i at termiske nøytroner ikke utgjør noen fare for eksplosjon. Tronstad hadde neppe formidlet videre en slik villedende publisasjon dersom britiske fysikere hadde informert ham om hva MAUD-rapporten slo fast om kjernevåpen, atomreaktorer, tungtvann og plutonium. På den annen side var Tronstad tidlig klar over at den kritiske mengde tungtvann for tyskerne

antagelig lå mellom 4 og 5 tonn (Tronstads London-dagbok, 17. november 1942). Jomar Brun sørget i 1942 for at Tronstad fikk vite at Paul Rosbaud hadde fortalt fysikeren Harald Wergeland (1912–1987) at det ikke var fare for noen tysk atom-bombe. I juli 1942 oversendte Brun dessuten Tronstad en beskjed fra den tyske kjernefysiker Hans Suess (1909–1993), om at tungtvannet ikke var krigsviktig.⁽³⁾ Suess var rådgiver på Vemork. Her har vi vel noe av grunnen til at Brun og Tronstad var skeptiske til rådene fra Niels Bohr.

Leif Tronstad var i likhet med Niels Bohr ukjent med tungtvannets rolle i plutoniumveien til atom-bomben. Han fikk heller ikke del i britisk etterretning om at Tyskland valgte å avstå fra utvikling av kjernevåpen. Dersom hemmeligholdet ikke hadde påført Tronstad disse begrensninger, kunne hans imponerende sikre dømmekraft bidratt avgjørende til å styre beslutningsprosessene bak tungtvannssaksjonene i mer rasjonell retning.

Friere informasjonsflyt, bedre beslutninger

Det var to avgjørende fakta som ikke tilfløt dem som skulle treffe avgjørelser om tungtvannssaksjonene. For det første var britiske forskere klar over allerede tidlig i 1941, at tungtvann ikke kunne brukes til å lage noen atombombe av uran. Samtidig var det klart at Heisenberg ville trenge flere år på å få tak i plutonium fra brukt brensel fra en tungtvannsmoderert uranreaktor. Det hastet altså ikke med å avbryte leveringen av tungtvann fra Norge til Tyskland. For det annet mottok man fra 1942 stadig meldinger som tydet på, men som neppe ga helt sikre bevis for, at tyskerne ikke lenger satset på kjernevåpen.

Oberst J.S. Wilson i SOE beklaget etter krigen den katastrofale luftbårne kommandooperasjonen mot Vemork i november 1942. Han sier: "Man var fullt klar over at operasjonen var uvanlig farlig (...) Værforholdene på sensommeren og høsten 1942 var ekstremt ugunstige."⁽³⁾ Hadde Wilson, Tronstad og andre vært klar over at det ikke var noen grunn til hastverk, kunne de kanskje ha gjort sin innflytelse gjeldende for å få utsatt aksjonen. Tronstad ble faktisk rådspurt av britene.

Det var Tronstad selv som foreslo den sabotasjeaksjonen som ble utført 28. februar 1943 med stor suksess.⁽³⁾ Som tidligere nevnt, hadde Tronstad allerede i 1942 via Jomar Brun, fått signaler om

at tungtvannet ikke var krigsviktig.⁽³⁾ Trolig innså Tronstad at sabotasjen måtte gjennomføres likevel for å unngå alliert bombing.

Intet kan sies til forsvar for bombing av Vemork og Rjukan som US Air Force utførte 16. november 1943. Tronstad var sterkt imot bombing og hadde gitt gode grunner for dette til to amerikanske offiserer våren 1942.⁽³⁾ Tronstads tidligere student og medarbeider ved NTH, metallurgen Jan Herman Reimers (1914-), hadde også kommet over til London. Reimers hadde avtale med RAF Bomber Command, om at britene skulle avstå fra bombing (Reimers, personlig meddelelse). Enten tok US Air Force ikke hensyn til dette, eller rette vedkommende var ikke oppmerksom på avtalen. Bombetoktet kunne vært unngått dersom de offiserer som hadde ansvaret var blitt informert om at Tyskland ikke lenger representerte noen atomtrussel.

Planen om å senke dampfergen "Hydro" hadde vært helt oppom Sir John Anderson, statsråden med det øverste ansvaret for britisk atomforskning. Forsvarsminister Oscar Torp, forsvarssjef Hansteen og oberst J.S. Wilson var også informert.⁽³⁾ Imidlertid oppsto det tvil om aksjonen var berettiget. Vemork-ingeniøren Kjell Nielsen, som selvsagt ikke ante at tyske atombomber slett ikke var underveis, understreket 14. februar, seks dager før fergen ble senket, at lasten bare besto av lavanriket rest-lut og noe utstyr som neppe kunne komme tyskerne til nytte. Nielsen og sabotøren Knut Haukelid, ba derfor London om å revurdere ordren.⁽³⁾ Jomar Brun opplyser ikke hvem som i løpet av noen timer revurderte, og deretter bekreftet, ordren.

Som tidligere nevnt, fikk Anderson først senere, nemlig 28. november 1944, en rapport om at tungtvannet ikke lenger var av betydning. Det virker usannsynlig at Anderson ikke ante noe om dette på forhånd, og det er derfor overraskende at han godkjente planen i første omgang. Tronstad ble nødt til å gi klarsignal, men led ved tanken på uskyldige ofre.⁽³⁾ Jomar Brun undret seg over aksjonen, men Tronstad forklarte da at om ikke fergen var blitt senket, ville transporten antagelig blitt bombet, med enda større tap av menneskeliv.⁽³⁾ Det er uvisst om Sir John Anderson også så det slik. Denne helt unødvendige aksjonen er et klart eksempel på hva som kunne vært unngått dersom hemmeligholdet hadde vært mindre strengt, slik at Tronstad, Wilson, Torp og Hansteen hadde vært rimelig godt orientert om at Tyskland ikke lenger var med i noe kappløp om atombomben.

Lærdom: Hemmelighold med måte

Fysikeren og etterretningspioneren R.V. Jones ga i 1989 en innsiktsfull og fornøylig oversikt over konsekvensene av overdrevent hemmelighold.⁽²¹⁾ Han skriver: "Det mest opplagte faremoment ved eksessivt hemmelighold er at det kan bli til hinder for at informasjonen når frem til folk som har et ekte og legitimt behov for den i sitt arbeid for statens interesser." Historien om hvordan hemmelighold ble til skade for beslutningsprosessene bak krigsaksjonene mot det norske tungtvannet, viser at denne advarselen fra R.V. Jones var, og er, berettiget. Ikke bare Tronstad, Eric Welsh og J.S. Wilson, men også den norske forsvarsministeren Oscar Torp og forsvarssjef Hansteen, skulle ha vært holdt adekvat informert. Det samme gjelder høyere offiserer i britenes Bomber Command og i US Air Force i England.

Takk

Forfatteren takker Jan Herman Reimers, Sven Oluf Sørensen og Leif Tronstad jr. for gode samtaler og verdifulle opplysninger.

Referanser

1. F.H. Hinsley et al.: *British Intelligence in the Second World War, Vol. 3, Part II*. H.M.S.O., London (1988)
2. Albert Speer: *Erinnerungen*. Verlag Ullstein GmbH, Frankfurt (1969)
3. Jomar Brun: *Brennpunkt Vemork 1940–1945*. Universitetsforlaget AS, ISBN 82-00-06864-1 (1985)
4. Ronald W. Clark: *Tizard*. Methuen & Co Ltd, London (1965)
5. Margaret Gowing: *Britain and Atomic Energy 1939–1945. United Kingdom Atomic Energy Authority 1964*. Palgrave. ISBN 0-333-02685-3 (1964)
6. Richard Rhodes: *The Making of the Atomic Bomb*. Simon & Schuster, New York, ISBN 0-684-81378-5 (1986)
7. Edward Teller (with Judith Shoolery): *Memoirs, A Twentieth-Century Journey in Science and Politics*. Perseus Publishing, ISBN 0-7382-0778-0 (2001)
8. O.R. Frisch: *Physical Evidence for the Division of Heavy Nuclei under Neutron Bombardment*. Supplement to Nature, **276**, February 18. (1939)
9. Robert Serber: *The Los Alamos Primer. The First Lectures on How to Build an Atomic Bomb*. University of California Press (1992)
10. Edwin McMillan and Philip Hauge Abelson: *Radioactive Element 93*. Phys. Rev. **57**, No. 12, 1185-86 (1940)

11. J.W. Kennedy, G.T. Seaborg, E. Segré, A.C. Wahl: *Properties of 94(239)*. Phys. Rev. **70**, 7 & 8, 555-6 (1946)
12. N. Bohr: *Nyere undersøgelser over atomkernernes om-dannelser*. Oversiktsartikkel udarbejdet paa Grundlag af et Foredrag holdt i Selskabet for Naturlærens Udbredelse den 6. December 1939. Fysisk Tidsskrift, **39**, (1941)(Særtrykk: Svenska Fysikersamfundets publikation Kosmos, band 24, 24-57 (1946))
13. Niels Bohr and John Archibald Wheeler: *The Mechanism of Nuclear Fission*. Phys. Rev. **56**, 426-450 (1939)
14. Werner Heisenberg: *Intervju*. Der Spiegel, Nr. 28, 3. 7. —1s. 79-83 (1967)
15. A. Abbott: *Physicist's letters reveal clues to bitter wartime rift*. Nature, **415**, 14. February, 720 (2002)
16. Jeremy Bernstein: *The Drawing or Why History is Not Mathematics*. Phys. Perspect. **5**, 241-261 (2003)
Se også:
Jeremy Bernstein: *What Did Heisenberg Tell Bohr about the Bomb?* Scientific American, 72-77, May (1995)
17. Leif Tronstad: *Dagbok og arkiv fra London 1941-1944*.
18. Ruth Lewin Sime: *Lise Meitner: a life in physics*. University of California Press, ISBN 0-520-20860-9 (1997)
19. Fritz Strassmann: *Im Schatten der Sensation. Leben und Wirken von Fritz Strassmann*. Verlag Chemie, ISBN 3-527-25818-3 (1981)
20. Elisabeth Crawford, Ruth Lewin Sime, Mark Walker: *A Nobel Tale of Postwar Injustice*. Physics Today, September, 26-32 (1997)
21. R.V. Jones: *Reflections on Intelligence*. William Heinemann Ltd., London, ISBN 0 434 37724 4 (1989)
22. Michael Smith: *FOLEY the spy who saved 10.000 Jews*. Revidert utgave. Methuen Publishing Ltd., London, ISBN 1 84275 114 X (2004)
23. R.V. Jones: *A merchant of light*. Nature **325**, 203-204 (1987)
24. Wigner: *The Recollections of Eugene P. Wigner*. Basic Books 1992, ISBN 0-7382-0866-8 (Paperback 2003)

Supplerende lesning

1. Sven Oluf Sørensen: *Tysklands atombombeprosjekt - Del I*. FFV, **69**, nr. 4, 115-123 (2007)
2. Sven Oluf Sørensen: *Tysklands atombombeprosjekt - Del II*. FFV, **70**, Nr. 1, 6-22 (2008)
3. Heidi Kristine Toft: *Kjernevåpens fysikk og virkemåte*. FFV, **71**, Nr. 4, 108-113 (2009)

∞

Vatn i nanorør

Emil J. Samuelsen *

”Nano” er framleis høg mote i material-fysikken, og mykje interessant har skjedd på nanofeltet. Der finst mange fundamentale spørsmål å studere, og der er mange tekniske problem ein kan løyse med nanofysikk og nanoteknologi. Her skal vi ta for oss karbon-nanorør og drøfte spørsmålet om dei kan fun-gere som ”vassleidningsrør”.

