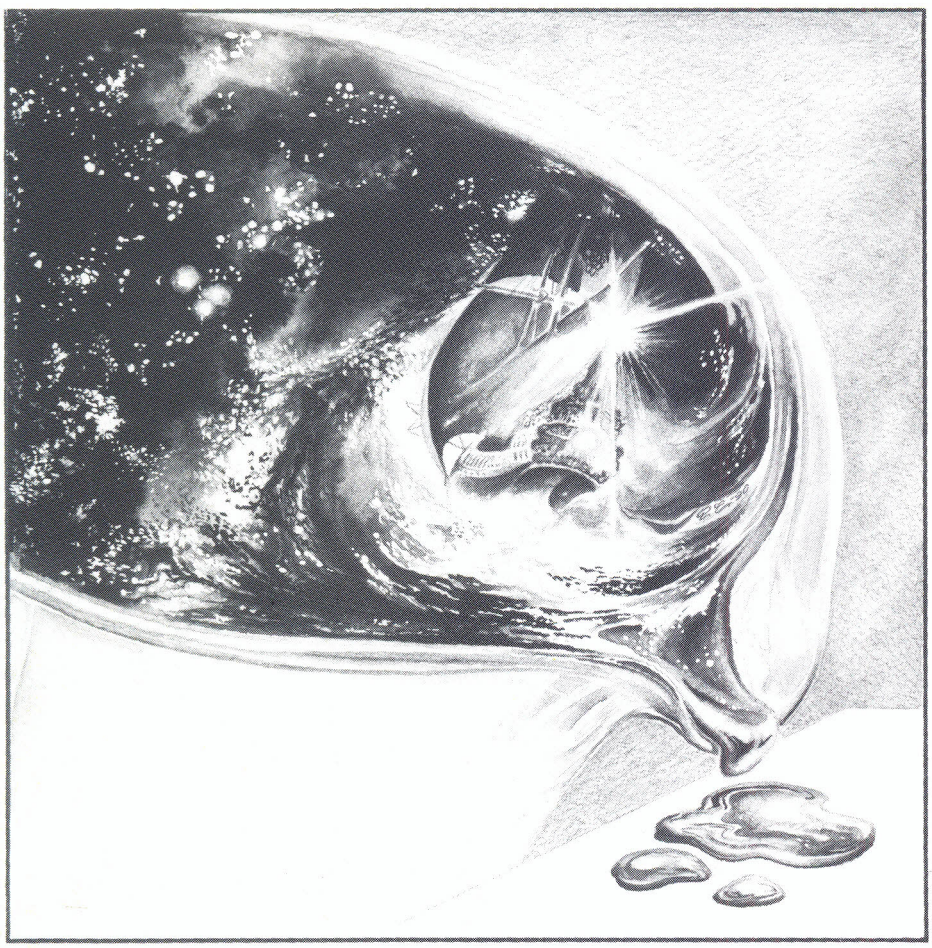
Fra Fysikkens Verden

Nr.3 – 1990
52. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen



Mørk Materie – trenger vi en ny naturbeskrivelse? Se artikkel.

Innhold

Sven Oluf Sørensen:
MØRK MATERIE 57

Olav Steinsvoll:
Virkningen av lave stråledoser . 68

Hans H. Grelland:
Finnes Kvante – kaos ? 72

Fra Redaktørene 55
FFV-Panelet: **Hans Skoie** 55
Nye Doktorander 56
Dr.Scient. Tore Ramsøy
Trim i FFV 73
Kommentar III til trimløsning 74
Bokanmeldelser 74
Nytt fra NFS 75
NFS Årsmøte
NFS Årsmelding
Nye medlemmer

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

Siden redaksjonen avsluttet forrige nummer av FFV har fysikersamfunnet hatt årets konferansesesong. Ved slutten av vårsemestert, sommeren, og begynnelsen av høstsemesteret, når den organiserte undervisningen har pause, er tiden da vi møter kolleger fra hele verden til faglig fornyelse. For oss åpnet sesongen med Fysikermøtet i Tromsø. Våre venner ved verdens nordligste universitet hadde til fulle maktet å lage et møte der såvel det faglige som det sosiale var svært vellykket.

