

Nr. 3 – 2015
77. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øyvind Grøn
Emil J. Samuelsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Øyvind Grøn:	
Relativitetsteorien 100 år - Del I	67
Ø. Berg og W. Wiesenack:	
Thorium for lettvannsreaktorer	73
Eirik Grude Flekkøy:	
Kelvins hekkbølger	80
FFVs leserundersøkelse	62
Fra Redaktørene	63
Nytt fra NFS	63
Ingerid Hiis Helstrup æresmedlem	
FFV Gratulerer	64
Martin Landrøs pris til	
Live F Øyen og Annet E Zawedde	
Vinghøgprisen i elektrooptikk	
til Martin Møller Greve	
NFS undervisningspris	
til Inga Hanne Dokka	
EU-forskningsstønad	
til Arne Brataas	
Kåre Olaussen 70 år	
Fysikknytt	82
Sikre funn av pentakvarkar	
Supraleiing over 200 K?	
Hva skjer	86
«Nordic Physics Days» 2015	
Inntrykk frå Nordiske fysikkdagar	
Fysikkolympiaden 2015	
Jubileumskonferanse 2016	
Trim i FFV	90

Fra Fysikkens Verden



Albert Einstein (1870-1955)
Relativitetsteorien 100 år
(Se artikkel)

FFV - Leserundersøkelsen 2015

Redaksjonen for FFV ønsker tilbakemelding fra leserkretsen om hvordan bladet fungerer. Vi har fått inn noen svar, men ønsker mange flere. Du kan svare ved å nytte dette arket, kopiere og sende i posten (adresse: Norsk fysisk selskap v/Åshild Fredriksen, Institutt for fysikk og teknologi, UiT, Postboks 6050, Langnes, 9037 Tromsø), eller elektronisk (adresse nfs.styret@gmail.com). Arket finnes også på nettadresse <http://www.norskfysikk.no/nfs/> under «Nyheter» i pdf- og word-format.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Altfor enkelt	Noe enkelt	Passelig	Noe for vanskelig	Altfor vanskelig

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

G: Er sidetall og layout passe? Kommentér.

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

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

Fra Redaktørene

Ren energi er viktig. For menneskenes mulighet til å leve godt i mange generasjoner fremover er det nødvendig at forholdene på jordoverflaten favoriserer en økende biomasse. I denne sammenhengen kan for hurtige og store endringer av temperaturen være vanskelig å takle. Den nåværende globale oppvarmingen er raskere enn det vi ønsker.

Det finnes også andre farer – befolknings-eksplosjon, store områder med tørke og ulike typer forurensning, ikke minst partikkelforurensning av atmosfæren. Så lenge vi forbrenner fossile brennstoffer – kull, olje og gass – for å få elektrisk strøm, vil både partikkelforurensningen av atmosfæren og drivhuseffekten øke.

Elektrisk energi kan produseres på renere måter, for eksempel ved hjelp av solenergi, vannkraft og vindkraft. Men vi velger å bruke kull, olje og gass som gir større fortjeneste på kort sikt. Det kan bli dyrt på lang sikt.

Vi trenger en plan for å øke den globale biomassen uten at drivhuseffekten økes. Da må vi redusere forbrenningen av fossile brennstoffer. Et alternativ er å bruke kjernekraft.

Det er nå 437 kjernekraftverk i drift på jorda, og ytterligere 66 er under bygging. Disse produserer radioaktivt avfall med lang halveringstid. Dette er høyst uønsket.

Men det finnes en type kjernekraftverk som gjør det mulig å produsere elektrisk energi på en renere måte enn å basere seg på den typen kjernekraftverk som er i bruk nå, noe som er omtalt i dette nummeret av Fra Fysikkens Verden. Thoriumkraftverk representerer en ny teknologi som det koster en del å utvikle. Men Norge har betydelige forekomster av thorium. Vi har muligheten til å bli et ledende land når det gjelder utvikling av thoriumkraftverk, dersom vi satser på det. Dette vil være dyrt på kort sikt, men det er gode sjanser for at det vil være svært fordelaktig på lang sikt, både når det gjelder miljø og fortjeneste.

Øyvind Grøn

∞

Nytt fra NFS

Ingerid Hiis Helstrup æresmedlem i NFS



Ingerid Hiis Helstrup er tildelt æresmedlemsskap i Norsk Fysisk Selskap (NFS) for sin store innsats for Fysikkolympiaden i Norge. Tildelingen fant sted på årsmøtet i NFS 11. juni på NTNU i Trondheim.

Ingerid Hiis Helstrup dro i gang norsk deltagelse i Fysikk-OL så tidlig som i 1984, og lenge organiserte hun dette arrangementet helt alene. Da lagde hun oppgaver til to uttakingsrunder hvert år, rettet svarene og tok ut lagene; og hun tok seg av treningsleire og organiserte reisene. Som regel hadde hun med seg en ekstra leder til olympiadene, men det har også hendt at hun har vært reiseleder alene. Denne innsatsen hennes har båret store frukter.

I dag drives Fysikk-OL av Skolelaboratoriet ved Fysisk institutt ved UiO på vegne av Norsk Fysisk Selskap og Fysikklærerforeningen under ledelse av Carl Angell, nå med tre uttakingsrunder. I år ble den 45. internasjonale fysikkolympiadefinalen arrangert i Astana i Kazakhstan. Norge deltok med fem elever fra videregående skoler med to ledere, og én av elevene fra Norge fikk "hederlig omtale".

Ingerid Hiis Helstrups innsats har vært av uvurderlig betydning for at norske fysikkinteresserte elever i videregående skoler skal få mulighet til å måle seg med de beste i verden på sin egen alder.

*Åshild Fredriksen
president i NFS*

∞

FFV Gratulerer

Martin Landrøs pris til Live Furnes Øyen og Annet Eva Zawedde

Martin Landrøs pris for fremragende masteroppgaver i fysikk ble opprettet av Norsk Fysisk Selskap i 2011 basert på en gave på 150 000 kr fra Martin Landrø. Prisen består av 5000 kr og et diplom, og deles ut under fysikermøtene som holdes annethvert år. Inntil to priser kan deles ut for hver toårsperiode. Under årets Fysikermøte i Trondheim, ble det delt ut to Landrøpriser. Disse ble gitt til *Live Furnes Øyen* og *Annet Eva Zawedde*.



Live Furnes Øyen, Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, fikk prisen for oppgaven: *"Strålingsinduserte primærradikalen i krystallinsk L-asparagin. En EMR og DET (PBC)-studie,"* som ble gitt karakteren A, i juni 2014. I begrunnelsen heter det:

Øyens arbeide er en omfattende, dels eksperimentelt og dels beregningsbasert studie av den molekylære strukturen til strålingsskadede molekyler i krystaller av aminosyren asparagine. Slike aminosyrer er viktige i DNA-proteinkomplekser, og resultatene i studien er relevante for forståelsen av obseervassjoner som er gjort av strålefølsomheten til DNA. Det eksperimentelle arbeidet omfatter groing av krystaller fra vann og tungtvann, identifikasjon av krystallakser med røntgendiffraksjon, bestråling med røntgenstråling, og måling med et ESR-spektrometer. Den omfattende dataanalysen av mer enn 2000 spektra førte fram til mulige molekylære strukturer for tre ulike produkter som i

den beregningsbaserte delen ble modellert ved hjelp av *Density Function Theory*. Resultatene førte til at enkelte foreslåtte strukturer fra tidligere eksperimentelle arbeider måtte modifiseres. Arbeidet er usedvanlig stort for en masteroppgave, har meget høy kvalitet og er særdeles velskrevet. Resultatene er publisert i *Journal of Physical Chemistry B*.

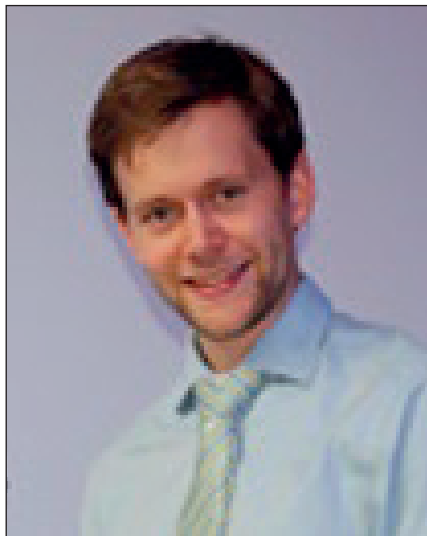


Annet Eva Zawedde, Institutt for fysikk og teknologi, Universitetet i Bergen, fikk prisen for oppgaven: *"Weak to Moderate Recurrent Storms and their Influence on the Middle Atmosphere Composition in 2008."* Oppgaven ble gitt karakteren A i november 2014. I begrunnelsen heter det:

Zawedde har arbeidet med en krevende oppgave i møtepunktet mellom romfysikk og atmosfærisk dynamikk som krever en utstrakt tverrfaglig tilnærming. Det grunnleggende temaet har vært i hvilken grad partikkelnedbør i form av energetiske elektron fra solas eget vær påvirker komposisjonen av atmosfæren vår. Zaweddes oppgave inneholder flere verdifulle resultater for forskningsfeltet. Hun demonstrerer at til og med svake geomagnetiske stormer kan øke produksjonen av OH og forårsake tap av ozon i den midlere mesosfæren, som ligger rundt 70 km fra jordas overflate. I tillegg viser hun at for å forstå i hvilken grad dette skjer, er det nødvendig å ta hensyn til atmosfæriske bølger og vinder. Disse vil forårsake variasjoner i OH konsentrasjonen som lett kan feiltolkes som effekter av partikkelnedbør. Oppgaven er omfattende, velskrevet og inneholder en utfyllende diskusjon som setter arbeidet i klar sammenheng med rådende teori og tidligere publiserte resultat. Vi gratulerer!

Are Raklev

Vinghøgprisen i elektrooptikk til Martin Møller Greve



Vinghøgprisen gis for et norsk arbeid på fagområdet elektrooptikk eller et arbeid der elektrooptiske metoder er anvendt. Prisen er på 15 000 kr, og den deles ut annethvert år.

Prisen i 2015 gikk til Martin Møller Greve for fremragende forskning på nanostrukturer for optiske anvendelser. Den ble utdelt på Fysikermøtet i juni av visepresident E. Ellingsæter i Vinghøg.

I begrunnelsen heter det:

I sin doktoravhandling presenterte han blant annet de første resultatene fra framstilling av store arealer med metalliske nanopartikler ved bruk av elektronstråle-litografi. Han testet også de optiske egenskapene for disse nanopartiklene med henblikk på å lage en høy-effektiv solcelle. Denne nye typen solceller utnytter det såkalte "hot-electron"-fenomenet. Dette oppstår når metalliske nanopartikler absorberer lys ved en spesiell resonansfrekvens, den såkalte plasmon-resonansen. De kan da avgis energi ved å sende ut slike varme elektroner.

Utnyttelsen av varme elektroner i ulike anvendelser er et nytt felt som for tiden tiltrekker seg stor oppmerksomhet, og Møller Greve arbeider helt i forkanten av dette feltet. Nanofotonikk er et svært spennende felt der grunnforskning og praktiske anvendelser følger hverandre tett. Martin gjorde sitt doktorgradsarbeid som "Nærings-PhD" i samarbeid med det Bergens-baserte firmaet EnSol A/S, som har patentert en metall-nanopartikkel solceller. Arbeidet i Martins avhandling består av totalt 8 "peer reviewed" artikler, hvor han er første-forfatter på tre av disse. Disse artiklene var de første som ble publisert fra det nylig etablerte Bergen NanoStruc-

tures Laboratory, som fokuserer på elektronstråle-litografi.

Vinghøg a/s og Norsk Fysisk Selskap gratulerer og ønsker lykke til med videre arbeid og forskning!

Åshild Fredriksen

∞

NFS undervisningspris til Inga Hanne Dokka



Norsk Fysisk Selskaps undervisningspris 2015 for fremragende undervisning i fysikk er gitt til lektor Inga Hanne Dokka ved Kongsberg vgs. Denne prisen er på 15000 kr, og blir utdelt annethvert år "til én eller flere som gjennom sitt arbeid har gitt konkrete bidrag til utvikling av fysikkundervisningen i skolen (grunnskole og videregående skole)".

Inga Hanne Dokka underviser i fysikk 1 og 2 ved Kongsberg vgs og i Akademiets privatskole, og hennes undervisning har resultert i at elevene i stor grad har tilegnet seg kunnskaper i fysikk.

I begrunnelsen for pristildelingen nevnes spesielt opprettelsen av en egen youtube-kanal med undervisningsvideoer og løsningsforslag på fysikkoppgaver. Inga Hanne Dokka har også undervist i IB-systemet (*International Baccalaureate*) som er et internasjonalt skolesystem av høy faglig standard, der undervisningen foregår på engelsk. Hun har også erfaring som sensor.

Inga Hanne Dokka er utdannet ved Universitetet i Oslo og NTNU i Trondheim. – Vi gratulerer!

Morten Trudeng

∞

Prestisjetung EU-forskningsstønad til Arne Brataas



Den 30. juni offentliggjorde Det europeiske forskingsrådet, ERC, at dei hadde løyvt 445 millionar euro til 190 framstående forskarar i Europa, svarande i gjennomsnitt til 19,3 Mkr på kvar. Det gjeld forskarar som har "framrakande idear som nok kan vere risikofylte å følgje, men som også kan føre til eksepsjonelle vinstar som kan gi betydelege framgangar for menneska", heiter det. Det var mange gode søknader som ikkje rakk opp denne gongen; konkurransen om midlane var uvanleg hard. Alle kan søke, men forskinga skal i hovudsak utførast i Europa. Flest innvilga søknader gjekk til dei store europeiske forskarnasjonane Storbritannia, Tyskland, Nederland, Frankrike, Spania og Italia.

Av dei tre norske søknadane som fekk stønad var Arne Brataas sin den einaste i fysikk. Brataas sitt prosjekt "*Insulatronics*" er i kategorien "*Condensed Matter Physics*" under tittelen "*Controlling Electronic Signals with Insulating Antiferromagnets and Insulating Ferromagnets*". Stønadene er på 19 Mkr over 5 år. Arne Brataas er professor i teoretisk fysikk ved NTNU. Hovudforskningsfeltet hans er faste stoffs elektroniske og magnetiske eigenskapar.

Dei to andre norske innvilgingane var i kategorien "*Earth System Science*". Dei gjekk til **Bjørn Jamtveit**, UiO, for prosjektet "*Disequilibrium Metamorphism of Stressed Lithosphere*", og til **Andreas Stohl**, Norsk institutt for luftforskning, Kjeller, for prosjektet "*Camera Observation and Modelling of 4D Tracer Dispersion in the Atmosphere*". – Vi gratulerer!

Emil J. Samuelsen

∞

Kåre Olaussen 70 år



Kåre Olaussen fylte 70 år 1. august. Vi i professorlauget har, de fleste av oss, levnetsløp frem til professor som er så standardiserte og fargeløse at de knapt fortjener å møtes med annet enn et høflig gjesp. Kåre Olaussens historie derimot, fortjener både lyttende oppmerksomhet og ettertanke.