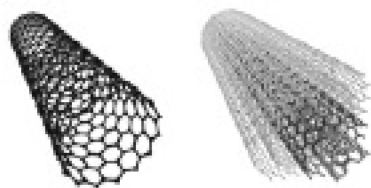
Innleiing

Nanorør av karbon (C) var første gong beskrive i 1992 som eit etterresultat av oppdaginga av fot-ballmolekylet C_{60} , *fullerene*, i 1985, og som ein forløpar til framstilling av enkeltflak av grafitt, kalla *grafén*, i 2004. Nanorør kan godt beskrivast som oppkrølla bitar av grafén. Dei kan vere det ein kallar for SWNT (single-wall nano tubes), eller MWNT (multi-wall nano tubes), og kan framstillast med diametrar 0,5-50 nm og rørlengder 1 μm – 1 mm. Ein illustrasjon er vist i figur 1. Nanorør kan vere lukka i endane eller vere opne; i dag har ein i

* Institutt for fysikk, NTNU.

stor grad kontroll med dette. Det lengste karbon-nanorøret som er registrert, er heile 18,5 cm langt.

Når ein uinnvidd person blir vist bilde av nanorør, som figur 1, er det ikkje unaturleg at han lurar på i kva grad desse konstruksjonane er realistiske. Som fysikarar har vi lært at på molekyl- og atomnivå er det kvantemekanikk som gjeld, og at utstrekninga av molekyla og atoma ikkje er skarpe, men er gitt av elektronfordelinga, som avtar gradvis og kontinuerleg frå atoma og utover. Er der verkeleg "opent" rom inne i nanorøret? Kan andre atom eller molekyl bli plasserte inne i røret? Kan dei i så fall forflytte seg i røret nærmast som vatn i ein hageslange? Og i fall røret kan hyse andre molekyl, er det då "tett" i veggane slik at molekylet ikkje finn veg ut gjennom "opningane" i karbonsekskantane? Det er med andre ord spørsmål om vår billedlege førestilling om "rør" er realistisk, og om ein kan overføre makroskopiske betraktningar i form av klassisk hydrodynamikk på desse nano-konstruksjonane.⁽¹⁾



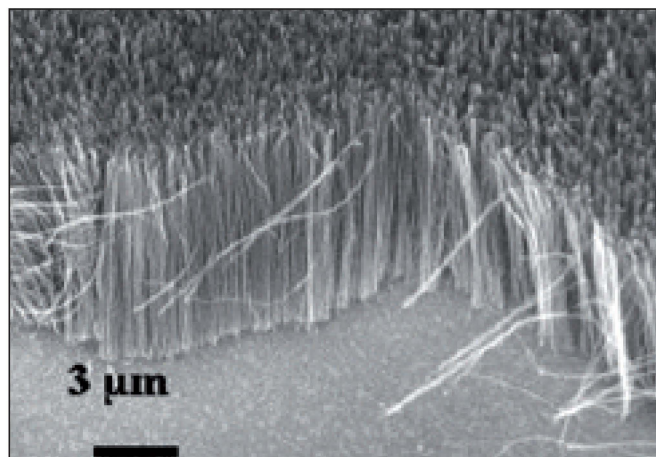
Figur 1. Til venstre: SWNT, eit enkeltrør av karbon. Til høgre: MWNT, eit multirør av karbon med lukka ende.

Laboratorieeksperiment

Eksperiment med nanorør det siste tiåret har vist at dei i mangt verkeleg kan betraktast som "rør", i den forstand at dei kan leie gassar og væsker, men dei er ikkje heilt som andre rør, har det vist seg.

Slike eksperiment er krevande. Dei må leggest opp slik at ein må kunne vite at *fluida* (dvs. gass og væske) verkeleg går inn og ut av røra, og ein må kunne måle mengdene og farten.

Ein metode er å lage buntar med innretta nanorør, som ein så greier å støype inn i ein membran av ein polymer (som polystyrén) på ein slik måte at røra stikk ut av membranen på begge sider.⁽²⁾ Nanoteknologien er blitt så raffinert at ein etterpå er i stand til å fjerne eventuelle polymer-



Figur 2. Eit elektronmikroskopbile (SEM) av ei matte av einsretta karbonnanorør.

restar på rørendane og kappe røra så dei blir like lange. Membranen må sjølvsagt vere tett mellom røra.

Ein variant er å gro nanorøra på ei silisium-overflate, der dei har ein utprega tendens til å gro loddrett på overflata.⁽³⁾ Så nyttar ein kjemisk fordampingsteknikk (CVD) til å fylla silisiumnitrid mellom røra til ein tett film. Silisiumnitridfilmen med nanorøra blir løsna frå silisiumflata, og overflatene blir til slutt raffinerte ved at ein etsar bort overskot av fyllstoffet og opnar tiltetta rør. Indre rørdiametrar er oppgitt til verdier frå 2 til 15 nm.

I tredje tilfelle laga dei "kunstige" nanorør ved å starte ut frå nanoporøst aluminiumoksid og dampe amorft karbon over som legg seg på alle flatene, også inne i porane.⁽⁴⁾ Desse "nanorøra" har noko større diameter, rundt 45 nm. Dei ferdige membranane vart kontrollerte mellom anna med elektronmikroskopi. Å sette trykk over membranen og måle gjennomstrøymingsfart, er greitt å utføre.

Simuleringseksperiment

Datasimulering av fysiske fenomen er blitt nesten like vanleg som å eksperimentere i laboratoria. Ved datasimuleringar er det enklare og greiare å variere eksperimentvilkåra, og dei kan gi tilleggsinnsikt utover det som laboratorieeksperimenta kan. Men dei kan sjølvsagt ikkje komme i staden for lab-forsøka. Eit nøkkelspørsmål ved simuleringseksperiment er å gjere val av vekselverknaden mellom fluidmolekyla og nanorørmaterialet. Det er publisert mange simuleringar av vatn i nanorør. Litt lenger framme skal eg diskutere eitt av dei.

Vatn i nanorør

I utgangspunktet var det ikkje sikkert at det i det heile ville vere mogleg å få vatn til å gå inn i karbonnanorør. Reint karbon, som grafitt eller diamant, lar seg ikkje i særleg grad fukte av vatn, det er *hydrofobt*, som ein seier. Men då forskarane tok ein dropent vatn på ein bunt med karbonnanorør, blei vatnet borte etter ei tid, det blei soge inn i røra. Dette var uventa, og desse tidlege eksperimenta vart då også tolka i retning av at nanorøra er *hydrofile*. Indirekte stønad for det fann ein i det at elektrisk leiingsevne for nanorør er større med vatn til stades, forstått slik at vatnet *dopar* nanorørmaterialet og såleis går inn i ei svak kjemisk sambinding med karbonet. Men studia av vatn gjennom membranar med nanoopningar stør ikkje denne konklusjonen. For dei viste at gjennomstrøyming av vatn gjennom nanorøra var mykje større enn ein hadde venta. Dersom gjennomstrøyminga av væske var av same natur som i kvardagslege vassleidningar, venta ein å finne at vatnet ville følgje Hagen-Poiseuille-likninga for klassisk, laminær newtonsk straum av væsker.⁽¹⁾

$$Q_L = \pi R^4 \Delta p / (8\eta L) \quad \text{og} \quad v_L = R^2 \Delta p / (8\eta L) \quad (1)$$

Q_L er volumraten av fluidet, og v_L er gjennomsnittleg fluidfart over rørtverrsnittet, πR^2 . R og L er radius og lengd av røret, og Δp er trykkfallet over røret frå inngang til utløp. η er dynamisk viskositet. Den klassiske formelen gjeld for tilfelle der fluidfarten er null på rørveggane og aukar monotont inn mot midten av røret.

I eit eksperiment i 2005⁽²⁾ med rørradius $R \approx 7$ nm og rørlengd $L \approx 34000$ nm, og med trykkfall på 1 bar = 10^5 N/m², observerte dei ein fart opptil $v_L = 0,44$ m/s med vatn. Vatn har viskositet $\eta = 1,0 \cdot 10^{-3}$ Ns/m², og skulle etter Hagen-Poiseuille ha gitt ein fart på berre $1,8 \cdot 10^{-6}$ m/s, altså ein faktor om lag $2,5 \cdot 10^5$ i forskjell! Tilsvarande avvik frå klassisk oppførsle blei registrert for etanol, C₂H₅OH, og for dekan, C₁₀H₂₂, om enn ikkje så store tal. I eit anna forsøk⁽³⁾ med mindre radius, $R \approx 1,0$ nm, vart også store avvik registrerte, mellom 1000- og 4000-foldig. Større radiar,⁽⁴⁾ $R \approx 22$ nm, gav også større strøymingsfart enn den klassiske formelen, jamvel om avviket her var rapportert å vere "berre" av storleik 20–40 gonger for både vatn, etanol og dekan.

Strøymingsmekanisme

Det er eigentleg ikkje uventa at strøyming gjennom mikroskopiske opningar ikkje følgjer dei klassiske lovene, fordi forholdet mellom overflate og volum vil vere større i trange rør slik at kontaktkrefter mot veggane vil spele ei større rolle. Men ein hadde vel ikkje føresett at avviket i strøymingsfart skulle vere opptil fleire tiarpotensar. Utgangspunktet for ei forklaring er spørsmålet om vekselverknaden mellom vassmolekyl og karbonatoma i rørveggen.