Norsk Fysikkråds seminar om Fysikkundervisningen i den videregående skole og ved universiteter og høyskoler, holdt på Ustaoset i midten av august, er en ny møtevariant. FFVs redaksjon var desverre ikke til stede, men vi har registrert at deltakerne fra vår institusjon ser meget positivt på tiltaket. Såvel NFR som NFS har lenge innsett betydningen av å arbeide aktivt for stadig å bedre undervisningstilbudet i fysikk på alle nivåer. Dette gir anledning til noen refleksjoner rundt fysikkundervisningen, spesielt ved våre universiteter:

I skrivende stund foreligger en innstilling avgitt av et "studiekvalitetsutvalg" til høring. Vi er fristet til å si "som vanlig" er høringsfristen kort. (Er det slik at den inverse høringstid skal være et mål på sakens betydning?). Heving av studiekvalitet er en generell målsetning som alle er enige i. Vi er imidlertid skeptiske til den profesjonalisering og institusjonalisering som innstillingen legger opp til. Fysikk, og etterhvert de øvrige realfagsmiljøer, har funnet en meget god organisatorisk løsning i skolelaboratoriene. Erfaringen viser at den nære tilknytning til fagmiljøet er avgjørende for et godt resultat. Og til slutt: vårt inntrykk er at fysikere generelt er sterkt opptatt av stadig å forbedre undervisningen på alle nivåer.

∞

FFV – Gjest: Hans Skoie

NORSK NATURVITENSKAP FORAN SEKELSKIFTET

Norsk naturvitenskap har en vanskelig oppgave. Våre 1800 universitetsforskere skal yte bidrag som det står respekt av selv om de bare utgjør promiller av verdens totale forskersamfunn.

Men gjør vi denne oppgaven enda vanskeligere enn den er? Jeg sikter til universitetenes og forskningsrådenes tendens til å postulere at vi stort sett står overfor fremragende forskerprestasjoner over hele linjen i Norge. Hittil er det politikere som har stilt de skarpeste spørsmål om kvalitet og resultater - og da først og fremst rettet mot anvendt forskning og utviklingsarbeid. Helt siden 1945 har vi drevet kompetanseoppbygging - men "ikke fått det helt til" - en kunnskapsbasert industriutvikling uteblir bl.a.

Men Hernesutvalget og statsrådene Bakke og Steensnæs har også rettet disse spørsmål mot universitetene, og stort sett blitt ignorert. Føler ikke universitetsforskerne at spørmålene har noen berettigelse? Hva kan eventuelt gjøres for å rette på tingenes tilstand? Ansette færre forskere og gi dem som fungerer godt mer til drift og utstyr - og større frihet i disponeringen? Styrke bestyrer- og gruppelederfunksjonen? Redusere møte- og saksmengde - og ikke minst krav til skriftlig dokumentasjon på alle nivåer? Disse og andre spørsmål bør nå opp på bordet - dagens system virker ressurssløsende og lite tillitsvekkende.

Hvis vi ser oss rundt i verden i dag er det særlig tre ytre forventninger som gjør seg gjeldende overfor naturvitenskapelig grunnforskning; bidrag som kan bety noe for klargjøring og løsning av en rekke miljøproblemer, nye energiløsninger som gjør oss vesentlig mindre avhengig av olje og atomkraft, og bidrag som grunnlag for industrielle innovasjoner - særlig de såkalte radikale innovasjoner som kan gi mange og akseptable arbeidsplasser til nye generasjoner.

Miljøforskningen har hittil hatt en overveldende biologisk forankring. I dag er det åpenbart at også fysikere bør ha en rolle på dette området. Men en multidisiplinær mobilisering og faglig kommunikajon på tvers, er ikke alltid lett å få til i praksis. I England er Natural Environment Research Council opptatt av denne problemstillingen, og rådet har nok oppnådd bedre resultater enn vi hittil har gjort.

Men miljøforskningen har også en annen side som norske forskere foreløpig ikke synes å takle så godt. Det henger sammen med den brede offentlige interesse som nå knytter seg til miljøspørsmål. Mediene og miljøbevegelsene er interessert i ozonmålinger, drivhuseffekt etc. - og de siste målinger eller forskerkommentarer kan skape store oppslag både i aviser og Dagsrevy - naturlig nok.