Kåre vokste opp på Russenes, en liten plass i Porsangerfjorden. Mulighetene for at bygdas håpefulle skulle sikte seg inn mot en akademisk karriere, var ikke akkurat det dominerende emnet i samtalene over kaffekoppen. Kort sagt: Som 15-åring dro Kåre til Svinøya sjøguttskole. Når knuter der sto på læreplanen, var det ikke som topologiske snurigheter, men for oppøving av svært så praktiske ferdigheter. Og når begge tauene er for korte, vel, da må det spleises. Kåre gjorde faktisk lynkarriere som sjømann. Han startet som dekksgutt i januar 1961, og etter drøyt to år var han allerede båtsmann. På den tiden begynte bananbåten "Balears" å hyre inn ecuadorianske sjøfolk. På grunn av norsk holdning til ecuadoriske sjøfolk den gangen, kunne de ikke gå inn i så ansvarsfulle jobber som båtsmann, og dermed var Kåres opprykk sikret. Etter to og et halvt år ombord i "Balears", har Kåre fortsatt et spesielt forhold til bananer.

Så tok karrieren en helt annen vending. Fra 1964 til 1967 gikk Kåre "Hærens yrkesskole for sambandsteknisk befall" på Jørstadmoen, og ble uteksaminert som teknisk sersjant. Den teoretiske delen av visdommen, pluss en passende dose egeninnsats, ga grunnlaget for toårig realskoleeksamen som privatist høsten 1967. Ved siden av pliktjenesten skaffet han seg så realartium ved Oslo Språkskole i 1969. Denne skolen hadde en dyktig lærer i matematikk og fysikk som åpnet for Kåres

inntog på Linjen for teknisk fysikk ved NTH høsten 1969. Etter fullført siv.ing.-eksamen dro han til MIT, der han fikk sin PhD i anvendt matematikk i 1978. Etter en periode som vitenskapelig assistent og postdoktor ble Kåre tilsatt som førsteamanuensis i teoretisk fysikk ved NTH i 1986 og ble professor fra 1988.

Kåre er med rette stolt av den ideen han utviklet til doktorarbeidet, der han beregnet spredningstverrsnittet for hadron-hadronstøt ved høye energier. Tilbake ved NTH/NTNU har han gjort betydelige arbeider over et bredt fagfelt: matematikk, feltteori, elementærpartikler, statistisk fysikk og gravitasjonsteori for å nevne det viktigste. Også Jørstadmoen har satt sine spor: Da datamaskinen for alvor gjorde sitt inntok i teoretisk fysikk, var

Kåre den som gikk i dybden både på maskin- og programvaresiden. Kåres problem er at han er nesten selvutslettende hjelpsom. Når vi klønete amatører kom beskjemet med "selvsagt skal vi ikke be deg om hjelp, men kanskje du bare ...?" stilte han opp.

Kåre Olaussen har vært en enestående kollega, med en faglig oversikt og innsikt vi andre alltid har kunnet trekke veksler på. Og for sin lange rekke av master- og PhD-studenter har han gjort en imponerende veiledningsinnsats.

Vi regner med å ha glede av Kåres nærvær i årene som kommer, og gratulerer ham hjertelig med 70 år!

Eivind Hiis Hauge

∞

Den generelle relativitetsteorien 100 år

Del I: Tid, rom, gravitasjon og lys

Øyvind Grøn *



Albert Einstein startet arbeidet med å konstruere den generelle relativitetsteorien høsten 1907 og fullførte teorien i november 1915. Ifølge denne teorien går tiden langsommere langt nede i et tyngdefelt enn høyere oppe, og lys avbøyes i et tyngdefelt.

Den spesielle relativitetsteorien

I 1905 presenterte Einstein den spesielle relativitetsteorien. Navnet kommer av at alle hastigheter er relative ifølge denne teorien. Enhver observatør med jevn rettlinjert bevegelse kan oppfatte seg selv som i ro. Dette kalles *det spesielle relativitetsprinsippet* fordi det bare omfatter rettlinjert bevegelse med konstant hastighet.

Denne teorien har noen bemerkelsesverdige konsekvenser, for eksempel *samtidighetens relativitet*. Dersom to hendelser skjer samtidig forrest og bak-

erst på et tog som farer forbi en stasjon, registrert på toget, vil den bakerste hendelsen skje *før* den forreste observert fra perrongen.

En annen konsekvens er at all energi har masse, og omvendt at all masse har energi. Et legeme med masse m har energien $E = mc^2$, der c er lyshastigheten i vakuum: $c = 299\,792\,458$ m/s.

En tredje konsekvens er at en klokke vil observeres å "tikke" saktere desto raskere klokken beveger seg i forhold til observatøren.

En fjerde konsekvens er at et legeme vil observeres å bli kortere desto større hastighet det observeres å ha.

En femte konsekvens er den spesielle rollen lysets hastighet i vakuum har. Ifølge den spesielle relativitetsteorien opptrer c som en hastighetsbarriere. Det er ikke mulig å akselerere en partikkel fra underlyshastighet til overlyshastighet. Det ville kreve uendelig stor energi å passere lyshastighetsbarrieren. Men relativitetsteorien tillater eksistensen av partikler som alltid beveger seg med overlyshastighet. De kalles "tachyoner", men er ikke

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

observert. Så om de virkelig eksisterer, vet vi ikke.

Hvordan formulere en relativistisk gravitasjonsteori?

I 1907 begynte Einstein (figur 1) å tenke på hvordan Newtons gravitasjonslov måtte modifiseres for å bli i overensstemmelse med den spesielle relativitetsteorien. Han innså at en lov som tillater øyeblikkelig avstandsvirkning, ville komme i konflikt med kausalitetsprinsippet – at virkning ikke kan komme før årsak – på grunn av samtidighetens relativitet. Hvis et legeme, A, foran i et tog virker på B bak i toget, og virkningen på B inntreffer samtidig med årsaken fra A observert på toget, vil virkningen på B inntreffe *før* årsaken fra A observert fra perrongen. Dette er i konflikt med kausalitetsprinsippet.



Figur 1. Albert Einstein, 1879–1955

Einstein skjønnte at dette kunne løses ved å formulere gravitasjonsteorien som en feltteori på samme måte som teorien for elektromagnetismen. Da formuleres gravitasjonsloven på tilsvarende måte som teorien for elektromagnetisme uttrykkes ved Maxwells likninger.

Men der var et annet problem også. Et gravitasjonsfelt har energi, og energi har masse. Derfor vil ikke bare en massefordeling forårsake gravitasjon. Gravitasjonsfeltet selv vil ha en gravitasjonsvirkning. Så vanskelighetene tårnet seg opp.

Ekvivalensprinsippet

I september 1907 ba redaktøren av *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik* Einstein om å skrive en oversiktsartikkel om relativitetsteorien. Einstein jobbet på denne tiden i patentkontoret i Bern. Han satte i gang umiddelbart og inkluderte et avsnitt om gravitasjon på slutten av artikkelen. I november, da han jobbet med dette, opplevde han et gjennombrudd i sin forståelse av gravitasjon.

I et upublisert manuskript skrevet for *Nature* i 1921 – året da han mottok Nobelprisen i fysikk – har Einstein skrevet om dette: "En observatør som faller fritt fra taket av et hus, registrerer i sin umiddelbare nærhet ikke noe gravitasjonsfelt. Der- som observatøren slipper et legeme, forblir det i ro i forhold til ham uansett hva det består av. Det er da ingen objektiv grunn for observatøren til å oppfatte seg selv som en person som faller i et gravitasjonsfelt. Observatøren kan like gjerne betrakte seg selv som i ro. Den eksperimentelle kjensgjerning at et legeme faller fritt med en akselerasjon som er uavhengig av hva det består av, er derfor et sterkt argument for å utvide relativitetsprinsippet til å omfatte akselerert bevegelse."

I 1907-artikkelen formulerte Einstein nå ekvivalensprinsippet som sier: *Det er en fullstendig fysisk ekvivalens lokalt av et gravitasjonsfelt og den tilsvarende tyngdeakselerasjon som erfares i et akselerert referansesystem.* Ordet "lokalt" betyr her at man ikke kan måle tidevannseffekter der. Dette prinsippet innebærer at det ikke finnes noen lokale eksperimenter som kan avgjøre om man befinner seg i et akselerert laboratorium eller i et laboratorium i ro i et tyngdefelt.

Einstein skriver videre: "Dette prinsippet innebærer at relativitetsprinsippet kan utvides til å gjelde akselerert bevegelse."

Einstein påpeker at ekvivalensprinsippet er til stor hjelp for tanken, for ifølge dette prinsippet kan man undersøke gravitasjonsvirkningen på fysiske hendelsesforløp ved først å studere hendelsesforløpet i et akselerert referansesystem langt fra graviterende masser. De effekter man finner på denne måten, vil også være til stede i et referansesystem i ro i et gravitasjonsfelt forårsaket av en massefordeling.

Gravitasjonell tidforlengelse

I 1907-artikkelen viste Einstein at tiden går raskere høyt oppe i et gravitasjonsfelt enn lavt nede. Han skrev: "Enhver fysisk prosess skjer raskere desto

større gravitasjonspotensialet er der den skjer.” I samme artikkel argumenterte han for at i lys som beveger seg nedover i et tyngdefelt blir spektrallinjer blåforskjøvet, og i lys som beveger seg oppover rødforskjøvet.⁽¹⁾

Einstein ga en ny utledning av dette i en artikkel publisert i 1911. Hans vakre resonnement er basert på ekvivalensprinsippet og går slik:

Tenk deg et laboratorium som er innvendig i en akselerert rakett fjernt fra noen massefordeling. Lys sendes fra fronten til en detektor bakerst i laboratoriet. På grunn av akselerasjonen får detektoren en ekstra hastighet mot senderen mens lyset er underveis. Dopplereffekten gjør da at man vil registrere en blåforskyvning av spektrallinjer i lyset.

Ifølge ekvivalensprinsippet vil akkurat det samme observeres i et laboratorium i ro i et gravitasjonsfelt forårsaket av en massefordeling. Konklusjonen er at *lys blir blåforskjøvet når det beveger seg nedover i et tyngdefelt*.

Einstein fortsatte med å si at vi nå skal betrakte lyset som bølger. Videre betraktes en situasjon der forholdene i laboratoriet ikke endres med tiden. Det er for eksempel like mye stråling i laboratoriet hele tiden. Einstein tenkte seg at det er et vindu i taket av laboratoriet og et på gulvet med frekvenstallere hvert sted. Anta at N lysbølger passerer inn gjennom takvinduet per sekund. Siden strålingen blåforskyves på vei ned til gulvet, er frekvensen høyere ved gulvet enn ved taket. Følgelig passerer flere bølger ut av vinduet i gulvet per sekund enn de N som kommer inn gjennom vinduet i taket per sekund. Dette betyr at laboratoriet vil tømmes for lys etter hvert som tiden går, noe som er i strid med antagelsen om at forholdene i laboratoriet ikke skal endre seg med tiden.

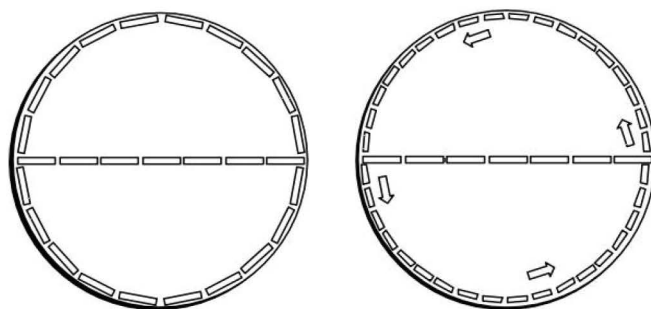
Einstein løste denne selvmotsigelsen ved å si at dette må bety at hvert sekund varer litt lenger nede ved gulvet enn oppe ved taket. Konklusjonen blir at *tiden går langsommere langt nede i et tyngdefelt enn høyt oppe*.⁽²⁾ Dermed vil det gå flere lysbølger ut per sekund enn det kommer inn uten at laboratoriet tømmes for stråling.

Krumt rom

I 1909 publiserte Paul Ehrenfest en artikkel hvor han diskuterte hvilke konsekvenser lengdekontraksjonen har for en roterende skive. Han formulerte der følgende problem: Periferien til en roterende skive med radius R vil være lengdekontraktert og derfor mindre enn $2\pi R$, men radien til skiven vil

ikke være lengdekontraktert og har derfor lengden R . Disse paradoksale egenskapene til en roterende skive kalles *Ehrenfests paradoks*.

Løsningen er at det ikke er elementene av skivens periferi som er lengdekontraktert, men målestavene langs periferien (figur 2). Lengden av periferien målt med de lengdekontrakterte målestavene blir derfor større desto raskere skiven roterer. Dette betyr at det oppstår et tangentielt strekk i skiven når den roterer.



Figur 2. Til venstre en sirkulær skive med målestaver i ro. Til høyre en roterende skive med målestaver langs omkretsen som er lengdekontrakterte. Det blir da plass til fler målestaver desto raskere skiven roterer.

I 1912 gjorde Einstein et nytt tankeeksperiment. Han kjente godt til Ehrenfests paradoks og løsningen av det. Men Einstein gikk videre. Han hadde utvidet relativitetsprinsippet til akselerert bevegelse i 1907. I sitt arbeid med å konstruere en relativistisk gravitasjonsteori basert på ekvivalensprinsippet ønsket han å utvide relativitetsprinsippet til å gjelde for alle typer bevegelser, også rotasjonsbevegelser. I så fall måtte observatører på den roterende skiven kunne oppfatte seg selv og skiven som å være i ro, mens omgivelsene roterer.

Med dette utgangspunktet spurte Einstein: "Hvordan kan observatører på den roterende skiven forklare at den målte lengden av skivens periferi er større desto raskere de observerer at omgivelsene roterer?" Einsteins svar var: "Observatørene på skiven opplever et sentrifugalfelt. Ifølge ekvivalensprinsippet oppfatter de dette som et gravitasjonsfelt." Einstein konkluderte med at dette må bety at gravitasjonsfeltet forårsaker at rommet på den roterende skiven har en ikke-euklidisk geometri, dvs. at forholdet mellom omkretsen og diameteren til en roterende skive er større enn $\pi = 3,14$. På denne måten ble Einstein ledet til tanken om at det må være en sammenheng mellom gravitasjon og rommets geometri.

Jakten på gravitasjonslikningene

Sommeren 1912 tenkte Einstein mye på hvordan gravitasjonslikningene skulle formuleres i en relativistisk gravitasjonsteori. Han innså da at den fundamentale størrelsen når det gjelder tid og rom, er den 4-dimensjonale romtiden som ble innført i fysikken av Herman Minkowski i 1908. Det måtte være en sammenheng mellom romtidens krumning og gravitasjon. Han forsto at han ikke hadde tilstrekkelig med matematiske kunnskaper til å kunne konstruere en relativistisk gravitasjonsteori basert på forestillingen om en sammenheng mellom gravitasjon og en krum 4-dimensjonal romtid. Einstein kontaktet da sin gamle studiekamerat Marcel Grossmann som var blitt professor i matematikk ved den tekniske høyskolen i Zürich. De jobbet hardt sammen høsten 1912. I oktober 1912 skrev Einstein til en kollega: "Jeg arbeider nå utelukkende med gravitasjonsproblemet og tror at jeg skal overvinne alle vanskeligheter ved hjelp av en matematikervenn her. Men én ting er sikkert: Jeg har aldri før arbeidet så intenst, og jeg har fått en enorm respekt for matematikken, hvis mer subtile deler jeg tidligere, i min uvitenhet, betraktet som ren luksus."