Det er velkjent at vatn ikkje fuktar grafittoverflater, men prellar av i dropar, og det klassiske bilde får problem fordi det føreset at det første molekylaget mot overflata er i ro. Ei utviding av Hagen-Poiseuille-modellen er å opne for at væska også kan *gli* over stykke av overflata, og det blir gjort ved at ein innfører parameteren *glilengd*, l_S , som modifierer (1):

$$Q_L = \pi(R^4 + 4R^3 l_S) \Delta p / (8\eta L)$$

og

$$v_L = (R^2 + 4R l_S) \Delta p / (8\eta L) \quad (2)$$

I enkelte samanhengar er det nyttig også å innføre begrepet *strøymingsmotstand* ved hjelp av ein *frik-sjonskoeffisient*, λ , som kan relaterast til viskositet og glilengd ved ein enkel formel:

$$\lambda = \eta / l_S \quad (3)$$

Måleresultata kan beskrivast ved å tilpasse verdiane for l_S . For eksperimenta ovanfor blir verdiane i mikrometerområdet, og altså større enn både rørdiametrane og rørlengdene. Men dei er også mykje større enn verdiane ein finn for l_S for vatn mot ordinære grafittflater (nokre nm). Dette skulle tyde på at vatnet glir nesten fritt gjennom røret, mest som ein tapp, og at nanorøra har karakter av å vere bortimot "supraleiande" for vatn.

Verdiane for l_S i nanorør er omtrent dei same for etanol, og det kan vel tilskrivast hydroksylgruppa, OH, i begge stoffa. Den har liten affinitet til karbon. Dekan gir noko lågare verdiane, som er i samsvar med at hydrokarbonmolekylet har ein viss bindingsevne til karbon.

Simuleringstolking

Det er blitt utført mange datasimuleringar av fenomenet. Nyleg vart eit særskild grunndig molekyl-dynamisk simuleringarbeid publisert i *Nano Let-*

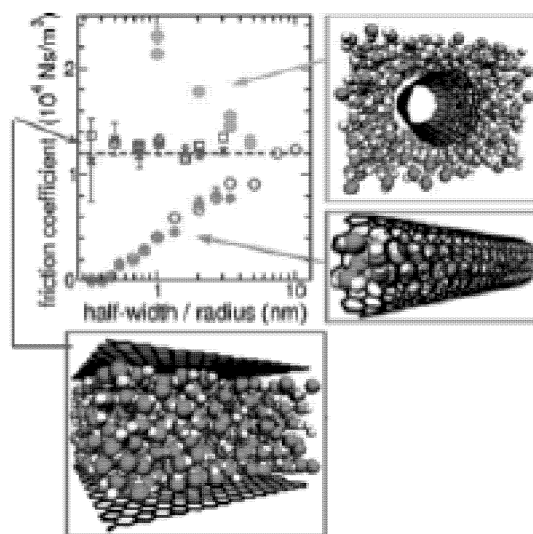
ters (oktober 2010),⁽⁵⁾ som moglegvis kastar nytt lys over vassleidningsspørsmålet. Val av vekselverknadspotensial vart gjort ved tilpassing til målingar på vassdropar på grafitt. For detaljane må ein studere det publiserte arbeidet.⁽⁵⁾ Forskarane studerte vatn mellom grafénplan, med ulike planavstandar mellom 0,7 og 12 nm, og vatn *inne i*, men også *utanpå*, karbonnanorør av ulike radiar mellom 0,35 og 11 nm.

Resultata er oppsiktsvekkjande. Dei fann i samsvar med observasjonane (og også i samsvar med fleire tidlegare simuleringsarbeid), at strøymingsfarten er uventa høg gjennom nanorøra. Men nytt er det at strøymingsmotstanden, λ , inne i røret er mindre enn utanpå, og dessutan ulik motstanden mellom grafénplan. Strøymingsfarten blir altså påverka av krumminga av karbonflatene som vatnet glir over. Resultata er oppsummert i figur 3.

'Inne'-friksjonen aukar med rørdiameteren, medan 'ytter'-friksjonen minkar, og dei synest å bli like store ved store rørradiar og lik med planfriksjonen, og den er uavhengig av planavstand. Tilsynelatande er der ei nedre diameter-grense på om lag 0,5 nm, der all motstand blir borte. Forklaringa er at for så små diametrar er det ikkje plass til meir enn eitt vassmolekyl i rørtverrsnittet, og då er vassmolekyla "ordna" i kjeder langs røret nesten som ein fast fase, og kan strøyme koherent utan sidevegs forflytting, i heile rørlengda, noko som gir minimal friksjon. Forskarane er av den oppfatning at den låge friksjonen inne i nanorøret har samband med at der er lite kommensurabilitet mellom grafittgitret i veggane og strukturen i vatnet. (Orda "kommensurabel" og "kommensurabilitet" blir brukt om grad av samsvar mellom dei atomære dimensjonane der to stoff er i nærkontakt med kvarandre). For rørradiar over denne kritiske grensa er der framleis ein betydeleg grad av orden i vatnet inne i røret, medan det utanpå ikkje er same grad av påtvungen orden, noko som kan forklare effekten av den innvendige krumminga på rørslemotstanden. Når radien blir stor, blir rørveggane mindre krumme, og situasjonen nærmar seg den mellom plane grafénflater, som ein ser av figur 3.

Relevans

Strøyming av vatn gjennom nanostrukturar føregår heile tida i levande organismar. I planter stig vatn frå røtene gjennom kanalar like til toppen, også for dei høgste trea. Både i planter, bakte-



Figur 3. Resultat av datasimuleringa: Friksjonskoeffisienten λ som funksjon av rørradius, R , eller halve grafénplanavstandar for strøyming av vatn (1) utanpå og (2) inni nanorør, og (3) mellom grafénplan, gjeld etter tur: (1) Øvste kurve, geometrien illustrert i ruta øvst til høgre; (2) Nedste kurve, geometrien i nedre ruta til høgre; (3) Midtre kurve, geometrien i ruta under kurvene. (Gjengitt frå ref. (5) med løyve frå American Chemical Society).

riar og dyr skjer det væsketransport på tvers av biologiske membranar i cellene, ofte i samband med skilje- og reinse-prosessar. Eit eksempel er kanalane som går under namnet *akvaporin*, som er viktige "vassleidningar" i pattedyr. Det er proteinstrukturar med traktformige kanalar av lengder i 10 nm-området, med minste diameter 0,3–0,4 nm, og med veggar som dels er hydrofobe, dels hydrofile gjennom kanalen. Studiet av vatn i karbonnanorør kan tene som ein arena for å forstå transport i slike biologiske kanalar. Også transport i andre mikroporøse materiale, som bergartar, jord og torv, kan nemnast.

Mange forskarar meiner at kunstige membranar med porar av karbonnanorør kan ha framtidige nytteområde i teknikk og industri. Den store gjennomstrøymingsfarten kan utnyttast slik. Til dømes vil ein strøymingsfart på 0,1 m/s med poretettleik på kanskje 10^{10} per cm^2 gi ei gjennomstrøyming på 0,1 cm^3/s per cm^2 membranareal. Med veldefinerte kanaldiametrar og betydeleg kanaltettleik i dei ferdige membranane, kan dei takast i bruk for reinsing av vatn gjennom nanofiltrering, for eksempel avsalting av vatn. Mange meiner at dei også kan få industriell-teknologisk betydning i framtida for

”mikrofiltrering” og anna skiljing av substansane i væsker.

Avslutning

Det er fint mogleg å få vatn til å strøyme gjennom karbonnanorør med tverrmål av storleik 0,5–50 nm, og gjennomstrøymingsraten er fleire tiarpotensar større enn klassisk hydrodynamikk skulle tilseie. Dette interessante resultatet har samanheng med at vatn har liten bindingsevne til karbon, men også at vassmolekyla ordnar seg i trange rør til ein is-aktig tilstand. Datasimuleringar opnar dessutan for at rørkrumminga spelar ei rolle. Studiet av vatn i nanorør har relevans for væsketransport i planter og dyr. Membranar med nanorørporar er venta å få betydning for industriell filtrering.

Referansar

1. H. Bruus: *Theoretical Microfluidics*. Oxford University Press (2008)
- B.J. Kirby: *Micro- and Nanoscale Fluid Mechanics*. Cambridge University Press (2010)
2. M. Majumder, N. Chopra, R. Andrews, B. J. Hinds: *Enhanced Flow in Carbon Nanotubes*. *Nature*, **438**, 44 (2005)
3. J.K. Holt, H.G. Park, Y. Wang, M. Stadermann, A.B. Artyukhin, C.P. Grigoropoulos, A. Noy, O. Bakajin: *Fast Mass Transport through Sub-2-Nanometer Carbon Nanotubes*. *Science*, **312**, 1034–37 (2006)
4. M. Whitby, L. Cagnon, M. Thanou, N. Quirke: *Enhanced Fluid Flow through Nanoscale Carbon Tubes*. *Nano Letters*, **8**, 2632–37 (2008)
5. K. Falk, F. Sedlmeier, L. Joly, R.R. Netz, L. Bocquet: *Molecular Origin of Fast Water Transport in Carbon Nanotube Membranes*. *Nano Letters*, **10**, 4067–73 (2010)

∞

Tvillingene og Universet

Øyvind Grøn *

Tvillingparadokset

En person som beveger seg eldes langsommere enn en som er i ro. Det sier relativitetsteorien, og målinger har vist at det stemmer. I 1972 reiste fysikerne Hafele og Keating^(1,2) med atomklokker i fly rundt jorda og sammenliknet reisetiden målt med disse klokkene og en klokke som sto igjen på jorda. Klokkene som reiste viste kortere reisetid. Men relativitetsteorien bygger på relativitetsprinsippet: Bevegelse er relativ.

La oss tenke oss to tvillinger, Stella og Eartha. Stella reiser til den nærmeste stjernen, Alfa Proxima, som er 4 lysår unna, med 80 % av lyshastigheten. Reisen tar 10 år. Eartha er 10 år

eldre når de møtes igjen. Ifølge relativitetsteorien er Stella bare 6 år eldre.

Relativitetsprinsippet sier imidlertid at Stella kan oppfatte seg selv som i ro og Eartha som reisende. Da skulle Eartha være yngst når de møtes igjen. Denne motsigelsen kalles ”tvillingparadokset”.

Relativitetsprinsippet

Hvem har rett? Blir Stella eller Eartha eldst etter reisen – eller er de fortsatt like gamle? Hva sier relativitetsteorien?