Dette kan samtidig ødelegge klimaet for faglig kommunikasjon og meningsutveksling - noe all god forskning forutsetter. "Føre var" prinsippet (verste tolkning av tingenes tilstand og konsekvenser) som Bergenkonferansen lanserte gjør ikke denne siden ved forskningen lettere. Det samme gjelder kampen om forskningsmidler - det kan være fristende å lansere resultater/tolkninger med ekstra "public appeal". Her er derfor god grunn for finansierende organer såvel som forskere til å søke å opprettholde den faglig diskusjonen uforstyrret av publisitet og "salemanship". Sur Nedbør- diskusjonen i Norge og enkelte andre episoder tyder på at vårt fåtallige forskersamfunn fortsatt har noe å lære i så måte. Ja, det at vi har så få fagfolk gjør oppgaven enda vanskeligere.

Sysselsettingskrisen farer over den vestlige verden - og har ledet industriledere og politikere til å tro at industrilaboratoriene og instituttene er "tørket ut" - de gir ikke lenger de store gevinster. Slike må derimot søkes hos dem som steller med naturens grunnleggende lover - universitetsforskerne. Bioteknologi trekkes fram i denne forbindelse - men man setter sin lit til at også andre felter dukker opp. Resultatet er den næringslivsorientering som har preget universitetene i den vestlige verden i de siste 5-10 år.

Her har vi nok sett en klar tendens til "oversell" fra universitetenes side, og dette vil kunne slå tilbake. Men et eller flere gjennombrudd de neste 5-10 år kan naturligvis forandre situasjonen atskillig. At universitetene selv har lagt så stor vekt på denne nytteorienteringen i de senere år, overrasker likevel.

Norsk forskningsrådsorganisasjon drøftes nå i en offentlig komite med departementsråd Knut Grøholt som formann. For den naturvitenskapelige del vil jeg tro at de to springende punkter vil bli den tekniske grunnforskning og miljøforskningen. Skal begge disse oppgaver plasseres i et utvidet RNF?

Til slutt kan det kanskje være nødvendig å minne om at store deler av naturvitenskapens "raison d'etre" og etiske grunnlag nå settes under debatt langt mer enn før. Dette gjelder ikke minst viktige deler av naturvitenskapelig grunnforskning som stiller samfunnet overfor vanskelige- og kanskje uløselige dilemmaer av etisk natur. Oppenheimer formulerte det kraftfullt allerede i 1945: "Vi fysikere har syndet" - og en viktig debatt om forskernes etiske ansvar fulgte inntil den kalde krigen kvalte den. Nå har Regjering og Storting tatt initiativ til "en etisk komite" for norsk naturvitenskap og teknologi. Det er å håpe at dette vil bidra til mer opplyst debatt blant leg og lærd også her hjemme om spørsmål av denne art.

∞

Nye Doktorander

På Årsmøtet i NFS fremkom et forslag om å presentere nye doktorander i fysikk i Fra Fysikkens Verden. Redaksjonen synes dette er en glimrende idé. Vi har imidlertid liten anledning til å drive oppsøkende journalistikk. Vi ber derfor de aktuelle fagmiljøer / institutter om å sende inn et bilde av kandidaten, sammen med en kort beskrivelse av prosjektet. Vi tar denne gang med en presentasjon av den aller ferskeste doktorand fra Fysisk Institutt i Oslo:

Tore Ramsøy

Tore Ramsøy forsvarte den 31. august i år sin avhandling *Spectroscopy High Above the Yrast Line in Rare Earth Nuclei* for Dr. Scient. graden.

Arbeidet inngår i en serie undersøkelse av kjernestruktur ved høy indre energi (temperatur) ved Syklotronlaboratoriet i Oslo. Han har stått meget sentralt i oppbyggingen av et stort NAVF-finansiert detektorsystem (CACTUS) for slike undersøkelser, og er for tiden avdelingsingeniør (NAVF).