Einstein og Grossmann publiserte en todelt artikkel i 1913 der Einstein skrev fysikkdelen og Grossmann matematikkdelen. De var nær ved å ha utledet feltlikningene i den generelle relativitetsteorien, men oppdaget etter hvert at det var noe som ikke stemte. Einstein strevde i tre år til med å finne de korrekte feltlikningene. Arbeidet ble fullført i november 1915. Våren 1916 presenterte Einstein den generelle relativitetsteorien i en flott, 50 sider lang artikkel.⁽³⁾

Hvordan gravitasjon oppfattes i den generelle relativitetsteorien

I videregående skole lærer vi Newtons lov om gravitasjonskraften mellom to legemer. I dagliglivet oppfattes gravitasjon synonymt med tyngde. Gravitasjonskraften fra jorda på et legeme ved jordoverflaten gjør at legemet har en tyngde. Når legemet slippes slik at det faller fritt, dvs. at det bare er påvirket av tyngdekraften, faller det med en akselerasjon som kalles tyngdeakselerasjonen.

Vi lærer også om treghetssystemer. Et treghetssystem er et referansesystem der Newtons 1. lov gjelder. Denne definisjonen gjelder både i Newtons og i Einsteins teori. Ifølge Newtons dynamikk betyr

dette at treghetssystemer enten er i ro eller beveger seg med konstant fart langs en rett linje.

I relativitetsteorien er mye av dette annerledes. Ifølge relativitetsteorien regnes ikke tyngde som en kraft, og et legeme i fritt fall er virkelig fritt og ikke påvirket av noen ytre kraft. Hvis man er i et laboratorium som er i fritt fall og slipper et legeme, vil legemet forbli i ro. Det betyr at Newtons 1. lov gjelder i et laboratorium i fritt fall, dvs. ifølge relativitetsteorien er treghetssystemer i fritt fall.

Selv om tyngde ikke er en kraft ifølge relativitetsteorien, så eksisterer tyngdeakselerasjon på tilsvarende måte som i Newtons teori. Tyngdeakselerasjonen er akselerasjonen til et legeme i fritt fall. I et treghetssystem er det ingen tyngdeakselerasjon. *Tyngdeakselerasjon eksisterer i referansesystemer som ikke er i fritt fall.* Dette gjelder enten romtiden er krum eller flat. Gravitasjon i betydningen tyngde har ikke noe med romtidens krumning å gjøre. Det er referansesystemets bevegelse som avgjør om man opplever tyngde eller ikke.

Tidevannskrefter og romtidens krumning

Tidevannskraft er forskjell i gravitasjonskraft ved to nærliggende punkter i et gravitasjonsfelt. For eksempel er tyngdeakselerasjonen i solas gravitasjonsfelt litt større på den siden av jorda som vender mot sola enn i jordas sentrum. Dette gjør at vann på den siden av jorda som vender mot sola trekkes litt sterkere mot sola enn jorda som helhet. Dette forårsaker høyvann i solas retning (og i motsatt retning). På grunn av jordas døgnlige rotasjon roterer denne tidevannsbølgen rundt jorda en gang i løpet av et døgn. Månen har en tilsvarende virkning.

Det kan vises at i relativitetsteorien er tidevannskraften proporsjonal med romtidens krumning. Så når fysikere sier at i relativitetsteorien har gravitasjon med romtidens krumning å gjøre, så er sammenhengen den at romtidens krumning forårsaker tidevannskrefter, mens tyngdeakselerasjon derimot skyldes at man befinner seg i et rom som ikke er i fritt fall.

Avbøyning av lys i gravitasjonsfelt

Newton mente at lys kunne oppfattes som partikler, og den oppfatningen kom til å dominere frem mot 1800-tallet. I 1672 målte Ole Rømer lyshastigheten ved å observere fasene til Jupiters største måner.

I slutten av sin bok "Optics", publisert i 1704, skrev Newton at gravitasjon virker på lyspartikler på samme måte som på materielle partikler. Dermed kunne man tenke på lys som en strøm av partikler med en kjent, stor hastighet. En konsekvens er at lys avbøyes når det passerer et himmellegeme.

Den tyske astronomen Georg Soldner beregnet i 1801 at lys som passerer nær sola avbøyes med 0,87 buesekunder. Men med datidens utstyr var dette ikke målbart.

Young sitt berømte dobbeltspalteeksperiment av 1803 viste at lys kunne interferere. Fra da av og frem til 1905 ble lys oppfattet som bølger. Maxwells likninger, utarbeidet i 1862–1864, viste at lys kan beskrives som elektromagnetiske bølger.

Vil da lys avbøyes når det passerer en stjerne? Einstein tok opp dette spørsmålet i 1911 og fant et interessant svar. Allerede i 1907 hadde han forutsagt at tiden går langsommere jo lenger nede man er i et tyngdefelt. Da vil lyset også gå saktere nede i et tyngdefelt.

I sitt tankeeksperiment i 1911 betraktet Einstein lysbølger som passerer forbi sola med bølgefrontene på tvers av bevegelsesretningen. Idet lyset passerer sola peker bølgefrontene radielt mot sola i retning nedover, og vekk fra sola i motsatt retning. Bølgefrontene beveger seg saktere nær sola enn høyere oppe. Dette leder til en avbøyning av lysstrålene. Einstein beregnet at avbøyningen ble like stor som den Soldner fant – 0,87 buesekunder for lys som passerer rett utenfor solas overflate.

Denne forklaringen på lysavbøyningen innebærer at lys oppfattet som elektromagnetiske bølger ikke får noen avbøyning ifølge den ikke-relativistiske kinematikken, der tiden går like fort i et tyngdefelt. Dermed gir den Newtonske partikkelteorien for lys og bølgeteorien med Galileisk kinematikk forskjellige svar for lysavbøyningen i et tyngdefelt.

Relativitetsteorien derimot, gir samme svar, men ikke det Einstein fant i 1911. Han hadde den fulle relativitetsteorien ferdig først i 1915.

Her kom noe nytt inn i bildet: *Rommet utenfor et massivt legeme er krumt!* Einsteins beregning av lysavbøyningen i den ferdige generelle relativitetsteorien viste at den gravitasjonelle tidforlengelsen og rommets krumning gir like store bidrag til lysavbøyningen. Det korrekte svaret som Einstein presenterte vinteren 1916, er at avbøyningen av lys som passerer sola blir 1,75 buesekunder.

Denne forutsigelsen ble testet under en solformørkelse i 1919. Resultatet var i overensstem-

melse med Einsteins teori. Avbøyningen av stjernelys som passerte nær sola var det dobbelte av den Soldner kom frem til ved å bruke Newtonsk gravitasjon.

Svarte hull

Løsningen av Einsteins feltlikninger som beskriver romtiden utenfor en ikke-roterende, sfærisk massefordeling, ble funnet allerede i 1918 av den tyske fysikeren Karl Schwarzschild og kalles derfor *Schwarzschild-romtiden*. Den tilsvarende løsningen utenfor et roterende kuleformet legeme ble funnet så sent som i 1963 av den New Zealandske fysikeren Roy Kerr og kalles *Kerr-romtiden*. Romtiden utenfor jorda er en Kerr-romtid. Men rotasjonseffekten er så liten at vi med god tilnærming kan regne med at vi "bor" i en Schwarzschild-romtid.

Tiden går langsommere jo lenger nede vi er i tyngdefeltet til et legeme med masse M . Sammenhengen mellom et tidsintervall dt målt med en klokke uendelig langt fra denne massen og et tidsintervall $d\tau$ målt med en klokke i avstand r fra sentrum av massen er⁽²⁾

$$d\tau = \sqrt{1 - \frac{R_S}{r}} dt \quad (1)$$

der

$$R_S = 2GM/c^2 \quad (2)$$

kalles Schwarzschild-radien til massefordelingen, og det forutsettes at $r \geq R_S$. I dette uttrykket er G Newtons gravitasjonskonstant og c er lyshastigheten i vakuum. Av likning (1) følger at *tiden står stille nede ved Schwarzschild-radien* målt med klokken til en fjern observatør.

Man kan også vise at det er en "horisont" ved Schwarzschild-radien. Den fungerer som en enveis membran: Man kan bevege seg inn gjennom Schwarzschild-horisonten, men ikke ut av den. Dette gjelder også for lys. Derfor kan lys fra kilder innenfor Schwarzschild-radien ikke komme ut i området utenfor, og området innenfor vil observeres som svart av en observatør utenfor. Et slikt område ble kalt et "svart hull" av den amerikanske fysikeren John Archibald Wheeler. Radien til et ikke-roterende svart hull er lik dets Schwarzschild-radius.

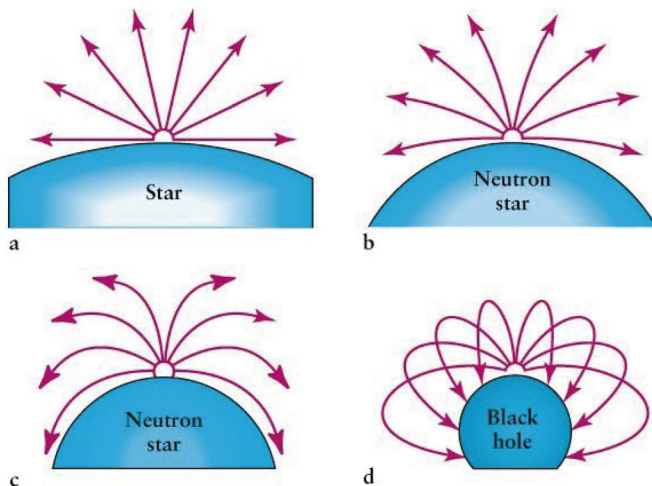
Innsetting av jordas masse i likning (1) viser at jorda har en Schwarzschild-radius $R_{S\oplus} = 8,7$ mm, dvs. omtrent 1 cm. Dersom jorda skulle bli til et svart hull måtte den presses innenfor en kule-

flate med denne radien. Sola har en Schwarzschild-radius, R_S , på omtrent 3 km.

Jordas avstand, r , fra sola er omtrent 150 millioner km, dvs. $r \gg R_S$. Dette betyr at det er et svakt gravitasjonsfelt i solsystemet.

Hvorfor kommer det ikke lys ut av et svart hull?

For noen år siden fant jeg en illustrasjon som skal forklare at lys ikke kommer ut av et svart hull (figur 3). Men denne illustrasjonen er ikke korrekt. Den gir inntrykk av at i et svart hull krummes rommet så sterkt at banen til lys som beveger seg oppover, avbøyes så kraftig at lyset begynner å bevege seg nedover og derfor ikke kommer ut av det svarte hullet. At lys ikke kommer ut fra et svart hull har imidlertid ikke med rommets krumning å gjøre, men med rommets bevegelse, noe vi skal se nærmere på i neste avsnitt.



Figur 3. Illustrasjon av hvorfor lys ikke kommer ut fra et svart hull. a) Viser at det er så svakt gravitassjonsfelt utenfor en vanlig stjerne at lyset ikke avbøyes merkbart. b) og c) viser at en nøytronstjerne har så sterkt gravitasjonsfelt at det blir en merkbare lysavbøyning (Pilen i c) er ikke realistisk.) d) skal vise at i et svart hull er rommet så sterkt krummet at lysets bane bendes nedover. Men lyset kan ikke bevege seg slik. Det kan ikke bevege seg rett opp, stoppe og så falle ned igjen.

Romelven

Universet ekspanderer. Relativitetsteorien sier at det er selve rommet som ekspanderer. Dette krever at vi må ha en modell av rommet som tillater det å ekspandere. Det newtonske rommet er ikke slik. Her ville et ekspanderende univers være et univers hvor galaksehopen beveger seg gjennom rommet.

Ifølge relativitetsteorien "bor" vi i en 4-dimensjonalt romtid. Vi må oppgi fire koordinater når vi avtaler å møte en person, tre romkoordinater og en tidkoordinat. Det 3-dimensjonale rommet er definert med to egenskaper. Den ene er at rommet består av et sett av samtidige hendelser. Den andre er at det finnes et sett av referansepunktikler som definerer hvordan rommet beveger seg. Et foretrukket sett av referansepunktikler er frie partikler.

I de relativistiske universmodellene tenker en seg at alt innholdet i universet er jevnt fordelt. Da defineres rommets bevegelse ved å kreve at referansepunktiklene er i ro i observatørens posisjon.

I rommet utenfor en stjerne derimot, er det vanlig å neglisjere universets ekspansjon. Da defineres de frie referansepunktiklenes bevegelse ved å kreve at de skal være i ro langt fra stjernen.

I en endelig avstand fra et svart hull "renner" rommet inn mot det svarte hullet. Hastigheten er større desto mindre avstand det er til det svarte hullet. Ved å beregne hastigheten til referansepunktiklene finnes at romelven renner med hastigheten til lys i tomt rom ved overflaten av et svart hull. Innenfor overflaten renner romelven med overlyshastighet.

Lys sendt ut fra et punkt inne i et svart hull beveger seg med den vanlige hastigheten c i enhver retning observert av en observatør i et lokalt treghetssystem som faller fritt sammen med romelven. Den spesielle relativitetsteorien gjelder lokalt. Men sett av en observatør som har en konstant avstand fra det svarte hullets sentrum, "dras" lyset med innover av romelven og greier ikke å bevege seg utover. Derfor vil lys sendt ut av kilder inni et svart hull ikke kunne komme ut av "hullet".

Lyshastighetens rolle i relativistisk kinematikk

Det som menes med å si at hastighet er absolutt, er at det finnes et medium som alle observatører er enige om er i ro, samme hvilken hastighet observatørene har. Før 1905 mente man at den såkalte "eteren" var et slikt medium.

I den spesielle relativitetsteorien opptrer ingen "eter", og alle hastigheter er relative. Likevel opptrer lyshastigheten i tomt rom, c , som en hastighet med samme verdi observert av enhver observatør. Det er fristende å si at lyshastigheten i vakuum opptrer som en absolutt hastighet i relativitetsteorien. Men det gjør den ikke. Den innebærer ikke ek-

sistensen av noe medium som alle er enige om at er i ro. Lyshastigheten i vakuum er en *invariant* hastighet. Lokale målinger av lyshastigheten i et laboratorium gir samme verdi uavhengig av laboratoriets hastighet.

Som nevnt i første avsnitt opptrer lyshastigheten som en hastighetsbarriere for partikler som beveger seg gjennom rommet. Det er ikke mulig å akselerere en partikkel fra underlyshastighet til overlyshastighet.

Men relativitetsteorien tillater at romelveen beveger seg med overlyshastighet. Det skjer innenfor overflaten av et svart hull, og utenfor horisonten til et ekspanderende univers.

Det vil bli sagt mer om dette i Del II av denne artikkelen.

Referanser

1. Ø. Grøn: *Gravitasjonell rødforskyvning som astronomisk redskap*. Fra Fysikkens Verden, **66**, Nr. 4, 113-116 (2004)
2. Ø. Grøn: *Relativitetsteorien og GPS-systemet*. Fra Fysikkens Verden, **68**, Nr. 3 69-71 (2001)
3. A. Einstein: *The Foundation of the General Theory of Relativity* (oversatt fra tysk). s. 111-164 i *The Principle of Relativity*. Dover (1952)
4. Ø. Grøn: *Relativistisk tid*. Fra Fysikken Verden, **54**, Nr. 4, 93-100 (1992)

∞

Thorium for lettvannsreaktorer

Øivind Berg og Wolfgang Wiesenack *

Kjerneenergi er en av de få energikildene som nesten ikke gir utslipp av drivhusgasser og som kan bidra med betydelig kontinuerlig energiproduksjon. Brenselet i dagens kommersielle reaktorer er uran. Thorium er det eneste materialet som kan supplere uran som brensel. Vi diskuterer bruk av thorium i dagens lettvannsreaktorer, dvs. reaktorer som bruker lettvann (vanlig vann) som de fleste kommersielle reaktorer benytter som kjølemiddel. Videre diskuteres hva som kreves av tester for å kvalifisere thorium som brensel.