Dette er diskutert i en artikkel av Øyvind Grøn og Simen Bræck som nylig er publisert i *European Physical Journal Plus* og valgt ut som en ”highlight”-artikkel.^(3,4)

Den enkleste løsningen er å si at i denne situa-

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

sjonen gjelder ikke relativitetsprinsippet. Eartha er hele tiden i ro og merker ingen forandring mens Stella er borte. Men Stella slår på en rakett og merker kreftene fra den mens hun snur ved Proxima Centauri. Situasjonen er ikke symmetrisk. Dette gjør at Stella er yngst når de møtes igjen. – Denne løsningen er ikke i Einsteins ånd.

Ekvivalensprinsippet

Einstein konstruerte to relativitetsteorier, den spesielle og den generelle. Ifølge den spesielle teorien er det bare ikke-akselerert bevegelse som er relativ. Det andre avsnittet i Einsteins store artikkel fra 1916 der han presenterte den generelle relativitetsteorien, har overskriften: "Nødvendigheten av en utvidelse av relativitetsprinsippet." Han skriver at begrensningen av relativitetsprinsippet til kun å gjelde for bevegelse med konstant fart, er en defekt ved teorien.

Einstein benytter så ekvivalensprinsippet til å slå fast at relativitetsteorien tillater en utvidelse av relativitetsprinsippet til å omfatte akselerert og roterende bevegelse. Ifølge ekvivalensprinsippet er de fysiske virkningene av treghetskreftene i et akselerert eller roterende referansesystem, K' , ekvivalente med virkningene av et gravitasjonsfelt i et system, K , som er i ro på overflaten av et massivt legeme. Einstein spør: "Kan en observatør i ro i K' utføre et eksperiment som beviser at han 'i virkeligheten' befinner seg i et akselerert eller roterende referansesystem?" Han svarer at dersom ekvivalensprinsippet er gyldig, er dette ikke mulig, og konkluderer: "Når det gjelder fysiske erfaringer kan systemene K og K' med like stor rett oppfattes som i ro."

Grøn og Bræck⁽³⁾ argumenterte i sammenheng med tvillingparadokset for at det generelle relativitetsprinsippet følger som en konsekvens av relativitetsteorien anvendt på vårt univers.

Den gravitasjonelle tidforlengelsen

Uten det generelle relativitetsprinsippet forsvinner hele tvillingparadokset for da kan ikke den reisende tvillingen oppfatte seg som i ro under hele reisen. For i det hele tatt å kunne formulere tvillingparadokset på en meningsfull måte, må vi anta gyldigheten av det generelle relativitetsprinsippet.

At den reisende tvillingen er yngst når tvillingene møtes igjen etter adskillelsen, følger av den

hastighetsavhengige tidsforlengelsen. Denne er en konsekvens av den spesielle relativitetsteorien og er bekreftet i mange eksperimenter, blant annet med ustabile elementærpartikler som har lengre levetid desto raskere de beveger seg. Så at den reisende tvillingen er yngst når de møtes etter reisen, er det ingen tvil om.

Spørsmålet er da hvordan den reisende tvillingen skal beregne eldingen av den hjemmeværende på en korrekt måte. Siden den generelle relativitetsteorien er brukt i formuleringen av tvillingparadokset, må vi forvente at den generelle relativitetsteorien også må brukes når vi skal oppklare tvillingparadokset. I denne sammenhengen er den gravitasjonelle tidsforlengelsen av betydning. Det er en konsekvens av den generelle relativitetsteorien at tiden går sakte langt nede i et tyngdefelt, noe som innebærer at tiden går raskere høyere oppe.

Einstein kom frem til dette allerede i 1911 ved å kombinere dopplereffekten og ekvivalensprinsippet. Han betraktet et laboratorium som akselererer i forhold til en observatør. Det sendes lys fra "tak" til "gulv", dvs. i retning motsatt av akselerasjonsretningen. Mens lyset er underveis får en detektor på "gulvet" en fartsøkning mot lysets bevegelsesretning. På grunn av dopplereffekten registreres da en frekvensøkning for lyset som er større desto større akselerasjonen er. Ifølge ekvivalensprinsippet vil nøyaktig det samme skje når lys beveger seg nedover i tyngdefeltet i et laboratorium i ro på jordas overflate.

Einstein så på en situasjon der forholdene ikke forandret seg med tiden. Men hele tiden absorberes flere bølger per sekund mot gulvet enn det sendes ut fra taket. Ifølge Newtons fysikk går ikke dette an. Her var det tilsynelatende en selvmotsigelse. Nei, sa Einstein. Løsningen er at hvert sekund varer litt lenger ved gulvet enn oppe ved taket. Tiden går saktere langt nede i et tyngdefelt.

Den reisende tvillingens beregning

Ifølge Earthas egne beregninger ble hun 10 år eldre mens Stella reiste, og Stella ble 6 år eldre. Stella ser at jorda, Eartha og Alfa Proxima beveger seg med 80 % av lyshastigheten. Da er avstanden mellom jorda og Alfa Proxima lorentzkontraktert og bare 2,4 lysår lang. Det betyr at ifølge Stella bruker Eartha $2,4/0,8 = 3$ år på hver vei. Følgelig finner Stella ut at hun blir 6 år eldre i løpet av reisen, akkurat slik Eartha kom frem til. Men på grunn av den hastighetsavhengige tidsforlengelsen skulle

Eartha ifølge Stella, bare bli $6 \cdot 0,6 = 3,6$ år eldre mens de er borte fra hverandre.

Løsningen på dette problemet ligger i å tenke seg hva Stella opplever når hun snur. Hun slår da på en rakett som gir henne en akselerasjon i retning mot Eartha. Da opplever hun et tyngdefelt rettet vekk fra Eartha. Eartha er høyere oppe i dette tyngdefeltet enn Stella er og eldes derfor raskere enn Stella så lenge hun har rakettmotoren på. En eksakt beregning viser at mens Stella opplever dette tyngdefeltet eldes Eartha, ifølge Stella, med 6,4 år.⁽⁵⁾ Så regnestykket går opp. Når Stella tar hensyn til den gravitasjonelle tidsforskjellen i ulike høyder kommer også hun frem til at Eartha er 10 år eldre når de møtes etter reisen.

Konflikt med relativitetsprinsippet?

Nå har jo faktisk tvillingene en metode til å finne ut hvem som er akselerert. Tvillingen som er yngst etter at de har vært fra hverandre, har vært akselerert. Ikke den andre. Dermed ser det likevel ut til at akselerasjon er absolutt. Den reisende tvillingen er blitt akselerert og er derfor yngst. Men da blir det jo meningsløst av den reisende tvillingen å påstå at hun har vært i ro under hele reisen. Følgelig bryter både tvillingparadokset og det generelle relativitetsprinsippet sammen.

Hvis relativitetsprinsippet skal reddes, må relativitetsteorien inneholde noe mer enn det som er omtalt hittil, noe som kan forsvare at den reisende tvillingen kan oppfatte seg selv som i ro selv etter at en sammenlikning av deres aldre viser at Stella er yngre enn Eartha etter reisen. I denne sammenheng har en relativistisk effekt hvis eksistens ble bekreftet først i år 2000, betydning.

Treg draeffekt

Kanskje har verden både en materiell og en ikke-materiell side. Ifølge den generelle relativitetsteorien er tiden og rommet en del av den materielle naturen. Rommet defineres ved hjelp av referansepunkter som representerer partikler i fritt fall. I kosmologien snakker man om at universet ekspanderer. Ifølge relativitetsteorien dreier det seg ikke om at galaksehopen beveger seg utover gjennom rommet. De er referansepunktene som definerer rommet. Universets ekspansjon er derfor en ekspansjon av rommet.

Likningene i relativitetsteorien viser at *et roterende legeme drar rommet med seg*. Gravitasjonskoplingen mellom et legeme og rommet er veldig svak. Jorda roterer en gang i døgnet. Den drar med seg rommet, og ved jordas overflate roterer rommet en gang i løpet av 30 millioner år. Dette er den såkalte trege draeffekten. Den kalles også *Lense-Thirring-effekten* etter to østerrikske fysikere som beskrev effekten som en konsekvens av den generelle relativitetsteorien i 1918. Einstein hadde utledet effekten allerede i 1912, men da fra en forløper for den generelle relativitetsteorien som han fullførte i desember 1915. Effekten kalles også "den magnetogravitasjonelle effekten" fordi den er en gravitasjonell analogi til magnetismen.

Effekten ble registrert i år 2000 ved å studere banene til satellittene Lageos I og Lageos II som beveget seg rundt jorda over polene. Senere ble resultatene bekreftet med Gravity probe B, der man studerte draeffektens virkning på akseretningen til fire satellittbårne gyroskoper.

Den trege draeffekten er ikke bare knyttet til rotasjonsbevegelse. Også et akselerert legeme drar rommet med seg. Men det er ingen lokal draeffekt knyttet til hastighet.

Perfekt draeffekt

I 1966 beskrev to amerikanske fysikere, D.R. Brill og J.M. Cohen, fenomenet perfekt draeffekt.⁽⁶⁾ Da er draeffekten så sterk at rommet beveger seg sammen med legemet. Det skjer inne i et kuleskall med radius lik sin egen schwarzschildradius, $R_S = 2GM/c^2$, der G er Newtons gravitasjonskonstant og M er legemets masse.

I vårt univers er det en horisont der rommet ekspanderer med lysets hastighet. Lys fra kilder utenfor horisonten dras med av rommets bevegelse utover og kommer ikke inn gjennom horisonten. Dersom vi beregner den kosmiske materien innenfor horisonten finner vi at schwarzschildradien til denne massen er omtrent lik horisontradien, dvs. lik radien til den observerbare delen av universet. Det er derfor ikke så overraskende at relativistiske beregninger viser at den kosmiske materien forårsaker perfekt draeffekt.

Dersom vårt laboratorium påvirkes av en motor slik at det akselererer i forhold til den kosmiske materien, merker vi det som i Newtons gravitasjonsteori kalles "treghetskrefter". Ifølge ekvivalensprinsippet kan vi oppfatte dette som et genuint gravitasjonsfelt. Feltet skyldes den perfekte draeffekten

fra den kosmiske materien. Hvis vi oppfatter laboratoriet som i ro, akselererer den kosmiske materien og lager en gravitasjonell draeffekt. Effekten virker som et kosmisk gravitasjonsfelt.