De "varme" kjernene dannes ved hjelp av en stråle av lette kjerner med høy hastighet. Ved samtidighetsmåling av ladde partikler og gammastråler kan "avkjølingsprosessen" studeres i detalj. Ved høy eksitasjonsenergi fordelt på mange nukleoner forventes at de regulære nukleonbaner i kjernen brytes opp, og det spekuleres på om en har overgang til en "kaotisk" nukleonbevegelse. Et hovedproblem har vært å finne målbare signaturer for slik faseovergang. I avhandlingen er det lagt spesiell vekt på strukturen av og henfallet til spesifikke energitilstander i kjernen.

Bedømmelseskomitéens medlemmer har vært Lektor Geir Sletten, Niels Bohr Inst., København, samt professorene Per Olav Tjøm og John Rekstad, Oslo.

∞

Husk Kontingenten!

Skriv i FFV

MØRK MATERIE

Sven Oluf Sørensen *

I løpet av de siste årene har astrofysiske observasjoner gjort det sannsynlig at den alt overveiende masse i universet er i form av en ikke lysende, "mørk" materie. Det er sterke argumenter for at denne ikke består av konvensjonell materie som nukleoner og elektroner, men av hittil ukjente, eksotiske former for elementærpartikler. Muligheter for en modifikasjon av Newton og Einsteins gravitasjonslover har også vært diskutert.

Innledning

Siden renessansen har mennesket vært utsatt for en gradvis detronisering av sin rolle i naturen. Kopernikus lærte oss at vi ikke var i sentrum av universet. Darwin viste oss at våre forfedre ikke kom fra paradiset, men er å se i zoologiske haver. Og Freud sa at vi ikke engang var herre i eget hus. Vår adferd er ikke resultatet av logiske og rasjonelle resonnement, men skyldes prosesser i en dunkel, irrasjonell underbevissthet som vi har meget liten kontroll over. (En plausibel hypotese). Men i løpet av de siste 10 år har astronomer og partikkelfysikere gjort en rekke oppdagelser som kan bety den virkelig endelige gjennomføring av den Kopernikanske revolusjon. Jeg sikter til det fenomen som går under betegnelsen "mørk materie", hvis mest ekstreme tolkning går ut på at bare et par prosent av massen i universet består av "normal materie", d.v.s. nukleoner og elektromagnetisk stråling. Den resterende mengde av materie mener mange kan bestå av totalt ukjente former for partikler. For å beskrive hvorledes man er kommet frem til en så revolusjonerende oppdagelse er det nødvendig å starte med et kort resumé av den moderne oppfatning av universets struktur.

*Fysisk Institutt UiO

Vårt Melkevei-system representerer en gruppe av sirkulerende stjerner som inneholder av størrelsesorden 200 milliarder stjerner. Den synlige del av systemet har form av en flattrykt skive med diameter ca. 100 000 lysår.

Vårt solsystem befinner seg ca. 30 000 lysår fra sentrum, og har en omløpstid på ca. 240 millioner år. Melkevei-systemet er medlem av en gigantisk fordeling av lignende strukturer, galakser, som fyller verdensrommet så langt ut våre astronomiske instrumenter kan registrere, d.v.s. ca. 10-15 milliarder lysår. Den nærmeste

Fig.1. Rotasjon av de ytre deler av Andromedatåken indikerer at galaksen har en "halo" av mørk materie.

større galakse er Andromeda galaksen, fig.1, som befinner seg i en avstand av ca. 2 millioner lysår.

I løpet av de siste år har astronomer oppdaget at fordelingen av galaksene viser tydelige hierarkiske strukturer. Vårt Melkevei-system er medlem av en mindre gruppe på ca. 30 galakser, "den lokale gruppen", som bl.a. inneholder Andromedatåken. Denne gruppen er imidlertid medlem av et større system av galaksegrupper som kalles "den lokale superhopen", og som inneholder ca. 50 galaksehoper. Disse superhoper danner igjen enorme strukturer hvis former er blitt utforsket i løpet av de siste par tre år. Det billedet som kommer frem er at den romlige fordeling av galaksene kan sammenlignes med såpeskum i et boblebad, fig.2. Den overveiende del av universets volum er fyllt av tilnærmet sfæriske hulrom med diameter av størrelsesorden 100 – 200 millioner lysår, analogt med innsiden av såpebobler. Disse inneholder meget få galakser. Galaksene ligger fordelt på overflaten av hulrommene analogt med såpehinnene i såpebobler. - Det mest sensasjonelle ved disse observasjoner er oppdagelsen av en struktur som blir kalt "The great Wall", et "flak" av galakser antagelig over 500 millioner lysår langt, over 200 millioner lysår bredt og antagelig ca. 15 millioner lysår tykt - den største koherente struktur som er funnet i naturen[1], fig.3.