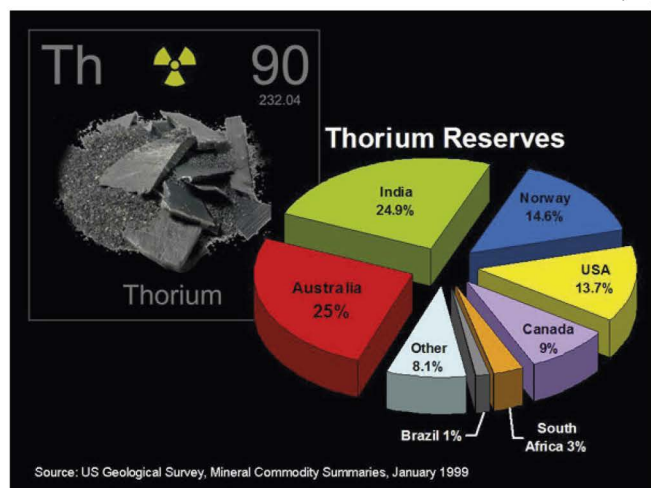
Innledning

Thorium som reaktorbrensel dukker stadig opp i media og har vært omtalt i to tidligere artikler i FFV.^(1,2) Thoriumutvalget (oppnevnt av Forskningsrådet på vegne av Olje- og energidepartementet) kom med sin rapport i 2008.⁽³⁾ Deres anbefalinger er oppsummert i ni punkter med sluttkommentarer: "...at nåværende kunnskap om thoriumbasert energiproduksjon og geologien [i Fensfeltet] ikke er solide nok til å gi en endelig vurdering av verdien for Norge...". Utvalget anbefaler at muligheten for thorium holdes åpen siden den representerer et interessant komplement til uranmuligheten for å styrke kjernekraftens bærekraftighet". Temaet ble igjen aktualisert ved utgivelsen av en ny rapport i 2012.⁽⁴⁾

Interessen for thorium er dels knyttet til at det finnes betydelige thoriumressurser i Norge (figur 1) og dels til miljømessige gevinster ved bruk av kjernekraft.

Denne artikkelen gir en oppsummering av status og peker spesielt på muligheter for anvendelse av thorium i dagens lettvannsreaktorer. Det pågår nå testing av thorium for dette formålet i Haldenreaktoren. Videre diskuteres framtidige muligheter for lettvannsreaktorer basert på nye typer reaktorer, slik som "Self-Sustained Thorium Boiling Water Reactor, RBWR-Th".⁽⁵⁾

* Institutt for energiteknikk, Halden.



Figur 1. Forekomster av Thorium i ulike land. *Bildeadresse:* <http://energyfromthorium.com/energy-independence-and-sustainability/>

Behov for klimavennlig energi

OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) antar at verdens energibehov vil øke kraftig og sannsynligvis fordobles før 2050, mens IAEA (*International Atomic Energy Agency*) antar en tredobling. Over 80 % av energibehovet dekkes i dag av fossile kilder. Andelen er økende og fører til sterk vekst i CO₂-utslipp dersom ikke andelen av energi som omdannes til elektrisk energi ved forbrenning av fossile stoffer, reduseres betydelig. IEA (*International Energy Agency*) sier at en massiv satsing på fornybar energi ikke vil hjelpe vesentlig på verdens energiforsyning på flere tiår. Ifølge FN's klimapanel er kjerneenergi en av de få energikildene som gir minimalt utslipp av drivhusgasser og som kan gi tilstrekkelig og sikker energiforsyning.

Kjernekraftens historikk, status og framtidsutsikter

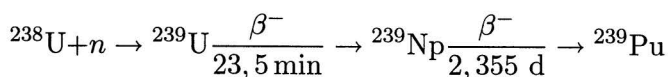
I dag står 437 kjernekraftverk for 11 % av verdens elektrisitetsproduksjon og benytter uran som brensel. 67 verk er under bygging, og ytterligere 150 er på planleggingsstadiet på verdensbasis.

Kjernekraften ble bygd ut på 1970- og 1980-tallene i USA, Europa og Japan hvor det var stor industrivekst og behov for elektrisk kraft. TMI (*Three Mile Island*)-ulykken (1979) satte en stopper for videre utbygging i USA. Tsjernobyl-ulykken (1986) stoppet mange prosjekter i Europa. Fukushima-ulykken (2011) har ført til internasjonale tiltak for å sikre kjernekraftanlegg bedre mot naturkatastrofer,

mens noen land, deriblant Tyskland, har bestemt seg for å stenge sine verk innen 2022. Ikke desto mindre er det flere land som bygger nye anlegg. Den største veksten er i Asia hvor Kina og India leder. Men også USA, England, Russland og land i Midtøsten har flere store utbyggingsprosjekter. De Forente Arabiske Emirater har fire reaktorer under bygging som skal settes i drift innen 2020. Omfanget av kjernekraftutbygging framover vil være en viktig faktor for de behov/muligheter som ligger i framtidig introduksjon av thorium som brensel.

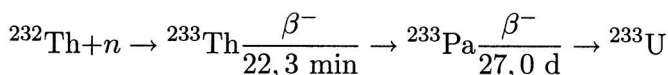
Fundamentalt om brensel

Dagens kommersielle reaktorer benytter uran som brensel. Naturlig uran består av isotopene ²³⁵U (0,7 %) og ²³⁸U (99,3 %). Det er bare ²³⁵U som kan benyttes til fisjon i atomkraftverk, mens man ikke kan produsere fisjonsreaksjoner med ²³⁸U. Dette betyr at en nøytroninnfangning (n) må skje for å omdanne ²³⁸U først til ²³⁹U som så ved å sende ut en beta-partikkel (dvs. et elektron) blir til ²³⁹Np (neptunium). Denne prosessen har en halveringstid på 23,5 min. Ved å sende ut nok en beta-partikkel (halveringstid 2,355 dager) omdannes ²³⁹Np til ²³⁹Pu (plutonium) som kan fisjoneres. Denne omdanninga kalles *formering* eller "*breeding*". Ved formering dannes flere nye spaltbare atomer enn dem som blir forbrukt.



Spalting av et ²³⁵U atom er mer sannsynlig når nøytronene har lav energi. De frigjorte nøytronene har høy energi og må bremses ned (modereres), oftest med vann eller tungtvann, men også med grafit.

Naturlig thorium finnes bare i en isotop, ²³²Th, og er ikke fisjonerbart. Det må omdannes som vist i følgende reaksjonslikning for å få den fisjonerbare isotopen ²³³U.



²³³U har et høyere utbytte av nøytroner per fisjon enn andre nuklider (f.eks. ²³⁹Pu). Dette er en av grunnene til interessen for formering av thorium i termiske reaktorer.

Brenselet i lettvannsreaktorer er pellets i kapslingsrør av en zirkonium-legering. Disse settes inn i et 4 m langt brenselsskype på 20 × 20 cm. (se figurene 2, 3, 4).

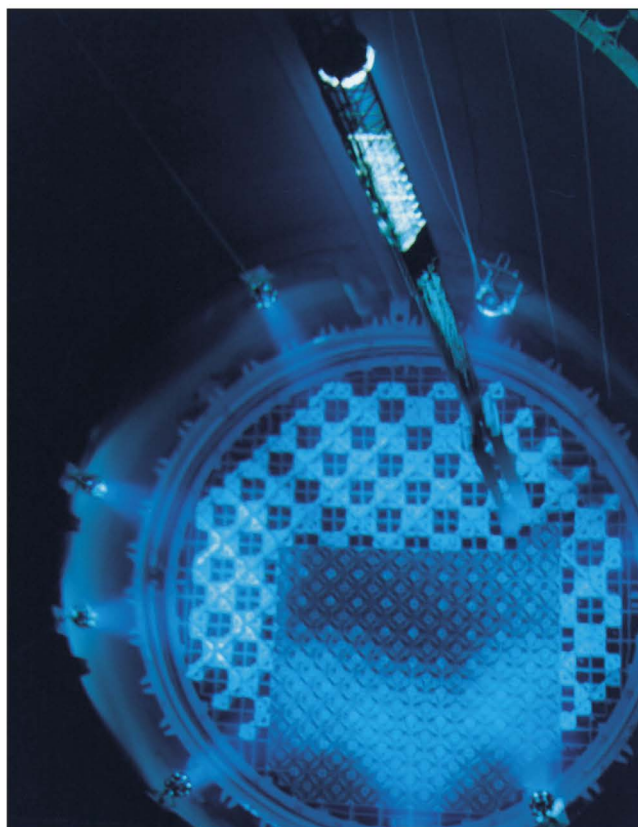


Figur 2. Brenselspellet til venstre, sammenliknet med størrelsen av en mynt.

Vannet blir pumpet i en lukket krets gjennom reaktoren for å transportere varmen til en varmeveksler eller en dampturbin for energiproduksjon. Brenselet står i reaktoren i 3 til 5 år. Da tas det ut og plasseres i et vannbasseng i 30 til 40 år hvor restvarme pga. radioaktivt henfall fjernes kontinuerlig, og den mest intense strålingen avtar gradvis. Det forskes mye på sikker lagring av brukt



Figur 3. Brenselknippe bestående av 17×17 pinner.



Figur 4. Reaktorkjerne sett ovenfra med et brenselknippe.

brensel. Sverige og Finland skal ha sluttdeponi i berggrunn, se <http://sv.wikipedia.org/wiki/KBS-3/>

Det brukte brenselet kan også sees på som en ressurs siden det inneholder store mengder av ^{238}U og kan benyttes i framtidens formeringsteknologi. Derfor er flere land avventende med å bestemme seg for endelig sluttdeponi av brukt brensel.

Reaktortyper og brensel

Med noen få unntak er alle kommersielle reaktorer som er i drift eller under bygging, basert på lettvann som kjølemiddel og moderator.⁽⁶⁾ Dette er viktig for å skaffe oss et realistisk bilde av muligheten for utnyttelse av thorium i overskuelig framtid. Dersom nye reaktortyper, såkalte Generasjon IV⁽⁷⁾ og ADS (Akselerator Drevet System)-reaktorkonsepter skal utvikles for utnyttelse av thorium, vil det ta lang tid før det etableres et marked for thoriumbrensel. Det er i dette perspektivet interessen for thorium i lettvannsreaktorer må sees.

Vi skal ikke gå i detalj om forskjellige konstruksjoner som er foreslått for Generasjon IV-reaktorer, men konstaterer at det foreløpig ikke ser ut til at verden satser mye på å få disse i kommersiell drift med det første. Det skyldes nok at store kost-

nader er forbundet med utvikling og igangsetting av nye reaktortyper. Initiativet med Generasjon IV-reaktorer (initiert i år 2000) er motivert av tre forhold: 1) sikkerhetsforbedringer, 2) avfallsreduksjon og 3) økt ressurstilgang på brensel. De er utformet med en høy grad av innebygget sikkerhet med bl.a. bruk av passive sikkerhetsfunksjoner for å redusere konsekvenser ved ulykker. Videre vil de i stor grad forbrenne avfall fra dagens reaktorer ved å konvertere isotoper som i dag ansees som problemavfall, til fisjonerbart brensel og således destruere store mengder langlivet avfall. Den tredje motivasjonen er muligheten for tilgang til nesten uuttømmelige energiressurser ved omdanning (formering) av ^{238}U til fisjonerbart plutonium (^{239}Pu , se ovenfor). Ved å utnytte ^{238}U i Generasjon IV formeringsreaktorer vil en ha et ressurstilfang som er mer enn 100 ganger større enn ved kun å benytte ^{235}U . Anslag viser at ^{235}U reservene vil vare i minst 100 år.

Reaktorer som kan bruke thorium

- *Saltsmeltereaktorer* er en av Generasjon IV reaktortypene som nå blir studert nærmere og utviklet til prototyper. Kjølemiddelet er et salt som er flytende ved driftstemperatur (over $600\text{ }^{\circ}\text{C}$). Saltsmeltereaktorer har vært i drift som forskningsreaktorer, men de byr framdeles på betydelige teknologiske utfordringer.
- *Candureaktorer* ble utviklet i Canada og er i drift der og i noen andre land. Reaktortypen tar spesielt godt vare på nøytronene siden den benytter tungtvann som moderator og kan bruke thorium på en forholdsvis uproblematisk måte. India utvikler en formeringsreaktor med utgangspunkt i denne teknologien.
- SCWR (*SuperCritical Water Reactor*) er en annen av Generasjon IV reaktortypene. Den opererer med vann med temperatur over $374\text{ }^{\circ}\text{C}$ og trykk på over $220 \cdot 10^5\text{ N/m}^2$.
- ADS regnes som enda et alternativ som et parallelt løp til Generasjon IV, som kan benyttes til destruering av langlivede isotopavfall samt for utnyttelse av thorium.⁽¹⁾ Ideen med en akseleratordreven reaktor ble lansert av Carlo Rubbia. I en slik reaktor blir det ikke frigjort nok nøytroner gjennom spaltning til å opprettholde en kjedereaksjon. Underskuddet blir

dekket ved å skyte protoner på tunge atomer som da frigir 30 til 50 nøytroner. Det byr på mange teknologiske utfordringer, ikke minst å utvikle en kraftig nok og driftssikker akselerator for å gi protonene den nødvendige høye energien. Det mest konkrete initiativet er MYRRAH-prosjektet i Mol (Belgia) som startet i 2010 med støtte fra EU. Men etter forprosjektet har det foreløpig ikke vært mulig å skaffe tilstrekkelige midler til å bygge denne ADS-prototypen.

Fordeler med thorium

Dagens reaktorteknologi utnytter bare 1 % av uranet. Når uran blir bestrålt i en reaktor, dannes det også plutonium-isotoper og andre tunge stoffer fra ^{238}U . Disse nye stoffene kan være radioaktive i lang tid og utvikle mye varme. De må derfor spesielt tas hensyn til når det brukte brenselet skal lagres.

Vi kan sammenfatte fordelene som thorium byr på: De globale thoriumressursene er ca. 4 ganger større enn uranressursene, og Norge har en betydelig forekomst i Fensfeltet,⁽⁴⁾ formeringsproduktet ^{233}U kan spaltes effektivt, det dannes ikke plutonium, formering utnytter thorium fullstendig, og det er mye kortere lagringstid for thoriumbrensel enn for uranbrensel før det blir "ufarlig" (ca. 300 år for Th-brensel mot flere hundretusen år for U-brensel uten reprosessering). Noen andre fordelaktige nukleære, fysiske og kjemiske egenskaper kommer i tillegg og bidrar til sikker bruk og lagring.

Kjernekraft reiser ofte spørsmål om misbruk. Under bestråling av ^{233}U oppstår det også ^{232}U som ikke kan separeres kjemisk fra ^{233}U . Det er ganske radioaktivt og danner andre svært radioaktive stoffer. Strålingen fra disse gjør blandingen av ^{232}U og ^{233}U vanskelig å bruke, men det er ikke umulig å benytte den til atomvåpen. Når det er sagt, må man også si at det fins adskillig lettere måter å lage atomvåpen på for dem som vil, for eksempel ved anrikning av uran.