En kosmisk tidseffekt

I artikkelen til Grøn og Bræck⁽³⁾ ble det påpekt at det kosmiske gravitasjonsfeltet som skyldes den trege draeffekten, knytter aldringsforskjellen for de to tvillingene til universets masse på en slik måte at det generelle relativitetsprinsippet reddes.

Når Stella slår på raketten ved Alfa Proxima, og hele tiden oppfatter seg selv som i ro, registrerer hun to ting. Hun merker et gravitasjonsfelt, og hun ville med godt nok observasjonsutstyr se at den kosmiske massen akselererer i retning vekk fra Eartha og mot seg selv. Hun kan sin teori og skjønner at gravitasjonsfeltet skyldes draeffekten fra den kosmiske materien. Stella vet også at Eartha eldes raskere enn henne siden Eartha er høyere oppe i det kosmiske gravitasjonsfeltet.

Det at Stella er yngre enn Eartha når de møtes, forteller da ikke at Stella har vært akselerert. Stella kan med full rett si at hun har vært i ro hele tiden. Men ved et visst tidspunkt observerte hun at den kosmiske materien akselererte og forårsaket et gravitasjonsfelt. Hun slo umiddelbart på en rakett som hindret henne i å falle i det kosmiske gravitasjonsfeltet. Derimot var jorda og Eartha i fritt fall i dette feltet. Først beveget de seg oppover, så kom de til et høyeste punkt 4 lysår over Stella, og så falt de nedover. Da de hadde fått en fart på 80 % av lyshastigheten forsvant det kosmiske gravitasjonsfeltet, og Stella slo av raketten.

Er all bevegelse relativ?

Teorien forteller hvordan verden er. *Newtons teorier at akselerert bevegelse og rotasjonsbevegelse er absolutt. Einsteins teori åpner for at all bevegelse er relativ.* Ingen har bevist at det er slik. Men mekanismen for å gjøre bevegelse relativ er der. Det som skal til er perfekt draeffekt supplert med ekvivalensprinsippet og den gravitasjonelle tidsforskyvningen. I sammenheng med tvillingparadokset blir den gravitasjonelle tidsforskyvningen en kosmisk tidseffekt. For aldersforskjellen mellom tvillingene skyldes at de har forskjellig bevegelse i forhold til den kosmiske materien. *Det som er absolutt akselerasjon i Newtons teori, er relativ akselerasjon i Einsteins teori.*

Referanser

1. J.C. Hafele and R.E. Keating: *Around-the-world atomic clocks: predicted relativistic time gains.* Science, **177**, 166-168 (1972)
2. J.C. Hafele and R.E. Keating: *Around-the-world atomic clocks: observed relativistic time gains.* Science, **177**, 168-170 (1972)
3. Ø. Grøn og S. Bræck: *The twin paradox in a cosmological context.* European Physics Journal Plus, **126**, no. 79, 1– 14 (2011)
4. Redaksjonell nyhetsnotis: *The Twin paradox in a cosmological context.* Europhysics News, **42**, No 5 (2011)
5. Ø. Grøn: *Relativistisk tid.* FFV, **54**, Nr. 4, 93-100 (1992)
6. D.R. Brill and J.M. Cohen: *Rotating masses and their effect on inertial frames.* Phys. Rev., **143**, 1011-1015 (1966)

∞

HUSK Å
MELDE
ADRESSE-
FORANDRING

Tegn til mørk materie?

Øyvind Grøn *

Uavhengige forskningsprosjekter rapporterer nå at de muligens har sett spor av mørk materie. Ett dreier seg om observasjoner ved hjelp av partikkeldetektorer under fjell i Italia, og et annet om spor av positroner observert med Fermi gammastrålings-romteleskopet, mens andre typer eksperimenter ikke har sett tegn til mørk-materiepartikler.

Mørk materie

Stjernene i de ytre områdene av spiralarmene i Melkeveien beveger seg så raskt i baner rundt Melkeveiens sentrum at gravitasjonsfeltet til stjernene og den interstellare gassen av hydrogen og helium i Melkeveien, ikke er sterkt nok til å holde dem på plass. Hvis gravitasjonsfeltet til Melkeveien kun hadde vært produsert av vanlig baryonisk materie (protoner og nøytroner), ville Melkeveiens ytre områder ha forsvunnet ut i det intergalaktiske rommet for lenge siden. Det samme gjelder alle andre spiralgalakser. Ja, ikke bare det. Også galaksene selv beveger seg så raskt i de store galaksehopenes tilfalle for lengst skulle ha løst seg opp.

Astronomene har derfor postulert eksistensen av mørk materie som lager sterke nok gravitasjonsfelter til å holde galaksene sammen og til å hindre hopene i å løse seg opp. Det krever faktisk fire ganger mer mørk materie enn baryonisk. Dersom dette er representativt for den kosmiske materien, utgjør den mørke materien 80 % av all materie i universet. Den er usynlig og virker bare på vanlig materie med den svakeste av de fundamentale kreftene, gravitasjon. Derfor kalles ofte partiklene som den mørke materien antas å bestå av "Weakly Interacting Massive Particles" (WIMPs). Men foreløpig vet ingen hva slags partikler dette er.

Det foregår et stort arbeid for å finne ut nettopp det. Hittil er det ikke observert utvetydige tegn til partikler som kan utgjøre den mørke materien.

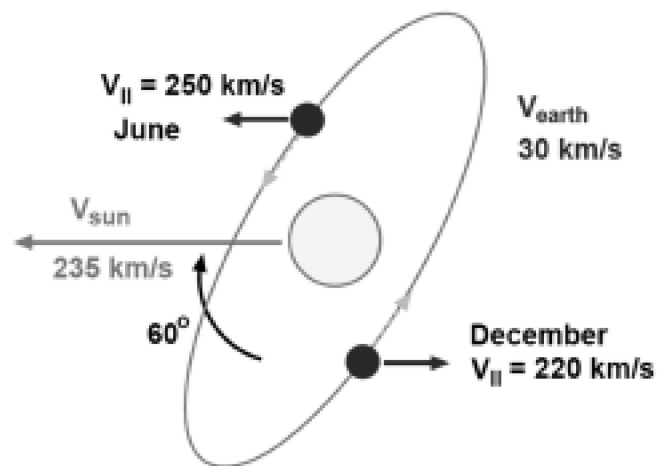
Tidlige resultater

I et par dedikerte partikkeleksperimenter er det muligens sett spor av mørk materie. Først ute var DAMA-eksperimentet i Gran Sasso, dypt nede i italienske fjell 12 mil fra Roma.⁽¹⁾ Det dreide seg om å registrere partikler i Melkeveiens sky av mørk materie.

Sola beveger seg med farten 235 km/s i bane rundt Melkeveiens sentrum, og jorda beveger seg med 30 km/s i bane rundt sola. Ekliptikken, planet som jordas banebevegelse rundt sola definerer, danner 60° med planet som banebevegelsen til sola definerer. Den 2. juni har jorda størst hastighetskomponent i solas bevegelsesretning. På grunn av 60-gradersvinkelen er denne hastighetskomponenten bare 15 km/s. Et halvt år senere, 2. desember, beveger jorda seg med 15 km/s i motsatt retning av solas bevegelsesretning.

Astronomene tror at den mørke materien ikke deltar i Melkeveiens rotasjon. Dette betyr at jordas hastighet i forhold til den mørke materien varierer mellom 220 og 250 km/s, med størst hastighet 2. juni og minst 2. desember (figur 1).

Denne hastighetsvariasjonen i forhold til den mørke materien er stor nok til å gi en registrerbar



Figur 1. Hvordan jordas hastighet i forhold til den mørke materien varierer i løpet av året.

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

periodisk variasjon av antall partikler fra den mørke materien som treffer en detektor på jorda. Det var denne variasjonen man ville måle i DAMA-prosjektet. Hvis det ble målt en slik variasjon i antall partikler som traff detektoren, med flest partikler 2. juni og færrest 2. desember, ville det være et tegn på at man faktisk hadde registrert partikler i Melkeveiens sky av mørk materie.

Det ble gjort observasjoner i 13 år, fra 1998 til 2010. I alle disse årene ble det observert variasjoner i hyppigheten av registrerte partikler som stemte med forutsigelsen basert på at jorda beveger seg gjennom en ikke-roterende sverm av partikler som utgjør Melkeveiens mørke materie.

Det er likevel en del astrofysikere og fysikere som tviler på om DAMA-eksperimentet virkelig har registrert mørk materie, for andre typer eksperimenter, kalt XENON⁽²⁾ og CDMS⁽³⁾, har ikke sett spor av den mørke materien. Det kan virke som om forskjellige typer eksperimenter har gitt resultater i konflikt med hverandre.

Det andre eksperimentet som kanskje har registrert mørk materie, kalles CoGeNT-eksperimentet,⁽⁴⁾ og er lokalisert i en gruvesjakt i Minnesota i USA. Det ble her gjort målinger av samme type som i DAMA-eksperimentet, og man oppnådde tilsvarende resultater. Dermed var det oppnådd en bekreftelse på resultatene i DAMA-eksperimentet. Men forstøtt var de manglende registreringene av mørk materiepartikler i andre typer eksperimenter en kilde til bekymring.

Nye resultater fra Gran Sasso

Nye resultater fra et annet eksperiment i Gran Sasso, kalt *Cryogenic Rare Event Search with Superconducting Thermometers* (CRESST), ble annonsert 6. september 2011.⁽⁵⁾ I løpet av en observasjonsperiode, fra juni 2009 til april 2011, ble det observert 67 WIMP-like signaler, og halvparten av dem kunne ikke forklares som bakgrunnsstøy.

Igjen opptrer spørsmålet om disse observasjonene, tolket som registreringer av en type relativt lette WIMP-partikler, er i konflikt med resultater fra andre eksperimenter. Partiklene som man mente å ha sett spor av i DAMA- og CoGeNT-eksperimentene, er tyngre enn CRESST-partiklene. Mer alvorlig er det imidlertid at målingene oppnådd i XENON og CDMS synes å utelukke partikler med de massene som CRESST-partiklene måtte ha for å bli registrert. Fortsatt er situasjonen høyst uklar på grunn av motstridende resultater.

Målinger med det satellittbårne PAMELA-instrumentet

I 2006 ble et instrument, kalt PAMELA, sendt opp i en satellitt fra Kazakhstan.⁽⁶⁾ Det skulle blant annet registrere antipartikler fanget i jordas magnetfelt. I løpet av to år ble det observert positroner i et større antall enn det beregninger basert på kjente bakgrunnsmekanismer kunne forklare. Fysikerne konkluderte med at det var to mulige kilder til positronene. Enten kom de fra astrofysiske kilder, for eksempel pulsarer, eller så var de dannet ved henfall av ustabile mørk-materiepartikler, for eksempel "nøytralinoer", en av partiklene som skal eksistere hvis verden er supersymmetrisk.