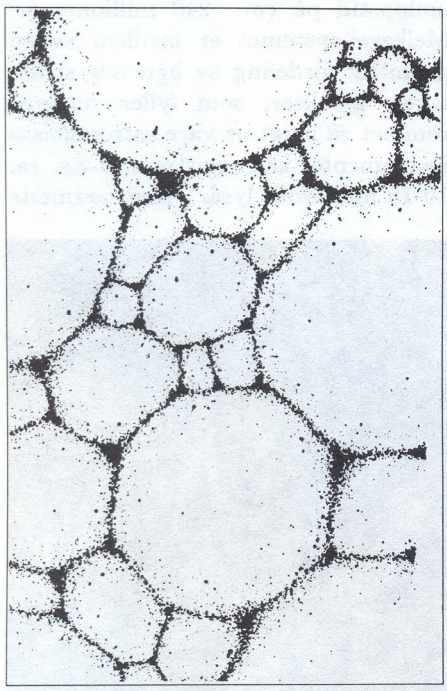


Fig.2. Galaksene i universet er fordelt langs overflatene av gigantiske hulrom, analogt med såpe i et skumbad av såpebobler.

Som bekjent er dette univers ikke i statisk likevekt, idet man allerede i 1930-årene oppdaget at galaksehopene fjerner seg fra hverandre med en hastighet som er nær proporsjonal med avstanden mellom dem. Dette fenomen tilskrives rommets ekspansjon, og leder naturlig til en Big-Bang-teori for universets opprinnelse. - Et sentralt spørsmål i modellen om et ekspanderende univers er om denne utvidelse vil fortsette i det uendelige, eller om den gjensidige gravitasjon mellom galaksene vil retardere ekspansjonen slik at denne stopper og blir reversert med det resultat at man får en ny komprimering av all masse i universet.

Dette problem avhenger av hvor meget masse som finnes i universet. Man kan enkelt regne ut at den kritiske tetthet ρ_K av materie som er nødvendig for å stoppe ekspansjonen er ca. $5 \cdot 10^{-30}$ gram cm^{-3}, svarende til ca. 3 hydrogenatomer pr. m^3. Dette tall er avhengig av ekspansjonshastigheten som i dag er noe usikker. Den "synlige" materie i form av lysende galakser representerer imidlertid bare ca. $7{,}5 \cdot 10^{-32}$ gram cm^{-3}. Kosmologer definerer en størrelse Ω som forholdet mellom den midlere tetthet av masse i universet ρ og den kritiske tetthet ρ_K:

$$\Omega = \rho/\rho_K \qquad (1)$$

Pr. definisjon er derfor betingelsen for å stoppe ekspansjonen at $\Omega = 1$. - I den generelle relativitetsteoris terminologi svarer de tre tilstandene $\Omega > 1, = 1, < 1$ til et univers med henholdsvis positiv romlig krumning, "flatt" (euklidsk) og negativ krumning.

Av de ovenfor angitte tetthetsverdier ser vi at den observerbare, lysende masse er for liten, med en faktor ca. 50, for å kunne stoppe ekspansjonen. - Ut fra denne problematikk ledes man naturlig til spørsmålet om hvor meget materie som virkelig finnes i universet. Med andre ord: Eksisterer det i verdensrommet en ikke lysende, "mørk" materie? Og i så fall hvor meget, og i hvilken form? Vi skal