Testing av thorium for dagens lettvannsreaktorer

Trykk- og kokevannsreaktorer er de mest utbredte typer reaktorer og kan bruke thorium på flere måter. De kan effektivt brenne plutonium i thoriumbrensel uten å lage nytt plutonium slik som det uunngåelig skjer i uranbrensel. De kan bruke

thorium som effektiv nøytronabsorbator istedenfor andre nøytronabsorberende stoffer som gir skadelig radioaktivt avfall etter at de har vært brukt, mens det blir nyttig uran ut av thorium. Disse anvendelsene fyller et behov og er en god måte å introdusere thorium på i dagens reaktorer. Før slikt thoriumbrensel kan settes inn, må det prøvebestråles for å skaffe data til sikkerhetsanalyser. Det kan skje i Haldenreaktoren der man har lang erfaring med utprøving av brenselstyper (se nedenfor).

Å etablere thoriumbrensel krever ny infrastruktur til produksjon, og på lengre sikt også gjenvinningsanlegg for å ekstrahere ^{233}U fra brukt brensel til videre bruk i nytt brensel. Det er neppe mulig på kort sikt i direkte konkurranse med det vel etablerte og utprøvde uranbrenselet. Hvis man derimot introduserer thorium gradvis med anvendelser som supplerer uranbrensel, vil det kunne vokse og bli utvidet til en hel brenselssyklus med praktisk talt uuttømmelige ressurser.

Brenselstester i Haldenreaktoren for dagens lettvannsreaktorer

Haldenreaktoren (HBWR) er IFEs hovedverktøy for brensel- og materialundersøkelser. Noen tester er spesielle for HBWR. Andre trenger betingelser som ikke bare er representative for kraftreaktorer, men som også simulerer mer krevende eller uønskede hendelser. Til det står elleve eksperimentalkretser til rådighet.

Bruk av brensel og materialer i kraftreaktorer er underlagt sikkerhetskriterier, og hovedformålet for den eksperimentelle virksomheten i Haldenreaktoren er derfor å framskaffe nøkkelinformasjon til bruk i sikkerhetsvurderinger. Generelt består arbeidet av konstruksjon, produksjon og gjennomføring av eksperimenter ved hjelp av sofistikerte "testtrigger" som plasseres i kjernen til HBWR, se figur 5. Måleresultater fra robuste og egenutviklede sensorer overføres *on-line* fra reaktorkjernen til datainnsamlingsystemet, så til databasen og derfra til medlemsorganisasjoner, gjesteforskere og IFE-ansatte for videre bearbeiding og analyse.

Typiske problemstillinger som undersøkes i samband med materialer, er tiden det tar å danne sprekker, sprekkevækst og siging. Dette er avhengig av belastning (spenning), kjemiske betingelser i kjølevannet som prøvestykkene er omgitt av, og intensiteten av strålingen materialet blir utsatt for. Disse parametrene kan varieres eksperimentelt og gå lenger enn det som er vanlig i kraftreaktorer.

For brenselstesting er temperatur i brenselet, trykkoppbygging i brenselstaven, dimensjonsstabilitet og den mekaniske belastningen som brenselet påfører kapslingen, noen av de mest relevante egenskapene man ønsker å undersøke. Kapslingsmaterialer blir vurdert med henblikk på korrosjons- og styrkeegenskaper.

Noen eksperimenter er kortvarige, men de fleste brensel- og materialundersøkelser strekker seg over flere år og stiller strenge krav til instrumentering for kontinuerlige målinger. IFE har utviklet og kvalifisert sensorer som fungerer pålitelig over lang tid under høyt trykk, høy temperatur og intens stråling. På denne måten får man detaljert informasjon om hvordan egenskapene til brensel og materialer endres ved bestråling og under forskjellige driftsstander. Resultatene brukes i hovedsak til å lage og validere modeller og beregningsverktøy for sikkerhetsanalyse og lisensiering.

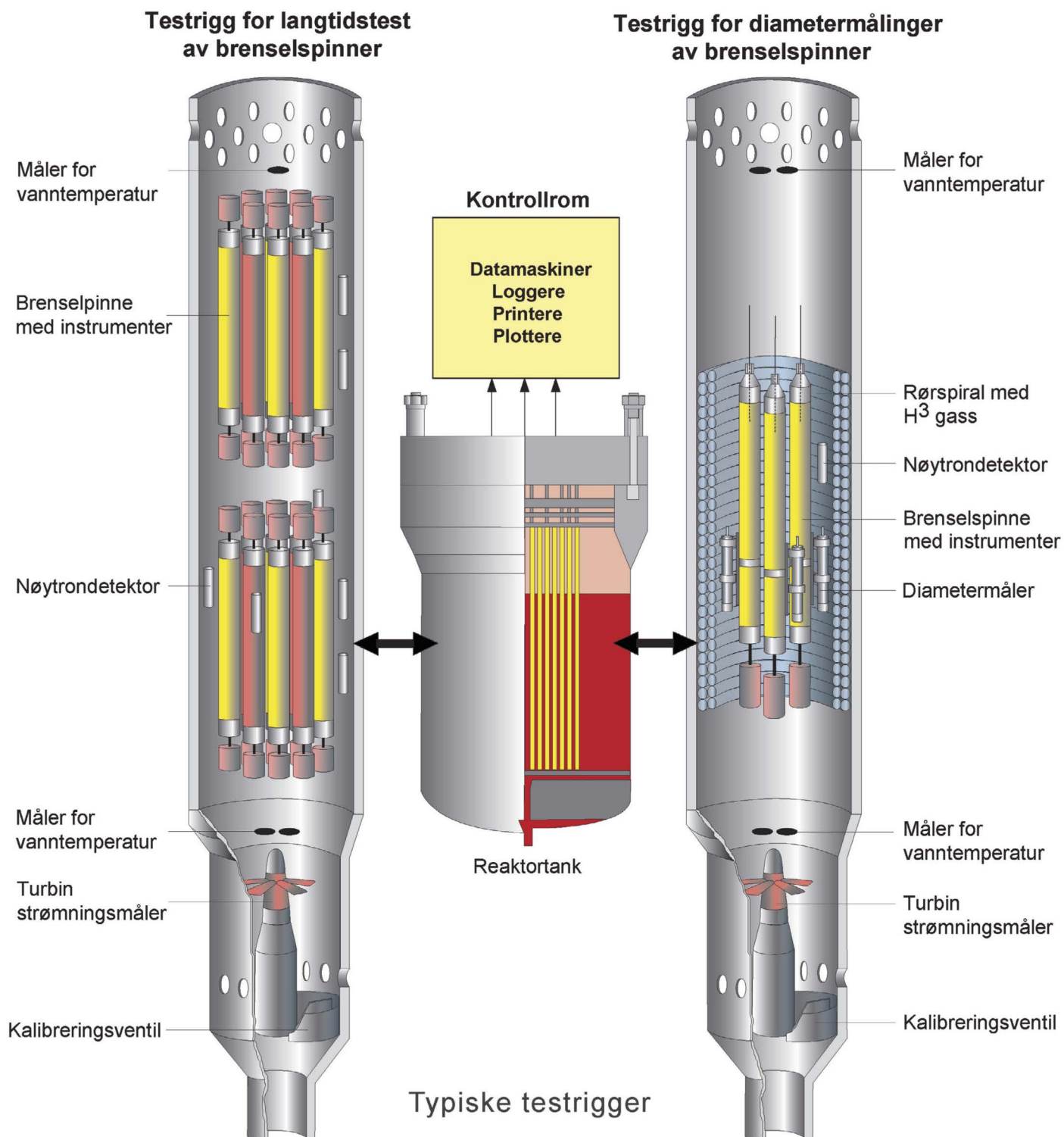
Tester i Haldenreaktoren for kvalifisering av thorium som brensel

I 2013 startet et prosjekt for *Thor Energy* for testing av thorium i Haldenreaktoren med formål å kvalifisere thorium som brensel i lettvannsreaktorer. For slikt brensel gjelder i utgangspunktet de samme sikkerhetskriteriene som for uranbrensel. Siden IFE har lang erfaring med å framskaffe sikkerhetsdata for uranbrensel, er det helt naturlig å anvende de samme testprinsippene og analysene for thorium. Prosjektet krever bestråling over lang tid for å skaffe tilstrekkelig informasjon om brenselets oppførsel, og arbeidet vil strekke seg over minst fem år.

Haldenreaktoren gir mulighet for kontinuerlig datainnsamling mens brenselet opererer under reelle driftsbetingelser. Lovende resultater finnes allerede i form av temperaturmålinger som kan benyttes i datamodeller og videre undersøkelser. Prosjektet vil produsere data som vil være et viktig grunnlag for beslutning om framtidens bruk av thorium i kjernekraftindustrien.

Muligheter for lettvannsreaktorer basert på nye konstruksjoner

Det er samlet mye erfaring og kunnskap etter mer enn 40 års kommersiell bruk av lettvannsreaktortechnologi. Kontinuerlig forbedring av brensel- og materialteknologi, samt en rekke sikkerhetsoppraderinger, har medført at dette fortsatt er den



Figur 5. En testrigg i kjernen blir utformet etter formålet til eksperimentet. Eksemplet til venstre skisserer en rigg for langtidsbe-stråling av mange brenselspinner (to knipper) med instrumentering. Til høyre en rigg for å skanne pinnediameteren med en bevegelig måler.

dominerende type reaktorer som bygges i det internasjonale markedet i dag. Derfor er det naturlig å se på hvordan lettvannsteknologien kan utvikles videre for å ta i bruk mer miljøvennlig brensel som thorium, i framtiden.

Ved Berkeley⁽⁵⁾ har de nylig foreslått en ny thoriumbasert reaktorkjerne (*Self-Sustained Thorium Boiling Water Reactors*) som er selvforsynt med brensel (produserer tilstrekkelig fisjonerbart materiale) for dagens kokevanns-type reaktorer. Fordelen er at dagens velprøvde kokevanns-reaktortechnologi kan benyttes. Det er bare reaktorkjernen og brenselkonfigurasjonen som må endres.

Hovedprinsippet er at kjernen seksjonerer i ulike soner hvor det i midten plasseres en blanding av fisjonerbart materiale (^{235}U , ^{239}Pu eller ^{233}U) sammen med ^{232}Th . Den indre kjernen sørger for kjedereaksjonen og er "såkorn" (*seed*) for formering av ^{232}Th som plasseres som mantel utenfor. Det er lavere tetthet i moderatoren (dampen) for å få de rette betingelsene for omdanning av ^{232}Th til ^{233}U .

Konseptet må utvikles videre før det kan anvendes kommersielt, bl.a. må en optimalisere kjernens sammensetning og blanding av isotoper slik at alle sikkerhetsparametere er akseptable.

Oppsummering og konklusjon

Hovedpunktene i artikkelen er:

- Kjernekraft er fortsatt viktig for energiproduksjon på verdensbasis.
- Thorium representerer en uutnyttet ressurs som kan bidra til mer miljøvennlig brensel med bl.a. mindre avfall.
- Dagens lettvannsreaktorer kan til en viss grad nyttiggjøre thorium, men brenselet må kvalifiseres og testes. Forsøk pågår i Haldenreaktoren, som er et senter for brenseltesting i verden.
- Nye typer lettvannsreaktorer kan i framtiden gi full nytte av thorium ved at de produserer sitt eget fisjonerbare brensel.
- Generasjon IV-reaktorer er fortsatt langt unna en større utbredelse. Derfor bør en på kort sikt ha som mål å bruke thorium i lettvannsreaktorer.

Referanser

1. E. Lillestøl: *Thoriumkraftverk i Norge?* FFV 69, Nr. 1, 21-27 (2007)
2. J. Samseth: *Thorium – det lovande brenselet i 50 år.* FFV 70, Nr. 2, 45-49 (2008)
3. Thoriumutvalget: *Thorium som energikilde – muligheter for Norge.* ISBN 978-82-7017-693-9. Februar (2008)
4. Ø. Berg, et al.: *Thorium – En framtidsressurs i Oslofjordregionen? – Thorium Think Tank rapport til Oslofjordfondet.* Rapport nr 2–2012. Regiongeologen, Buskerud Telemark Vestfold fylkeskommuner. (2012)
5. F. Ganda, F.J. Arias, J. Vujic and E. Greenspan: *Self-Sustaining Thorium Boiling Water Reactors.* Sustainability, 4, 2472-2497 (2012)
6. World Nuclear Association:
<http://www.world-nuclear.org/Nuclear-Basics/>
7. Generation IV International Forum (GIF):
<https://www.gen-4.org/gif/>

∞

*Husk å svare
på leser-
undersøkelsen!*

Kelvins hekkbølger

Eirik Grude Flekkøy *

I kjølvannet til båter skapes det samme bølgemønsteret nesten uavhengig av båtens størrelse. Her vises det hvorfor det er slik.

Hiver man en stein i vannet vil det bre seg et sirkulært bølgetog rundt den. Men om man prøver å følge en enkelt bølgetopp med øyene, vil den alltid forsvinne ut av syne. Det henger sammen med at bølgene har forskjellig gruppe- og fasehastighet. Siden gruppehastigheten, som er farten til bølgetoget sett under ett, bare er halvparten av den enkelte bølgetopps forplantningshastighet, vil hver enkelt bølgetopp synes å forsvinne i forkant av gruppen.

Den samme effekten skaper de karakteristiske bølgene bak en båt, de såkalte hekkbølgene. Forskjellen er bare at det er båten som skaper bølgene i stedet for steinen, og at båten er en bevegelig bølgekilde som dessuten virker kontinuerlig. Generelt beveger båten seg fortere enn de bølgene den skaper, slik at bølgene ikke løper i forveien foran båten. I stedet skaper de en typisk V-formet formasjon som er stasjonær i forhold til båten. Det trenger forresten ikke å være en båt, det kan godt være en and, som i figur 1. Og det som vanligvis kalles hekkbølger kan også dannes ved baugen som såkalt baugsjø. Når båtens hastighet nærmer seg hastigheten til en bølge med samme bølgelengde som båtens lengde, vil disse to bølgene være vanskelige å skille ad. Likeledes vil det synes å være en enkelt kilde til bølger bak en båt som planer.

Det spesielle med slike såkalte tyngdebølger bak en farkost, er at vinkelen i den typiske V-formen alltid er den samme – ja, i hvert fall under ganske generelle betingelser. Dette fenomenet ble studert allerede av Lord Kelvin, som var en ivrig seiler. Han forklarte den konstante vinkelen som et resultat av bølgene har dobbelt så stor fasehastighet, c , som gruppehastighet, v_g , med andre ord at $c = 2v_g$. Så lenge bølgelengden er større enn omtrent én cm, som er grensen der overflatespenningen begynner



Figur 1. Kelvins hekkbølger bak fartøy av vidt forskjellige størrelser. Vinkelen mellom bølgefrontene er den samme i alle tilfellene.

* Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

å dominere over tyngdekraften og skape kapillærbølger i stedet for tyngdebølger, og som er mindre enn vanddypet, er fasehastigheten gitt som

$$c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \quad (1)$$

der g er tyngdens aksellerasjon og λ er bølgelengden.