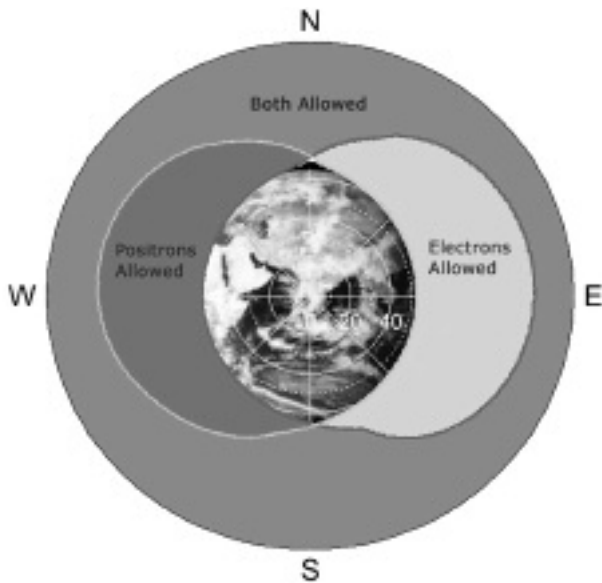
Ferske målinger med Fermi-romteleskopet

Disse observasjonene er nå bekreftet i nye målinger ved hjelp av Fermi-romteleskopet.⁽⁷⁾ Ved å bruke jordas magnetfelt som en del av et måleinstrument, fungerer teleskopet som en positrondetektor.

Elektroner og deres antipartikler, positroner, har motsatt elektrisk ladning. Derfor avbøyes de i motsatte retninger når de beveger seg i et magnetfelt. Dette kan brukes i en partikkeldetektor til å skjelne mellom elektroner og positroner. Men Fermi-romteleskopet har ingen magnet, så i utgangspunktet kan en ikke avgjøre om partikler registrert ved hjelp av instrumenter knyttet til dette teleskopet har negativ eller positiv ladning.

Dette problemet er nå blitt løst på en fin måte. Jordas magnetfelt avbøyer banene til ladde partikler som kommer inn i jordatmosfæren. På grunn av symmetrien til jordas magnetfelt, gjør dette at hvis det kommer like mange elektroner og positroner inn i atmosfæren fra alle retninger, så vil en detektor i Fermi-teleskopet likevel se flere elektroner enn positroner i én retning og flere positroner i en annen (figur 2). Slik kan jordas magnetfelt brukes som en partikkelseparator.

Ved å observere i flere retninger, fant astrofysikerne en fordeling av ladde partikler som stemte godt med hva man forventet ut fra PAMELA-målingene. Realiteten av positronfluksen målt med PAMELA-instrumentet ble dermed bekreftet. Men om kildene er astronomiske objekter som pulsarer, eller om positronene kommer fra henfall av mørk-materiepartikler, er fortsatt ikke oppklart.



Figur 2. Figuren viser hvordan fordelingen av elektroner og positroner på himmelen tar seg ut sett fra Fermi-teleskopets posisjon.

Referanser

1. R. Bernabei, et al.: *Particle Dark Matter in the galactic halo: recent results from DAMA/LIBRA*. Canadian Journal of Physics, **89**, 141-152 (2011)
<http://people.roma2.infn.it/~dama/web/home.html>
2. E. Aprile et al.: *Implications on inelastic dark matter from 100 live days of XENON100 data*. Phys. Rev. D, **84**, 061101, 4 sider (2011)
<http://xenon.astro.columbia.edu/>
3. Z. Ahmed et al.: *Results from a Low-Energy Analysis of the CDMS II Germanium Data*. Phys. Rev. Lett. **106**, 131302, 5 sider (2011)
<http://cdms.berkeley.edu/>
4. C. E. Aalseth, et al.: *Results from a Search for Light-Mass Dark Matter with a p-Type Point Contact Germanium Detector*. Phys. Rev. Lett., **106**, 131301, 4 sider (2011)
<http://cogent.pnnl.gov/>
5. G. Angloher et al.: *Results from 730 kg days of the CRESST-II Dark Matter Search*. arXiv:1109.0702 (2011)
<http://www.cresst.de/>
6. O. Adriani et al.: *The discovery of geomagnetically trapped cosmic ray antiprotons*. ApJ **737**, L29, 5 sider (2011)
<http://pamela.roma2.infn.it/index.php/>
7. M. Ackermann et al.: *Measurement of separate cosmic-ray electron and positron spectra with the Fermi Large Area Telescope*. arXiv: 1109.0521 (2011)
<https://news.slac.stanford.edu/features/fermi-gamma-ray-space-telescope-confirms-puzzling-preponderance-positrons/>

∞

HUSK Å BETALE
KONTINGENTEN!

Kosmiske observasjoner bekrefter relativitetsteorien

Øyvind Grøn *

En gruppe danske fysikere har bestemt den gravitasjonelle rødforskyvningen til lys fra galakser i 7800 galaksehoper. De sammenliknet måleresultatene med forutsigelser fra den generelle relativitetsteorien og to konkurrerende teorier. Relativitetsteoriens forutsigelser passet best med måleresultatene.

I en artikkel publisert i Nature 29. september 2011, har tre fysikere ved Dark Cosmology Centre i Niels Bohr Institutet i København, rapportert om en ny bekreftelse på den generelle relativitetsteorien.⁽¹⁾ De studerte spektrene til galakser i forskjellige avstander fra sentrene til de galaksehopenes de hørte til. Galaksene befinner seg i forskjellige høyder i galaksehopenes gravitasjonsfelt. Observasjonsdataene ble hentet fra Sloan Digital Sky Survey.⁽²⁾

Ifølge relativitetsteorien går tiden langsommere langt nede i et gravitasjonsfelt. Dette innebærer at spektrallinjene i lys som beveger seg ut av et gravitasjonsfelt rødforskyves. Rødforskyvningen er definert som

$$z = \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda} \quad (1)$$

der λ_0 er den observerte bølgelengden og λ den utsendte bølgelengden.

I relativitetsteorien snakker man om svake gravitasjonsfelter i store avstander fra et svart hull sammenliknet med hullets egen utstrekning. Gravitasjonsfeltene i galaksehopenes er svake. Da behøver man ikke bruke de eksakte uttrykkene i den generelle relativitetsteorien, og følgende tilnærmete uttrykk for den gravitasjonelle rødforskyvningen er tilstrekkelig,

$$z_G = \frac{\Delta\Phi}{c^2} \quad (2)$$

der $\Delta\Phi$ er forskjellen i gravitasjonspotensial i observatørens og senderens posisjon. "Den gravitasjonelle rødforskyvningshastigheten" $v_G = cz_G$

kan brukes til å karakterisere størrelsen av den gravitasjonelle rødforskyvningen. For gravitasjonsfelter i typiske galaksehoper er $z_G \approx 0,00003$. Dette svarer til at $v_G \approx 10$ km/s.

Men galaksene har mye større hastigheter enn v_G . De har to typer bevegelse. En som skyldes universets ekspansjon, kalt "The Hubble flow". Denne kosmiske ekspansjonshastigheten er gitt ved Hubbles lov, $v_H = Hd$, der $H = 22$ km/s per million lysår er Hubbleparameteren, og d er avstanden mellom lyskilden og observatøren. Ifølge relativitetsteorien oppfattes denne bevegelsen slik at rommet ekspanderer og tar med seg galaksehopenes. Dermed strekkes bølgelengdene til den utsendte strålingen på vei fra sender til mottager. Dette forårsaker en kosmisk rødforskyvning, z_H , som for $z_H \ll 1$ kan tilnærmes med $v_H = cz_H$.

Alle galaksehopenes som ble undersøkt hadde en kosmisk rødforskyvning rundt $z_H \approx 0,2$, som er 15 000 ganger større enn z_G .

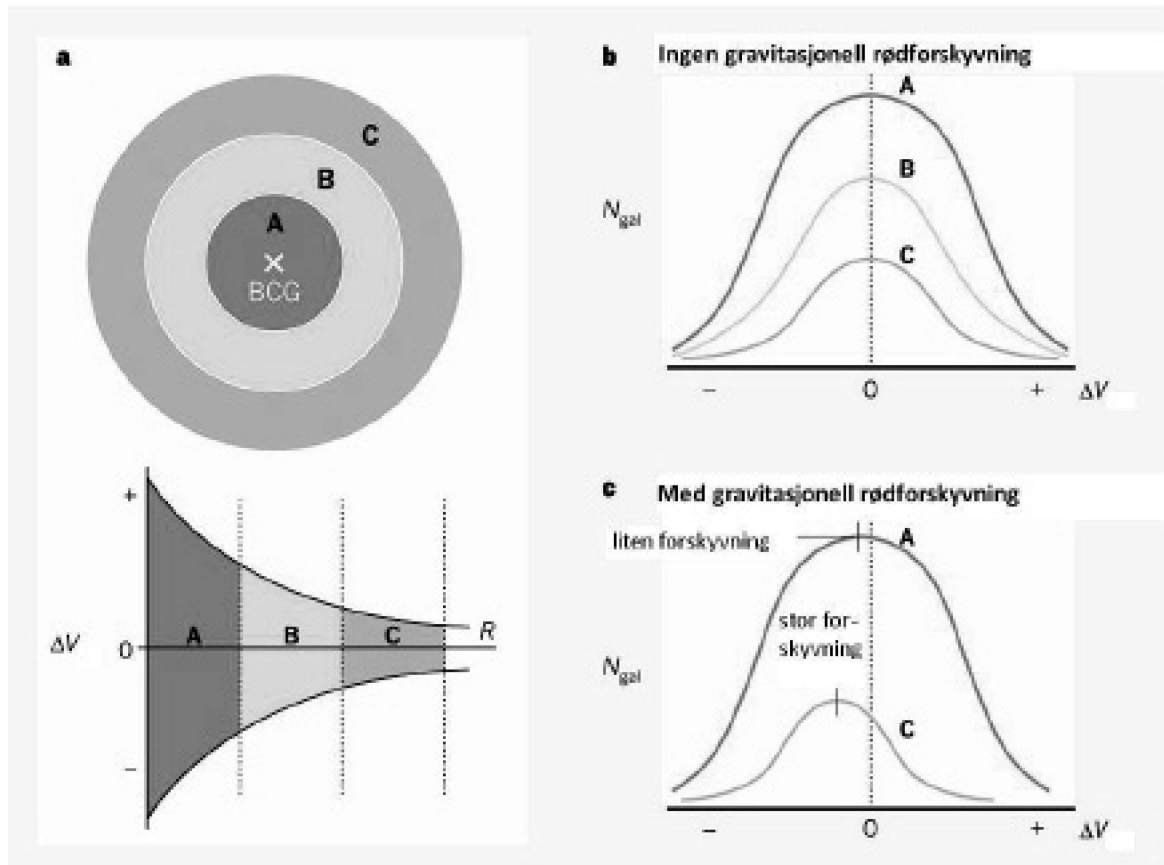
Den andre typen galaktisk bevegelse er de tilfeldige bevegelsene galaksene har i hopene. De kan ha hastigheter opp til 4000 km/s. På grunn av dopplereffekten gir dette en blåforskyvning for galakser som beveger seg mot jorda, og en rødforskyvning for de som beveger seg vekk fra jorda. Denne forskyvingen kan være opp til $z_D \approx \pm 0,013$, dvs. over 4400 ganger så stor som z_G .