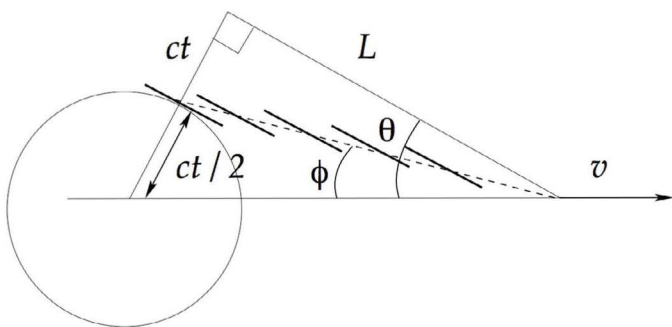
Båten fungerer som en bevegelig kilde for sirkulære bølgetog, som adderes ettersom båten forflytter seg. Den geometriske effekten av dette er skissert i figur 2 som viser bølgetoget som en båt skaper i løpet av en viss tid, t . Bølgetoget kan i løpet av denne tiden ikke forplante seg lenger enn $v_g t = ct/2$, men figuren viser den tenkte bølgefronten med vinkel Θ , som ville ha avgrenset bølgene dersom de hadde beveget seg kollektivt med hastigheten c . Retningen på den fronten definerer orienteringen på bølgekammene.

Faktoren på 2 mellom gruppe- og fasehastighet definerer et enkelt geometrisk problem som bestemmer de to vinklene Θ og ϕ . Om vi tenker oss en fast lengde, L , som vist i figur 2, vil verdien av c bestemme vinklene etter følgende ligninger

$$\begin{aligned} \tan \Theta &= 2a \\ \tan(\Theta - \phi) &= a \end{aligned} \quad (2)$$

der $a = ct/(2L)$, så

$$\phi = \tan^{-1}(2a) - \tan^{-1}(a). \quad (3)$$



Figur 2. Illustrasjon av bølgetoget bak en båt som beveger seg med hastighet v .

Siden båten skaper et helt spektrum av bølgelengder, og forskjellige bølgelengder har ulike hastigheter, vil det finnes en bølgelengde som gir størst ϕ -verdi. (Siden linjene med lengdene L og ct er ortogonale, er det en enkel geometrisk observasjon at en stor ct vil gi små ϕ -verdier.) Størst er ϕ når

$$\frac{d\phi}{d\lambda} = \frac{d\phi}{da} \frac{da}{d\lambda} = 0, \quad (4)$$

noe som gir

$$\frac{d\phi}{da} = \frac{2}{1+4a^2} - \frac{1}{1+a^2} = 0, \quad (5)$$

eller $a = 1/\sqrt{2}$. Dette gir den universelle vinkelen

$$\phi = 19,5^\circ \quad (6)$$

og $\Theta = 54,7^\circ$. Legg merke til at denne vinkelen er uavhengig av båtens hastighet og størrelse.

Siden $c = \sin \Theta v = \sqrt{g\lambda/(2\pi)}$ kan vi regne ut bølgelengdene i hekkbølgen som

$$\lambda_{max} = \frac{2\pi \sin^2 \Theta}{g} v^2 \approx 0,42 v^2 \quad (7)$$

om vi måler hastigheten i m/s . Det betyr at en ferge som går med 10 knop, eller ca. 5 m/s , vil ha en dominerende bølgelengde på ca. 10 m, noe som stemmer godt med observasjoner.

Men en daycruiser som går med en fart på 30 knop, vil ha en hekkbølge med 90 m mellom bølgetoppene, og en offshore racer, med en hastighet på 120 knop, vil ha $\lambda_{max} \approx 1$ km.

For begge disse to raske båtene er kelvinbølgen vanskelig å observere, om den eksisterer overhodet. Det kommer blant annet av at når λ_{max} blir vesentlig lengre enn båten blir den tilsvarende bølgehøyden fort meget liten, siden de fleste båter i liten grad eksiterer bølger som er vesentlig større enn båtlengthen.

En annen grunn kan være at λ_{max} blir vesentlig større enn vanddypet, og da er ikke lenger tyngdebølgene dispersive. For slike såkalte grunnvannsbølger er $c = v_g$, og hele det geometriske argumentet som vi har brukt faller sammen. I stedet for det karakteristiske bølgetoget, som er skissert i figur 2, får man da en såkalt machfront som strekker seg ut til vinkelen Θ , og der bølgekammene er parallele med fronten. Det kan altså være mulig å se på hekkbølgen om man er i ferd med å gå på grunn.

∞

Fysikknytt

CERN annonserer sikre funn av pentakvarkar

Den 14. juli sende CERN ut ei pressemelding der det står at CERNs LHCb-eksperiment har funne to (ustabile) partiklar med spinn som er halvtal og ikkje kan katagoriserast ved å ha eit innhald av tre kvarkar. Dette er nå trykt i "Physical Review Letters" og omtala i mange massemedium, til og med i Noreg. For dei som ikkje er så inne i elementærpartikkel-fysikk kjem det her ei samling fakta som det hjelper å ha kjennskap til for å forstå at oppdaginga av pentakvarkar har fått så mykje omtale.

Partiklane som materien er bygd opp av

All kjend materie er oppbygd av atom. Atom er samansette av kjernar med positiv elektrisk ladning og elektron som har negativ elektrisk ladning.

Atomkjernane er ikkje udelelege. Dei er samansette av proton og nøytron. Desse omtalar ein som kjernepartiklar. Dei er ikkje elementære, men samansette av kvarkar, som det er seks slag av. Tre av desse, u, c og t (kalla "up", "charm" og "top") har positiv elektrisk ladning, $+2/3 e$, der e er den elektriske ladninga på protonet (ofte kalla elementærladninga). Dei tre andre kvarkane, d, s og b (kalla "down", "strange" og "bottom") har negativ elektrisk ladning, $-1/3 e$.

Alle kvarkar har ein tilordna antikvark som vi markerer med ein strek. Antikvarken til ein c-kvark er altså $\bar{c}$. Antikvarken har motsett elektrisk ladning av kvarken.

Protonet er samansett av u, u og d-kvarkar. Nøytronet er sett saman av u, d og d.

Kvarkane har spinn $1/2$ slik som elektronet. Det som gjer at kvarkane er bundne saman til proton og nøytron, er det som ein kallar det farge-elektriske (*colorelectric*) feltet. (Det vi kallar "farge" her har ingenting med farge på husveggar å gjera! Det er berre eit namn som er brukt som faguttrykk.)

Til vanleg kallar ein fargefeltet for *gluonfeltet*, og det kan representere ei sterk tiltrekkande kraft med stutt rekkevidde som verkar mellom kvarkar. Det fargeelektriske feltet kjem fordi kvarkar har "fargeladning". Fargeladningar adderer ikkje så enkelt

som elektriske ladningar. Dei er ikkje-abelske. (Abel kjem her frå namnet til matematikkgeniet som vart fødd på Finnøy i Rogaland i 1802). Det verkar kanskje rart, men slik er det, at fargeladninga til eit system av to kvarkar kan bli den same som fargeladninga til ein antikvark!

Ein kvark og ein antikvark har motsett fargeladning. Set vi dei saman kan vi få ein "fargelaus" partikkel. (Faguttrykket er "fargesinglett"). Dette er analogt med at hydrogenatomet som er samansett av to partiklar med motsett ladning, er elektrisk nøytralt.

Den som har sans for filosofi må vel seia at kvarkar er rare objekt. Vi har her vore freidige og skrive at protonet er samansett av to u-kvarkar og ein d-kvark. Men ingen har fått ut ein einsleg kvark! Protonet let seg ikkje dele opp i det som er inni.

Dette er noko nytt når det gjeld å bruke ordet "samansett". Det er berre fargelaus partiklar som ein ser som frie partiklar. Smådelane som er inni er "fengsla".

Nok av partiklar er det å ta av: Det er hundrevis av partiklar like "elementære" som protonet og nøytronet, og i tillegg er det *meson* som er samansette av ein kvark og ein antikvark. Dette er fordi ulike eksitasjonar med same kvarkinnhald brukar oftast bli kalla "ulike" partiklar. Mengder av desse er observerte og katalogiserte.

Sidan kvarkar (og antikvarkar) har spinn $S = 1/2$, vil meson som inneheld to slike byggesteinar ha spinn som er naturlege tal. $2S$ vil vera heiltal. Er det eit oddetal kvarkar, vil $2S$ vera oddetal. Slike partikkeltilstandar kallar ein *baryon*.

Alle velkjende meson er oppbygde av ein kvark og ein antikvark, og alle velkjende baryon er bygde opp av av tre kvarkar. Det er det minimale talet som ein må ha for å få til fargelaus tilstandar. Men alt då kvarkmodellen vart oppfunnen for over 60 år sidan, såg Gell-Mann for seg at ein kunne ha partiklar med fleire kvarkar enn to eller tre. Ein kunne tenkje seg at ekstra kvark-antikvarkpar vart bundne til det minimale talet.

Eit ekstra par i eit tokvark-meson blir ein "tetrakvark", eit ekstra par i eit trekvark-baryon blir ein "pentakvark". Partiklar som har ekstra kvark-antikvarkpar blir omtala som "multikvarktilstandar". I dette namnet er det innforstått at kvarkane (og antikvarkane) er så nær einannan at det er gluonfeltet som bitt dei saman, nett som det bitt dei tre kvarkane u, u og d i protonet saman.

Ein atomkjerne blir såleis ikkje rekna som ein multikvarktilstand, og langt mindre som eit

molekyl. I ein atomkjerne er det dei sterke kjernekreftene som bitt saman fargelause proton og nøytron.

Det som ofte blir kalla "den sterke kjernekrafta" verkar mellom proton og nøytron sjølv om dei ikkje har netto fargeladning. Indirekte kjem denne krafta nok frå gluonfeltet, litt analogt til molekylkreftene som verkar mellom elektrisk nøytrale atom. Men i kjernefysikk blir ho framstilt som ho kjem frå utbyte av meson.

Det som bitt saman ein atomkjerne med elektrona rundt til eit atom er den elektriske krafta som ein kan forstå som effekten av utbyte av lyspartiklar, foton.

Partiklar som er multikvarkar, er alle ustabile. Det vil seia at dei ikkje har eintydig energi. Dette er ein konsekvens av Heisenbergs usikkerheitsrelasjon i energi-tid: $\Delta E \cdot \Delta t \geq h$.

Det er rimeleg å sjå på denne relasjonen i kvilesystemet til den ustabile partikkelen der $E = mc^2$ slik at $\Delta m \geq h/(c^2 \Delta t)$. Ein observasjon av massen vil da føre til ei fordeling som er ei klokkekurve slik som ein ser i figur 1 like over $m(J/\psi p)$ -aksen. Desto stuttare levetid, desto breiare blir klokkekurva.

Multikvarkar er ei ny form for materie. Dei er som ein mellomstasjon når ein går frå ei samling av velkjende partiklar over til kvark-gluonplasmaet. Dette er ein type partiklar som ein har sett etter i 50 år.

Litt historikk

Det har hendt før at det har vore hevda med stor kraft at multikvarktilstandar har vorte oppdaga. Ein periode frå 1974 starta med "oppdaginga" av ein resonanstilstand i proton-antiprotonreaksjonar med ein masse på 1936 MeV ved Brookhaven. G. Chew gav denne namnet "baryonium". Dette var ein tilstand som var nokså stabil og som vart oppfatta, ikkje som ein partikkel med tre kvarkar pluss tre antikvarkar, men som to kvarkar (dikvarkar) pluss to antikvarkar slik at det vart "diquonium", med dagens språkbruk kalla "tetrakvark".

Intens eksperimentell aktivitet førde til oppdaging av mange andre tilsynelatande langleva diquonium-tilstandar og også "mesobaryonium-tilstandar". Dei siste er det som i dag blir kalla "pentakvarkar". Ein del av desse tilstandane var ikkje serleg statistisk signifikante, medan andre vart presenterte som 5 og 6 σ . Det vil seia at det var ein sjanse langt mindre enn ein milliondel for at det

var manifestastasjonar av ein statistisk fluktuasjon. Men det var dei, og borte vart dei, så interessa for multikvarkar minka kraftig etter 1980.

Så i 2003 såg det ut som om multikvarkane reiste seg or oska. Dimitri Diakonov kom til Oslo og fortalde om ein fantastisk partikkeltilstand som han, V. Petrov og M. Polyakov hadde forutsagt i chiral-solitonmodellen. I kvarkmodellen var dette som ein pentakvark med masse 1540 MeV (kalla Θ^+), og tilstanden vart observert i Japan. (D. Diakonov er sonen til historikaren Igor Diakonov som hadde artium frå Oslo, og som kaptein i den raude arme var kontaktmannen mellom norske og sovjetiske styrkar i Finnmark i 1944.)

Denne sensasjonelle "oppdaginga" av ein partikkel med fem kvarkar, uudds, vart så "verifisert" i eit dusin eksperiment verda over. Fleire liknande tilstandar kom til. Frå eit stort senter som DESY nær Hamburg, vart det rapportert oppdaging av ein pentakvark som inneheld ein charmkvark. Ein annan kollaborasjon ved DESY derimot, fann han ikkje. Ikkje alle eksperiment fann Θ^+ heller.

Dei positive resultata for funnet genererte eit tusental teoretiske artiklar før eit høgstatistikk-eksperiment ved Jefferson lab. i Virginia, ikkje kunne finne han. Etter dette gav alle opp trua på at pentakvarkar var funne, og at Θ^+ eksisterte. Ille var det at det vart sett på som bortkasta tid og pengar å sjå etter dei.

Oppdaginga av pentakvarkane ved LHC

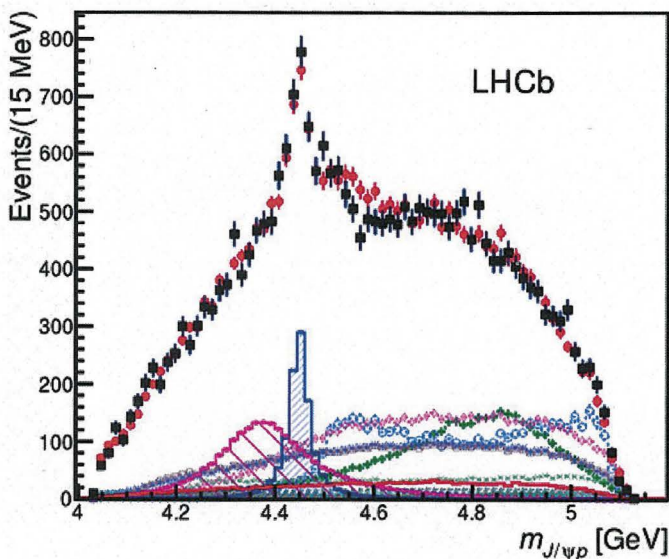
LHCb (Large Hadron Collider)-samarbeidet ved CERN fortel at det var ein del slump som låg bak oppdaginga deira. Det var som det blir sagt: Den som leitar han finn, men ikkje alltid det han leitar etter. Ved Syracuse University i New York, var dei i ferd med å gå gjennom data som dei hadde frå fyrste perioden LHC var i gang (2010–2013). Dei studerte desintegrasjonar av $\bar{B}^0$ -meson til J/ψ og to andre partiklar, K^+ og K^- . Partikkelen J/ψ er samansett av c og $\bar{c}$, K^+ er u $\bar{s}$, K^- er s $\bar{u}$. $\bar{B}^0$ -mesonet er nesten seks gonger så tungt som protonet og er samansett av ein b- og ein $\bar{d}$ -kvark.

Så fann ein student, Bilas Kanti Pal frå Bangladesh, som skulle ta doktorgraden sin på dette, at det var eit kraftig bakgrunnsignal i denne reaksjonen. Dette var frå eit baryon Λ_b som inneheld u, d og b-kvarkar og hadde nokså lik masse som $\bar{B}^0$ -mesonet. Partikkelen som heiter Λ_b liknar på eit proton der eine u-kvarken er bytt ut med ein b-kvark slik at Λ_b blir omtrent fem gonger så tung

som protonet. Desintegrasjonen av Λ_b var i tre partiklar, J/ψ , proton og K^- .

Analysen av denne slutttilstanden var standard med 1960-metodologi, og her var det at eventyret starta. Det viste seg at J/ψ og protonet hekk saman som ein (ustabil) partikkel med spinn som er halvtal når dei invariante massane var omtrent 4380 MeV og 4450 MeV. Desse to partiklane måtte då vera baryon!

Figur 1, som er teken frå artikkelen som er nemnt i starten her, viser korleis talet på J/ψ -proton-event fordeler seg som funksjon av den invariante massen til J/ψ -protonparet.



Figur 1. Tal på event som funksjon av (den invariante) massen til J/ψ proton-systemet. Den rosa klokkekurva er bidraget frå den lettaste pentakvarken, den høge blå frå den tyngste.

For å tilpasse den øvre eksperimentelle kurva må ein legge til dei to klokkekurvene nedst på figuren til ei glatt bakgrunnskurve. Ho er teoretisk forstått. Den eine klokkekurva er sentrert omkring 4380 MeV og den andre omkring 4450 MeV. Dette er da massane til dei to pentakvarkane.

Dei to nyoppdaga partiklane er for lette til at dei kan innehalde ein b-kvark. Ser vi på kvarkinnhaldet så må partiklane som er opphavet til klokkekurvene ha ein c og ein $\bar{c}$ -kvark. Desse har til saman heiltalig spinn; og for at det skal bli eit baryon må ein ha tre kvarkar til. Desse siste kvarkane kjem ut som eit proton. Til saman er der altså fem kvarkar.

Ingen av dei over 700 fysikarane i LHCb-kollaborasjonen kunne finne ei anna forklaring på denne figuren enn at det var (minst) to pentakvarkar involvert i desintegrasjonen av Λ_b .

Teoretisk er det nok lett å få ei kvalitativ fork-

laring på det som skjer i modellar som byggjer på noko som ein kan kalle "fargekjemi". Men ein møter alltid problemet at det er så få pentakvarkar som er oppdaga, samanlikna med det dei brukte modellane ville føreseia.

I artikkelen frå LHCb-gruppa verkar dei svært sikre på at nå har dei verkeleg funne to pentakvarkar. Det blir hevda at det er bortimot ingen sjanse for at det kan vera statistiske fluktuasjonar som gjev dei observerte signala frå partiklar. Signifikansen er på 9 og 12 standardavvik (σ). Dette er langt, langt meir signifikant enn oppdaginga av Higgsbosonet som vart publisert då dei hadde 5 σ . Sannsynet for at det er ein fluktuasjon som simulerer ein partikkel med 9 σ er av storleiksorden 10^{-19} ! Men trass i at observasjonen statistisk sett er ekstremt overtydande ville det vera storarta om eit anna eksperiment finn same partiklane.

Referanse

1. R. Aaij et al (LHCb Collaboration): *Observation of pJ/ψ Resonances Consistent with Pentaquark States in $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi K^- p$ Decays.* Phys. Rev. Lett. 115, 072001 (2015)

Hallstein Høgåsen,
Fysisk institutt, UiO

∞

Supraleiing ved temperaturar over 200 K?

Ei forskargruppe ved Max Planck-Institut für Chemie i Mainz, hevdar å ha funne fram til eit materiale som kan oppvise elektrisk supraleiing for temperaturar over 200 K.⁽¹⁾

Fenomenet supraleiing vart oppdaga i 1911 av Heike Kamerlingh Onnes i Leiden, og inneber at elektrisk motstand i materialet blir borte for temperaturar lågare enn ein "kritiske temperatur", T_c . Inntil 1986 var observerte T_c -verdiar i kjente materiale under 22 K. Etter 1986 er nye grupper av materiale blitt framstilte, spesielt dei koparhaldige metalloksida *kupratar*, med T_c -verdiar opp til 133 K under atmosfæretrykk, og heile 164 K ved høgare trykk. Eit uttalt ønske er å finne fram til materiale som kan vere supraleiande heilt opp til, og over, romtemperatur.

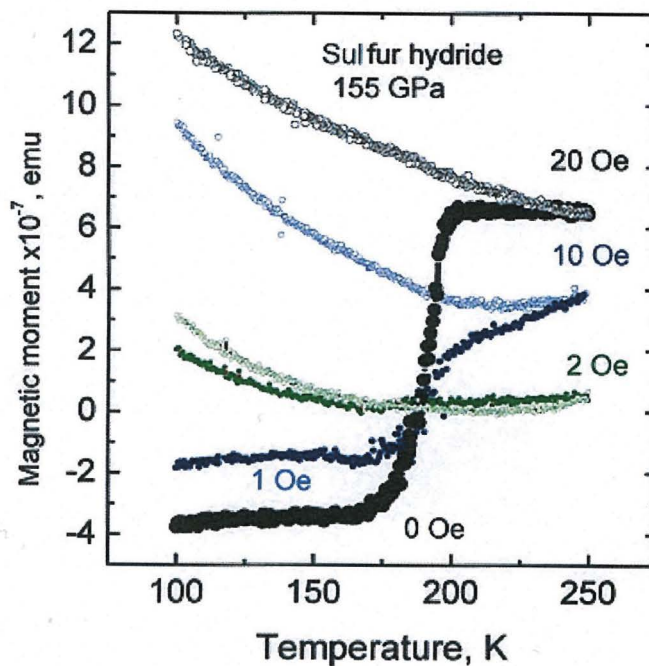
I den mest aksepterte modellen for "konvensjonell" supraleiing, BCS-teorien, spelar atomvibrasjonane i materialet ei stor rolle, spesielt dei med høge frekvensar, samtidig som elektronsystemet må ha ei sterk kopling til desse vibrasjonane. I tillegg krevst høg tettleik av mobile elektron. Mange forskarar har sett på hydrogenhaldige materiale som aktuelle her; faktisk har supraleiing ved romtemperatur vore postulert for fast hydrogen under trykk.^(2,3) Men så langt har ein ikkje eingong sikkert kunna påvise "vanleg" metallisk leiing i fast hydrogen under trykk opp til 360 GPa,⁽⁴⁾ jamvel om det er rett at materiale med lette atom har høge vibrasjonsfrekvensar.

Det vakte derfor stor merksemd då forskargruppa frå Mainz i november i fjor førehandsannonserte dei sensasjonelle funna som no i august 2015 er blitt publiserte i *Nature*.⁽¹⁾ Materialet dei studerte var hydrogensulfid, H_2S , under svært høge trykk, opptil 250 GPa (2,5 millionar atmosfærar). I kjemisk samanheng er H_2S mest kjent som ein giftig og illeluktande gass; han luktar som rotne egg. Ved vanleg trykk blir stoffet flytande ved 213 K (-60°C) og fast ved 191 K (-82°C). Elektrisk leiing i fast H_2S opptrer ved trykk større enn 90 GPa.

Supraleiing blir bestemt frå måling av elektrisk motstand som funksjon av temperatur; slik fastlegg ein T_c , og i tillegg også frå magnetiske målingar. Supraleiing er også karakterisert ved den såkalla Meissner-effekten, at magnetfelt ikkje kan trenge inn i supraleiande materiale. Figur 1 viser magnetiske data frå dette arbeidet. Her er overgangstemperaturen, T_c , gitt ved knekkpunktet i observasjonane utan ytre felt, som skal vere ved 203 K. Påtrykte magnetfelt undertrykker supraleiinga gradvis når feltstyrken aukar frå 0 til 20 Oe (0 til 1600 A/m).

For å oppnå så høge trykk, må prøvene vere små så dei kan plasserast i trykkceller av diamant. Det er då snakk om utstrekning på prøvene på $25\ \mu\text{m}$ ($0,025\ \text{mm}$) med tjukkleik $\sim 1\ \mu\text{m}$.

Forskarane omtaler kort ein muleg mekanisme for den elektriske leiinga, og har grunn til å meine at det skjer ein reaksjon ved høge trykk som frigjer svovel, t.d. $\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{H}_4\text{S} + \text{S}$. I så fall må supraleiinga vere knytt til H_4S . Rettnok blir elementær svovel, S, også supraleiande under trykk, men med T_c som er mindre enn 25 K. Også prøver med tungt hydrogen (deuterium ^2D) i staden for ^1H , vart studerte, og dei viste ein markert reduksjon av T_c , noko som blir tolka som at supraleiinga er av den "konvensjonelle" typen som passar



Figur 1. Registrert magnetisk moment av prøva ved trykk 155 GPa som funksjon av temperatur for varierende påtrykt magnetfelt. Vertikal skala kan betraktast som relativ. Figuren er kopi frå originalartikkelen, som nyttar CGS-einingar, der 1 Oe (CGS) = $10^3/(4\pi)$ A/m (SI). Påtrykt magnetfelt undertrykker supraleiinga for temperaturar under 200 K (Meissner-effekten). Knekk for 0 Oe ved 203 K markerer verdien for T_c .⁽¹⁾

til BCS-modellen, i motsetnad til dei meir "ekso-tiske" kupratane.

Arbeidet har vakt stor interesse fordi dette kan peike ut ein veg mot romtemperatursupraleiarar, kanskje med hydrogensambindingar av andre element som fosfor eller tellur.

Men det kan vel også vere grunn til å vente med å hoppe i taket av begeistring. Det er her snakk om svært krevande eksperiment på nanoprøver under ekstreme trykk ved låge og varierende temperaturar med motstands- og magnetiske målingar, dels også med ytre magnetfelt, så der kan vere rom for feilobservasjonar. Det er uansett ein lang veg frå mikrometerstore prøver til materiale for teknisk bruk, og ingen ventar at akkurat H_2S nokon gong skal finnast i straumkablane våre. Men om resultata kan reproduserast av andre forskargrupper, kan dei bane vegen for noko stort.

Referansar

1. A.P. Drozdov, M.I. Eremit, I.A. Troyan, V. Ksenofotov, S.I. Shylin: *Conventional superconductivity at 203 K at high pressure in the H_2S -system*. *Nature/Letter* 2015 doi:10.1038/nature14964 (17. aug. 2015)

2. N.W. Ashcroft: *Metallic hydrogen – a hightemperature superconductor?* Phys. Rev. Letters, **21**, 1748-1749 (1968)
3. J.M. McMahon et al.: *Properties of hydrogen and helium under extreme conditions.* Rev. Mod. Phys. **84**, 1607-1653 (2012)
4. Emil J. Samuelsen: *Metallisk hydrogen.* Fra Fysikkens Verden **74**, Nr. 3, 109–112 (2012)

Emil J. Samuelsen

∞

Hva skjer

”Nordic Physics Days” 2015

For første gang ble ”Nordic Physics Days” arrangert i Norge, nærmere bestemt av Institutt for fysikk ved Norges Teknisk Naturvitenskapelige Universitet (NTNU). Konferansen ble avholdt 9. – 12. juni og trakk nærmere 170 deltagere fra hele Norden.

Den nordiske arrangementskomiteen, med Asle Sudbø som leder (figur 1), hadde i samarbeid med



Figur 1. Professor Asle Sudbø (Foto: Per Osland)

de ti fagkomiteene invitert solide plenumstalere. Første bidragsyter var nobelprisvinner fra 2012, *Serge Haroche* fra Collège de France, Paris (figur 2). Plenumsforedragene er omtalt i den etterfølgende artikkelen.



Figur 2. Nobelprisvinneren Serge Haroche holdt konferansens første plenusforedrag. (Foto: Åshild Fredriksen)

Parallellsesjoner og postere

I løpet av møtet var det i alt 5 parallellsesjoner med opptil 5 ulike temaer i hver, der de enkelte fagkomiteene sto for programmet. Temaer for sesjonene var fra fagområdene komplekse systemer, kondenserte fasers fysikk, astrofysikk og subatomær fysikk, fysikkundervisning, medisinsk og biofysikk, optikk, atmosfære- og romfysikk.

Spesielle temaer som topologiske isolatorer og spintronics, nye eksperimentelle plattformer og lyskilder, ultrahurtige prosesser, nye resultater innen miljøovervåking ved hjelp av fjernmåling, avanserte overflater og karakteriseringsteknikker, nanostrukturering og nanoskala device-teknologi ble også belyst i parallellsesjonene. Rekruttering av kvinner til fysikkstudier og -forskning ble belyst i en egen paneldebatt med innledere fra Senter for realfagsutdanning, UiO, og fra Universitetet i Helsinki.

Rundt 20 deltakere bidro med postere og 3 firma hadde utstillinger.

Årsmøtet i Norsk Fysisk Selskap

Årsmøtet i NFS ble avholdt 11. juni om ettermiddagen. I forventning om at "*Nordic Physics Days*" blir arrangert igjen om to år ble det besluttet å arrangere de store fysikermøtene i partalls-år, slik at neste store fysikermøte arrangeres allerede i 2016 i Tromsø. Neste valgperiode blir dermed ett år, og møtet vedtok de nødvendige justeringer i vedtektene for å få dette til, dvs. det ble vedtatt følgende tillegg til §5: "Årsmøtet kan fatte vedtak om avvik i valgperioden."

Årsmøtet ba også om at en vurderer å avholde årsmøtene i oddetalls-år i tilknytning til *Nordic Physics Days*, slik at en slipper å arrangere de små fysikermøtene.

Åshild Fredriksen ble gjenvalgt som president, og Michael Kachelriess ble valgt til ny visepresident med virkning fra 2016. Det ble ellers gjenvalg på revisorer og valgkomité.

Pristildelinger er omtalt under "FFV Gratulerer".

Møtet ble etterfulgt av hyggelig og velsmakende festmiddag på Britannia Hotell (figur 3).



Figur 3. I godt selskap under festmiddagen i Palmehaven, Britannia Hotel (Foto: Jørgen Schou)

Takk

Selskapet retter en stor takk til arrangementskomiteens leder, professor Asle Sudbø, fagkomiteene og ikke minst til administrasjonen ved Institutt for fysikk ved NTNU, som sto på gjennom lange dager for å gjøre *Nordic Physics Days* til en vellykket og interessant konferanse (figur 4).



Figur 4. Blomster til dem som sto på for et vellykket møte. Fra venstre Eli Ljøksøy Monsøy, Irene Aspli og Aud Lise Kulseth. Videre Inger Bjørnerud Lian og Magni Rise Stølen (Foto: Per Osland og arkivfoto NTNU)

Takk også til Forskningsrådet, Springer forlag og European Physical Journal for økonomisk støtte.

Åshild Fredriksen

∞

Inntrykk fra Nordiske fysikkdagar i Trondheim 9. – 12. juni 2015

Dette var fjerde gongen Nordiske fysikkdagar blei skipa. Møta er blitt haldne annakvart år sidan 2009, då arrangementet var ved DTU, Lyngby i Danmark, 16. – 18. juni. I 2011 var møtet i Helsinki, 29. – 31. mars, og i 2013 var det i Lund, 12. – 14. juni. Nasjonale fysikarmøte for vertslandet har som regel vore inkluderte i dei nordiske møta. Som ein ser, strekte møtet i Trondheim seg over fire dagar, ein dag lenger enn tidlegare møte. Men tidsplanen for Trondheims møtet var så slakk at ein lett kunne ha spart inn den siste halve dagen møtet varte.