Oppgaven med å skille ut den gravitasjonelle rødforskyvningen fra den som skyldes dopplereffekten er derfor svært krevende (figur 1). Den kosmiske dopplereffekten, derimot, er ikke noe problem. Den ble bestemt som rødforskyvningen til den mest lyssterke galaksen i den observerte hopen.

Rødforskyvningen til 120 000 galakser i 7800 galaksehoper ble bestemt som funksjon av avstanden fra sentrum av galaksehopen de tilhører. Resultatet ble sammenliknet med hva man forventet ut fra 3 forskjellige gravitasjonsteorier: den generelle relativitetsteorien og to grupper av konkurrerende teorier som kalles henholdsvis TeVeS-teorien og f(R)-teorier.

TeVeS-teorien er en relativistisk generalisering

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



Figur 1a. Forskerne brukte en modell av en galaksehopp, vist i den øverste figuren, der hopen er sentrert om den galaksen som lyser sterkest (*brightest cluster galaxy*, BCG), og delte opp hopene i 3 deler med økende radius A-C. I figuren nedenfor er det vist hvordan hastigheten til en galakse ΔV avhenger av avstanden R fra hopens sentrum. En galakse som beveger seg vekk fra observatøren har $\Delta V < 0$, og en som beveger seg mot observatøren $\Delta V > 0$.

b. Diagrammet viser antall galakser N_{gal} som funksjon av deres hastighet i forhold til BCG, gitt ved $\Delta V = cz_D$, dvs. når den gravitasjonelle rødforskyvningen neglisjeres. I gjennomsnitt er det like mange galakser som beveger seg alle veier. Fordelingen er derfor symmetrisk om akse $\Delta V = 0$

c. Her vises antall galakser, N_{gal} , som funksjon av deres hastigheter i forhold til BCG, gitt ved $\Delta V = c(z_D - z_G)$, dvs. når det også tas hensyn til den gravitasjonelle rødforskyvningen, z_G , som er større for galakser i området A enn i C. Derfor blir den observerte fordelingen skjev for galakser i området A enn i C. Dette ble brukt til å beregne størrelsen av den gravitasjonelle rødforskyvningen som funksjon av R ut fra observasjonene. Denne funksjonen kan også beregnes ut fra gravitasjonsteorien og kan brukes til å teste den generelle relativitetsteorien mot konkurrerende teorier.

av den såkalte "Modified Newtonian Dynamics (MOND) teorien" som ble konstruert for å slippe å innføre mørk materie i teorien for galaksenes dynamikk.^(3,4) Galaksene beveger seg så raskt i galaksehoppene og roterer så hurtig, at både hopene og galaksene for lengst skulle ha løst seg opp dersom de bare ble holdt sammen av gravitasjonsfeltet til den vanlige materien som består av protoner, nøytroner og elektroner. Derfor mener astrofysikerne at det må eksistere en annen type materie, kalt "mørk materie", som lager sterkt nok gravitasjonsfelt til å holde galaksene og galaksehoppene sammen. Men dette kan også oppnås uten mørk materie dersom gravitasjonen avtar langsommere med avstanden fra sentrum av en massefordeling enn det Newtons teori og relativitetsteorien sier. MOND- og

TeV-S-teoriene er konstruert slik.

I 1998 ble det oppdaget at universets ekspansjon øker farten. Den vanligste forklaringen er at dette skyldes frastøtende gravitasjon forårsaket av en type vakuumenergi som gjerne kalles "mørk energi".⁽⁵⁻⁸⁾ Noen fysikere foretrekker imidlertid å forandre gravitasjonsloven for å slippe å innføre en ukjent type mørk energi. I $f(R)$ -teoriene gjøres dette.

Analysene til teamet ved Niels Bohr Institutet viste at observasjonsdataene passet best med forutsigelsene til den generelle relativitetsteorien, og ganske bra med dem til $f(R)$ -teorien. Men forutsigelsene til TeV-S- og MOND-teoriene er i konflikt med observasjonsdataene.

Referanser

1. R. Wojtak, S.H. Hansen og J. Hjorth: *Gravitational redshift of galaxies in clusters as predicted by general relativity*. *Nature*, **477**, 567–569 (2011)
2. Hjemmesiden til Sloan Digital Sky Survey: <http://www.sdss.org/>
3. Ø. Grøn og S.O. Sørensen: *Mørk materie i universet. Del 1. Symmetri*, **3**, 31–39 (1996)
4. N.E. Bomark: *Er mørk materie nå identifisert?* *FFV*, **72**, Nr. 2, 40–44 (2010)
5. Ø. Grøn: *Er universet i en tilstand av akselerert ekspansjon?* *FFV*, **61**, Nr. 3, 73–80 (1999)
6. Ø. Grøn: *Kosmologiens utvikling de siste 50 årene*. *FFV*, **65**, Nr. 2, 49–52 (2003)
7. Ø. Grøn og I.K. Wehus: *Fantomenergi og kosmisk dommedag*. *FFV*, **66**, Nr. 1, 23–26 (2004)
8. Ø. Grøn: *Universets ekspansjon og mørke energi – Del 2: Mørk energi og materie*. *FFV*, **72**, Nr. 4, 112–116

Bokomtale

Pål Brekke: *Vår livgivende stjerne SOLA. En faktabok for barn og ungdom*. Nordlyssentret, ISBN 978-82-994583-7-5 (156 sider) 250 kr.

Forfatteren har solid faglig bakgrunn innen de temaer han tar opp i denne boken, både som astrofysiker, ved å ha vært tilknyttet solobservatoriet SOHO ved NASA i USA gjennom flere år, og som erfaren og respektert popularisator og formidler. Han er nå seniorrådgiver ved Norsk Romsenter.

I de fleste populære bøker om astronomi legges det vekt på å anskueliggjøre avstander, størrelser og tidsskalaer ved hjelp av analogier til forhold vi er mer kjente og fortrolige med. At lyset fra sola bruker 8 min og 20 s på å nå fram til jorda gir de fleste av oss en noe diffus oppfatning av at 150 millioner km er skrekkelig langt, men kanskje uten likevel å få et klart bilde av hvor langt det er. Brekke tyr til gode, dels velbrukte analogier som hvis sola tenkes å være på størrelse som en grapefrukt, ville jorda være som et knappenålshode i en avstand på 15 m. Men han introduserer også fantasieggende analogier som for eksempel at solas nærmeste nabostjerne Proxima Centauri i denne skala ville befinne seg i en avstand som svarer til

strekningen mellom Oslo og Kypros. Leserne får her et godt bilde av hvor ensomme og alene vi er nær periferien av vår galakse.

Det innledende kapitlet gir en kortfattet oversikt og grei beskrivelse av det observerbare universet, rikelig illustrert med spektakulære bilder. Solas og andre stjerners livssyklus beskrives og illustreres. Beskrivelsen av solas oppbygging fra dens innerste kjerne og utover til den vidstrakte ytterste heliosfæren, bærer sterkt preg av at her er forfatteren virkelig på faglig hjemmebane. Sett med det blotte øye fremstår sola ifølge forfatteren, som en statisk og rolig rød skive på himmelen. Sett gjennom teleskoper som i dag kan skille detaljer ned mot 100 km, ses soloverflaten som en boblende varm gass i vekselvirkning med magnetiske felter som genereres inne i sola, flyter opp, trenger gjennom overflaten og sprer seg utover og oppover i den tynne gjennomsiktige solatmosfæren. Det er samspillet mellom de til dels kraftige magnetiske felter og elektrisk ladet varm gass, som gjør sola til et fascinerende "laboratorium" for forskerne. I dette samspillet ligger årsaken til solas aktivitet og variable natur på flere ulike tidsskalaer som berører livsviktige forhold her på jorda. Kraftige solstormer kan forårsake betydelige skader på dagens kommunikasjonssystemer basert på satellitter i rommet og strømførende ledningsnett. Romvævarsling er blitt viktig. Atmosfæren beskytter oss mot skadelig kortbølget innstråling, og forfatteren beskriver hvordan livet på jorda er betinget av at atmosfæren fanger opp en del av innstrålingen som derved sikrer oss et stadig vekslende klima som alle levende vesener har kunne tilpasse seg. Det gis kortfattede beskrivelser av de prosesser som inngår i samspillet mellom sol og jord, men gode illustrasjoner bidrar til å gjøre fremstillingen meningsfull og lett forståelig. Det medfølger en CD som inneholder supplerende filmer og gode animasjoner, men undertegnede savner her en kort forklarende introduksjon til de enkelte sekvensene.

Boken inneholder også en kort oversikt over utviklingen av fagastronomenes solteleskoper både på bakken og i rommet. Men minst like interessante og viktige for forfatterens målgruppe er hans oppskrifter og råd om hvordan sola med forholdsvis enkle midler og oppstillinger, også kan observeres og studeres fra klasserommet.

Brekke har skrevet en fengslende og tankevekkende bok. Den har en tiltalende layout, og bilde-materialet er meget bra. Det presiseres i tittelen at boken er tilegnet barn og ungdom, men den kan selvfølgelig leses med utbytte av alle aldersgrupper.

At boken også utgis i engelsk versjon av Springer-Verlag GmbH understreker dens unike kvalitet som faktabok om et omfattende naturfaglig tema.

Oddbjørn Engvold

∞

Nytt fra NFS

IUPAP

IUPAP er akronym for *International Union of Pure and Applied Physics*. Til tross for at IUPAP er den internasjonale organisasjonen for all fysikk, er den relativt lite kjent blant norske fysikere, og en kort redegjørelse for dens virke kan være på sin plass.

Som en følge av første verdenskrig så en nødvendigheten av internasjonale organisasjoner. I 1919 ble *The International Research Council* opprettet etter initiativ fra *The Royal Society* i London og *The National Academy of Sciences* i Washington. Under IRCs generalforsamling i 1922 ble det besluttet at det skulle dannes en internasjonal organisasjon for fysikk, IUPAP. Det ble 13 medlemsland, mest europeiske, der iblant Norge. Formålet med den nye unionen var å stimulere internasjonalt samarbeid i fysikk, å initiere internasjonale konferanser, og å få i stand enighet om symboler, enheter, nomenklatur og standarder i fysikk.

Siden starten har IUPAP vokst til å bli verdensomfattende, og har stadig tatt opp nye aktiviteter. IUPAP er inndelt i 20 kommisjoner for de ulike feltene av fysikken. Eksempler på relativt nye kommisjoner er C17, *Commission on Quantum Electronics*, der Yuri Galperin, Oslo, er medlem, og C20, *Commission on Computational Physics*, der Alex Hansen, Trondheim, er formann. Kommisjonen C2, der Bodil Holst, Bergen, er medlem, tar seg av "symboler, enheter, nomenklatur, atommasser og fundamentale konstanter", fellesområder for hele fysikken. Dette har opp gjennom årene vært en svært viktig aktivitet for å få internasjonal standard av enheter, som SI-systemet.

Kommisjonenes arbeidsoppgaver varierer med fagfelt. En generell oppgave er å initiere store hovedkonferanser i fagfeltene, og assistere med gjennomføringen. Andre møter kan søke om IUPAPs

anbefaling (og en minimal økonomisk støtte), og kommisjonene forsøker å oppnå en samordning slik at konferanser i nærliggende områder (magnetisme og faststoff-fysikk for eksempel) ikke kolliderer i tid. De fleste kommisjoner har opprettet priser innen sitt felt. For eksempel deler kommisjonen for statistisk fysikk ut en Boltzmann-pris hvert tredje år. Det kan nevnes at i 2005 hedret C14, kommisjonen for fysikkundervisning, Svein Sjøberg, Oslo, med sin medalje. Det er også priser for unge forskere.

Kommisjonen for fysikkundervisning er ikke knyttet til et bestemt fagfelt i fysikken. Det samme gjelder C13, *Commission on Physics Development*, som søker å fremme fysikkaktiviteter i utviklingsland. Det ble for eksempel besluttet av C13-kommisjonen i samarbeid med C20, *Commission on Computational Physics*, å opprette og støtte et program av ti års varighet til en serie med "African Schools on Electronic Structure Methods". Den første ble arrangert i 2010 med deltagere fra åtte afrikanske land. Som et resultat av dette initiativet har Nigeria nylig blitt medlem av IUPAP.

I tillegg nedsetter IUPAP tidsbegrensede arbeidsgrupper (working groups) for å ta seg av spesielle problemer. For eksempel opprettet IUPAP (i samarbeid med kjemikernes IUPAC) en arbeidsgruppe for å få orden på navnekaoset for grunnstoffene med Z fra 101 til 109 (se artikkel i FFV 1998 s. 21). Og det er opprettet en "Working Group for Women in Physics", der Anne Borg, Trondheim, inntil nylig har vært medlem.

Som overbygning over alle aktiviteter har IUPAP et styre og en generalforsamling. Vår svenske kollega Cecilia Jarlskog, er nylig valgt til president for styret og dermed for IUPAP, og Alex Hansen er nyvalgt styremedlem. Det er styrets oppgave å sørge for å få opprettet nye kommisjoner og arbeidsgrupper etter behov. Dersom deltagere til en IUPAP-støttet konferanse blir nektet innreisevisum, henvender IUPAP seg til autoritetene i vedkommende land for å få dette ordnet. Hvis dette ikke går i orden, kan IUPAP trekke tilbake støtten til den angjeldende konferansen og true med å ikke godkjenne fremtidige internasjonale møter i landet.

Det Norske Videnskaps-Akademi er IUPAPs kontaktorgan i Norge, og DNVA betaler vår kontingent. Kontingenten er basert på at Norge har tre aksjer, og det har vært en underforstått avtale om at i gjennomsnitt skal et land ha like mange kommisjonsmedlemmer som det har aksjer. For øyeblikket stemmer det for oss, for som nevnt ovenfor, er det tre norske medlemmer i kommisjonene.

DNVA oppnevner en nasjonal IUPAP-komité til   ta seg av kontakten med fagfeltet. Nå består IUPAP-komiteen av styret i Norsk Fysisk Selskap og én representant for akademiet (for tiden undertegnede).

Hvis en skal sammenfatte med én setning hva IUPAP er, måtte det bli: "IUPAP er til fysikk som FN er til verden."

Per Chr. Hemmer

 

Nye medlemmer 13. mai 2011

Bugge, Magnar Kopangen; Fysisk institutt, Pb. 1048 Blindern, 0316 Oslo

Eithun, Øyvind Saanum; Dr mtorpveien 9 D, 1400 Ski

Grelland, Hans Herlof; Universitetet i Agder, Campus Grimstad, Pb. 509, 4898 Grimstad

Gylland, Åsne;  vre Flat svei 9 A, 7079 Flatåsen

Hansen, Are Vidar Boye; Teisenveien 43, 0666 Oslo

Haarr, Anders; Institutt for fysikk og teknologi, Pb. 7803, 5020 Bergen

Khan, Rashid; Institutt for fysikk, 7491 Trondheim

Kvalbein, Magnus; Treschows gate 23 B, 0470 Oslo

Kvellestad, Anders; Institutt for fysikk og teknologi, Pb. 7803, 5020 Bergen

Larsen, Eivind Farestveit; Institutt for fysikk og teknologi, Pb. 7803, 5020 Bergen

Lindecrantz, Susan; Institutt for fysikk og teknologi, Universitetet i Tromsø, 9037 Tromsø

Lønne, Per Ivar; Institutt for fysikk og teknologi, Pb. 7803, 5020 Bergen

Mansouri, Peiman; Fysisk institutt, Pb. 1048, Blindern, 0316 Oslo

Østby, Kjerstin Ims; Traverveien 29, 0588 Oslo

Pedersen, Maiken; Fysisk institutt, Pb. 1048, Blindern, 0316 Oslo

Poormahammadi, Mahdi; Institutt for fysikk og teknologi, Pb. 7803, 5020 Bergen

Reiling, Hege Borgan; Refsnesalleen 79 B, 1518 Moss

Rekaa, Vegard Lundby; Fysisk institutt, Pb. 1048 Blindern, 0316 Oslo

Siem, Sunniva; Fysisk institutt, Pb. 1048 Blindern, 0316 Oslo

Solem, Thomas Christopher; Institutt for fysikk og teknologi, Pb. 7803, 5020 Bergen

Stokkev g, Camilla Hanquist; Institutt for fysikk og teknologi, Pb. 7803, 5020 Bergen

Tveiten, Gry Merete; Fysisk institutt, Pb. 1048 Blindern, 0316 Oslo

 

Trim i FFV

FFVT 4/11

Sirkelens sentrum

Gitt en sirkel. Finn sirkelens sentrum ved hjelp av en trekantlinjal med 30, 60 og 90 grader.

Vår tidligere trimredakt r, Per Chr. Hemmer, syntes det ville være ille om FFV nå ikke lenger skulle ha trimoppgaver. Han har derfor sendt oss denne, og har lovet   forsyne oss med flere oppgaver "inntil videre". Det er redaksjonen takknemlig for.

 

GODT
NYTT
 R!

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



Retningslinjer for forfattere

FRA FYSIKKENS VERDEN utgis av Norsk Fysisk Selskap og sendes til alle medlemmer. Disse er vanligvis utdannet fra universiteter og høyskoler 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. Faguttrykk må defineres. En verbal form er oftest å foretrekke fremfor matematikk. Men det må brukes standard begreper og enheter. Matematikken må være forståelig for vanlige fysikkstudenter. Artiklene i FFV skal primært gi informasjon til dem som er utenfor det aktuelle fagfeltet. Artikler som bare 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 svart/hvitt med en spaltebredde på 8,6 cm. Av økonomiske grunner vil bilder bare i spesielle tilfeller trykkes i farger. Figurene bør være på elektronisk form i et standard grafisk format og med god 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 artiklene. De må være teknisk gode og kan trykkes i farger.

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

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

President:

Professor Per Osland

Inst. for fysikk og teknologi, UiB

e-post: per.osland@ift.uib.no

Visepresident:

Professor Åshild Fredriksen

Inst. for fysikk og teknologi, UiT

e-post: ashild.fredriksen@uit.no

Styremedlemmer:

Professor Jon Otto Fossum

Institutt for fysikk, NTNU

Professor Håvard Helstrup

Høgskolen i Bergen

Professor Ulf R. Kristiansen

Inst. for elektronikk og telekom., NTNU

Postdoktor Eirik Malinen

Radiumhospitalet, Oslo

Førsteaman. Kjartan Olafsson

Inst. for fysikk og teknologi, UiB

Professor Jon Samseth

Høgskolen i Akershus, Lillestrøm

Lektor Morten Trudeng

Asker videregående skole

Selskapets sekretær:

Cand.scient. Trine Wiborg Hagen

Fysisk institutt, UiO,

Pb. 1048 Blindern, 0316 Oslo.

e-post: nfs@fys.uio.no

Bankgiro: 7878.06.03258

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:

Professor Øyvind Grøn

Høgskolen i Oslo og Fysisk inst. UiO

Stipendiat Marit Sandstad

Inst. for teoretisk astrofysikk, UiO

Redaksjonssekretær:

Karl Måseide

Fysisk institutt, UiO

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 Bjarne Stugu

Inst. for fysikk og teknologi, UiB

Ekspedisjonsadresse:

Fra Fysikkens Verden

Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,

Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.

Tlf.: 22 85 64 28 / 22 85 56 68

Fax.: 22 85 64 22 / 22 85 56 71

e-post: oyvind.gron@iu.hio.no

e-post: marit.sandstad@astro.uio.no

e-post: k.a.maseide@fys.uio.no

Fra Fysikkens Verden kommer ut 4 g. årlig.
Abonnement tegnes hos selskapets sekretær.
Årsabonnement 120 kr. (Student 60 kr.)
Løssalg 40 kr. pr. nummer.