Møtet hadde 6 plenumsesjonar med inviterte foredrag og 5 sett av parallellsesjonar med påmeldte foredrag, pluss 2 sesjonar med plakatpresentasjonar. Årsmøte i Norsk Fysisk Selskap var også lagt inn.

Deltakartalet

Det var i alt 167 namn på deltakarlista, inkludert arrangørar og inviterte foredragshaldarar, 11 frå Danmark, 9 frå Finland, 1 frå Island, 26 frå Sverige, 108 norske og 12 andre.

Dette var ein god del mindre enn det var planlagt for, og det gjekk rykte om at annonseringa av møtet hadde vore noko mangelfull, både lokalt her i landet og i grannelanda. Blant dei norske dominerte sjølvsaugt NTNU, med 44 deltakarar, over dei 30 frå UiO og 18 frå UiB. Dei mindre universiteta var tynt representerte: ein deltakar frå UiT, to frå NMBU, ingen frå UiS, UiA og UiN. Det var registrert fem norske deltakarar frå vidaregåande skolar, mens det var ni svenskar i den kategorien, og ein danske.

Eit gledeleg trekk var at der var mange master- og doktor-gradsstudentar; fleire av dei fekk presentert arbeidet sitt i parallellsesjonane. På den andre sida kunne ein ha venta fleire seniorar blant professorane, kanskje særleg frå vertsinstitusjonen. Det kan verke som at interessa for slike "lokale" fysikk-konferansar er avtakande, og at folk heller vil nytte tida på dei større, internasjonale samankomstane, som jo også har høgsesong i sommarhalvåret.

Plenumsforedraga

Der var seks inviterte, velrenomerte gjestar til å halde plenumsforedrag. Det er bra med kjente namn, men godt renommé som forskar er i seg sjølv ikkje garanti for god pedagogikk.

Nobelprisvinnaren frå 2012, **Serge Haroche**, Collège de France, greidde seg godt pedagogisk, der har fortalte om sitt "Schrödinger-katt"-eksperiment med foton-partiklar i mikrobølgjefrekvensområdet. Foton-"katten" var fanga inn i ein resonator mellom to høgkvalitetsspeglar; og for å finne ut om "katten" var død eller i live sendte dei inn sondar i form av eksiterte rubidiumatom som hadde evne til å "sjå" tilstanden til "katten" utan å forstyrre han. Artig bildebruk, men kvanteeffektar er uansett ikkje lett-fattelege i alle detaljar.

Meir jordnære problem var tema for **Daniel Bonn**, Universiteit van Amsterdam. Han la ut om forskjellar på friksjon mot tørr og våt sand, og korleis det har seg at det lar seg gjere å lage sandslott. Vedlagte figur frå det gamle Egypt frå 1800 år før vår tidsrekning, var ein artig illustrasjon på mulig friksjonspåverknad av ein tung slede trekt over sand, ved å tilføre vatn. Ei inspirert framføring var dette, om eit lettfatteleg emne, men som snau



Sleping av tung slede på sand 1800 år f Krf, med tilførsel av vatn.

av den karakteren at det vil revolusjonere verdsbildet vårt i monaleg grad.

Jesper Bruun frå Københavns Universitet, heldt plenumsforedraget sitt om nordiske nettverk for forskning av fysikkinnlæringsprosessen.

Cees Dekker, Technische Universiteit Delft, gav ein oversikt over biofysiske nanoemne, slik som DNA-sortering gjennom nanoporar i høvelege faststoff som grafen, og omforming av bakteriar gjennom kunstig framstilte nanokanalar.

Helge Kragh, Niels Bohr-instituttet, heldt ein times jubileumsforelesing om Albert Einstein sin generelle relativitetsteori, som jo vart lansert i 1915. Spesielt la han vekt på korleis Einstein lærte seg meir matematikk, som blei eit avgjerande viktig verktøy for formuleringa av feltdlikningane for gravitasjon.

Siste plenumsforedraget var av **Jean-Marc Triscone**, Université de Genève, om to-dimensjonal supraleiing som oppstår ved låge temperaturar, under 0,2 K, på grensa mellom tynne sjikt av dei isolerande perovskittiske materiala SrTiO_3 og LaAlO_3 . Denne effekten blei oppdaga i 2007, og er omtalt som Fysikknytt i "Fra Fysikkens Verden" alt i 2010. Arbeidet blei belønna med faststoffysikkprisen frå den europeiske fysikkunionen EPS i 2014.

Dette foredraget blei gjennomført med stor entusiasme og glød, men hovudbodskapen blei iblant ikkje lett å halde fast ved i den store stoffmengda som det inneheldt. For det er slik at metall-oksider med perovskittstruktur utgjer ei mangfaldig gruppe, med interessante og varierte elektroniske og magnetiske eigenskapar som forelesarar gjerne vil ha med.

Parallsesjonar

Parallelsesjonane omfatta mange ulike emneområde av fysikken, som til vanleg er på fysikkkonferansar. Ikkje mindre enn 90 ulike innslag stod på programmet, i tillegg til eit tjuetals plakattpresentasjonar ("posters"). Der var også utstilling frå eit forlag og frå eit par elektronikkutstyrleverandørar.

Det er ikkje råd her på nokre få linjer å gi noko samlande inntrykk frå innslaga i parallelsesjonane, for det var dei for mangesidige til. Ser ein gjennom listene av foredrag, dukkar det opp mange friske og til dels gåtefulle uttrykk der, slik som "*Quantum Darwinism*", "*X-ray ptychography*", "*Electro-hydrodynamic swimming*" og "*Woodquakes in wood*". Men den som søker etter internordiske prosjekt i listene for dette nordiske fysikkmøtet, vil ikkje finne mykje.

Emil J. Samuelsen

∞

Fysikkolympiaden 2015

Årets internasjonale fysikkolympiade var den 46. i rekken og ble arrangert i Mumbai i India. Det deltok 382 elever fra 83 land.

Arrangementet var godt planlagt og gjennomført. Oppgavene og eksperimentene var godt testet i forkant. Faktisk var eksperimentet blitt testet rundt 400 ganger, og 60 personer hadde gått igjennom de teoretiske oppgavene før det internasjonale styret ble samlet for å diskutere oppgavene og starte oversettelsen til sine respektive språk. Det ble således lite diskusjoner før oppgavene ble godkjent.

Oppgavene i år var enklere enn fjorårets oppgaver. Dette preget også resultatene. Poengsummene for de forskjellige utmerkelsene i år var mye høyere enn fjorårets. Beste deltaker fikk 30 av 30 mulige poeng på teoridelen. Den høyeste poengsummen på eksperimentet var 19,0 av 20 mulige poeng. Begge disse deltakerne var fra Sør-Korea.

Temaene for årets oppgaver var lys og kjernekraft. Den eksperimentelle delen var delt opp i to forskjellige forsøk: Det ene gjenskapte forsøket til Rosalind Franklin som førte til oppdagelsen av DNA-ets dobbelheliksstruktur ved hjelp av diffraksjon. Deltakerne skulle så bestemme de geometriske parameterne til dobbelheliksen ved å bruke laserlys mot en fjær som var formet som en dobbelheliks.



Figur 1. De norske deltakerne (fra venstre): Thomas Frågåt (leder), Mikal Stapnes, Martin Mojahed, Eilif Tandberg Swensen, Peter Dougherty og Torbjørn Mehl (leder). Peter Hoel var ikke til stede da bildet ble tatt.

Det andre eksperimentet gikk ut på å bestemme overflatespenningen og viskositeten til en væske ved hjelp av diffraksjon. Dette ble også gjort med laser og da i et bølgekarr.

Den teoretiske oppgaven var tredelt. Den første delen tok for seg stråling fra sola og nøytrinoer fra sola. Den andre oppgaven tok for seg ekstremalprinsippet. Her ble deltakerne først ledet gjennom ekstremalprinsippet i mekanikken, deretter gjennom ekstremalprinsippet i optikken (Fermats prinsipp om minste tid), før dette ble brukt til å studere bølgenaturen til materie. I den siste oppgaven var tanken at deltakerne skulle designe et kjernekraftverk og gjøre beregninger for dette.

Årets norske deltakere var Mikal Stapnes, St Olav vgs Stavanger; Eilif Tandberg Swensen, Sandvika vgs; Martin Mojahed, Sandnes vgs; Peter Dougherty, Kristiansand katedralskole og Peter Hoel, Valler vgs. Til tross for hederlig innsats, fikk ingen av de norske premier i år. De norske laglederne var Torbjørn Mehl og Thomas Frågåt.

Her er en liten refleksjon fra en av våre deltakere:

Gandalf sier at noen ganger er reisen i seg selv like viktig som det å komme fram, noe som stemte ganske fint på vei til og rundt i India. Varmen, trafikkaoset og luktene som preget bussturen til hotellet var meget spesielle. Deretter møtte vi de smarteste fysikkhodene fra hele verden for første gang, og overraskende nok var mange av dem ganske sosiale. (...) Vi nordmenn fikk en følelse av at selv om vi ikke nådde helt opp i det faglige, tok vi hjem en norsk seier i det sosiale. Jeg vil si det var en meget intens og innholdsrik tur jeg ikke ville vært foruten. Jeg fikk et minne for livet, både med fysikken og med India.

Hjemmesiden til Den internasjonale fysikkolympiaden 2015 hvor man kan finne finaleoppgavene, er: <http://www.ipho2015.in>

Oppgaver fra de norske rundene finnes på <http://www.mn.uio.no/fysikk/forskning/grupper/skolelab/fysikk-ol/>

Den 47. internasjonale fysikkolympiaden vil finne sted i Zürich fra 10. til 18. juli 2016. Vertsnasjonene er Liechtenstein og Sveits.

Fysikkolympiaden er støttet av Forskningsrådet, Kunnskapsdepartementet og Universitetet i Oslo.

Thomas Frågåt

∞

Jubileumskonferanse 2016

Neste år blir det 25 år siden Norsk fysikklærerforening første gang arrangerte landskonferanse om fysikkundervisning. I 1991 ble konferansen gjennomført på Ustaoset.

Vi markerer og feirer jubileet ved å arrangere landskonferanse om fysikkundervisning i Danmark fra 7. til 10. august 2016. Stedet for konferansen blir Schæffergården, som ligger 12 km nord for København. Schæffergården er et nordisk hotell og konferansesenter eiet av fondet Dansk-Norsk samarbeid (<http://www.schaeffergaarden.dk/om-schaeffergaarden/>).

Vi samarbeider med Dansk fysikklærerforening om innholdet i konferansen. Komiteen (Cathrine Wahlstrøm Tellefsen, Carl Angell, Arne Auen Grimenes, Karl-Torstein Hetland og Morten Trudeng) har startet arbeidet med programmet. Program og påmeldingsskjema vil foreligge tidlig i 2016. Sett av dagene fra 7. til 10. august 2016!

Morten Trudeng
Leder Norsk fysikklærerforening

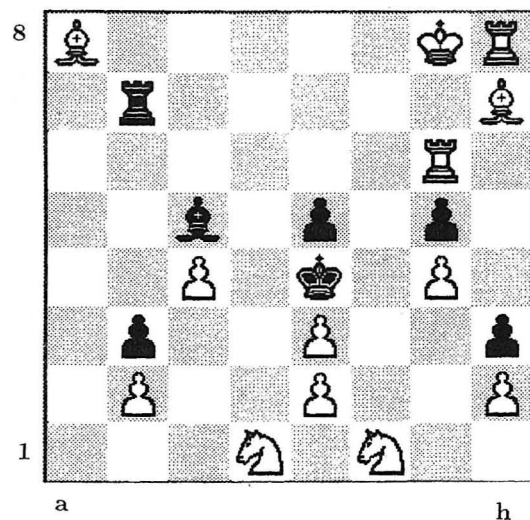
∞

Trim i FFV

Løsning på FFVT 2/15

Ikke matt i ett trekk

I sjakkbrettstillingen som er vist nedenfor skal hvit gjøre sitt trekk, og utfordringen er å finne hvorledes hvit kan unngå å sette svart matt i ett trekk.



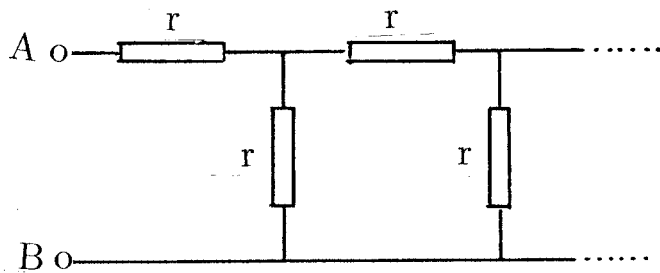
Løsningen er å flytte hvits tårn på g6 til feltet c6. Det medfører avdekkersjakk med hvits løper på h7, men en sjakk er ikke matt. Svarts tårn på b7 kan rett og slett slå løperen på h7, og matt er avverget.

Poenget med løsningstrekket til c6 er at da blir det svarte tårnet på b7 ikke lenger bundet av den hvite løperen på a8. (Oppgaven, laget av Karl Fabel, er publisert i *Scientific American* i juni 1961.)

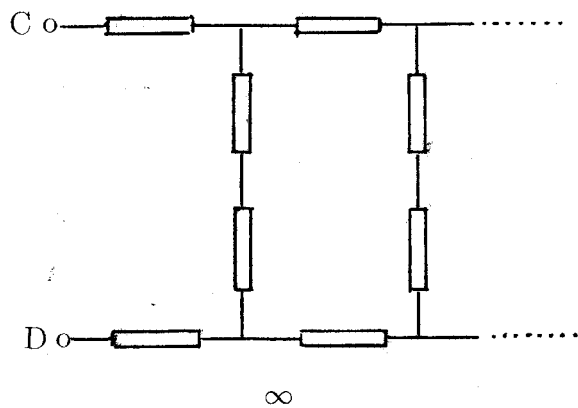
FFVT 3/15

Uendelig system av resistanser

a) Figuren representerer et system av uendelig mange resistanser, hver av størrelse r . Ledningene er uten resistans. Hva er resistansen R mellom punktene A og B? (Denne oppgaven ble gitt i en av de første internasjonale fysikkolympiadene.)



b) Figuren nedenfor representerer også et system av uendelig mange resistanser, hver av størrelse r . Hva er resistansen mellom punktene C og D?



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

B



NORGE P.P. PORTO BETALT

Retningslinjer for forfattere

FRA FYSIKKENS VERDEN utgis av Norsk Fysisk Selskap og sendes til alle medlemmer. Disse er vanligvis utdannet fra universiteter og 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. 1400.

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 en spaltebredde på 8,6 cm. De bør være på elektronisk form i et standard grafisk format og med god oppløsning. Vi kan unntaksvis motta figurer eller bilder som urastrerte kopier. Figurer og tabeller skal være referert i den løpende teksten, og ønsket plassering må markeres. Hvis forfatterne selv ikke har laget figurene, skal opprinnelsen oppgis. Forfatterne må selv innhente tillatelse til bruk av slike illustrasjoner.

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

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

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

President:

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

Visepresident:

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

Styremedlemmer:

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

Selskapets sekretær:

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

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:

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

Redaksjonssekretær:

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

Redaksjonskomité:

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

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