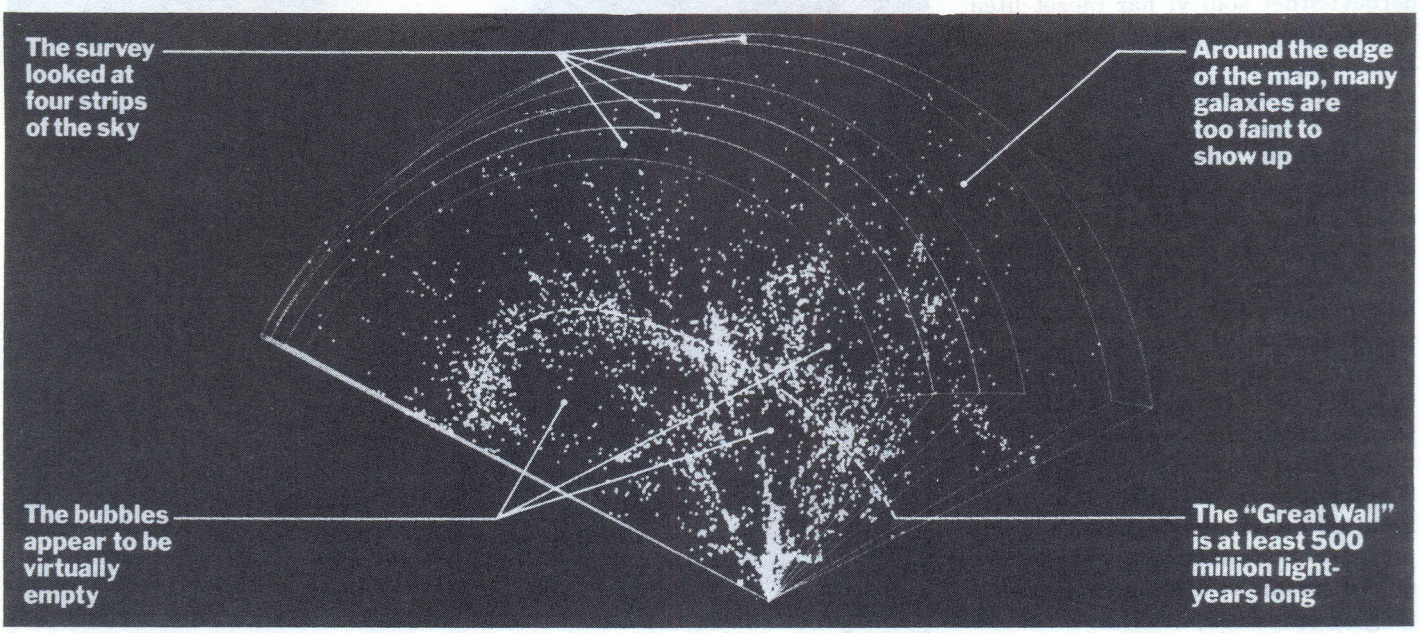


Fig.3. Et tre-dimensjonalt kart over den romlige fordeling av ca. 4000 galakser. Avstandene er bestemt ved å måle Doppler- rødforskyvningen av galaksene og derefter anvende Hubbles lov.

se at en undersøkelse av dette problem leder til resultater som er meget overraskende og muligens revolusjonerende for vår naturbeskrivelse.

Mørk materie

Første gang man fikk mistanke om at det fantes større mengder av mørk materie i universet var i 1932 da den hollandske astronom Oort utførte en rekke studier av stjernenes bevegelse i vårt eget Melkeveisystem[2]. Samtidig som stjernene sirkulerer omkring Melkeveiens sentrum utfører de en pendelbevegelse loddrett på det galaktiske plan. Amplitudene og frekvensene for denne bevegelse er bestemt av den graviterende masse som finnes i den galaktiske skiven. Ved å måle Dopplereffekt i spektrene fra "sporstjerner" kunne disse parametre, og dermed den graviterende massen i skiven bestemmes. På den annen side kunne massen av Melkeveisystemet estimeres ved å anta at all materie i galaksen er i form av lysende stjerner og interstellar materie. Oort kom da frem til det overraskende resultat at massen av vårt galaktiske system var ca. dobbelt så stor som det man skulle vente utfra den lysende materien. Disse undersøkelser ble ikke fulgt opp før i 1960 - årene, da Oort repeterte sine beregninger med bedre data over stjernenes bevegelse og kom til det samme resultat.

Det store vendepunktet i utforskningen av "mørk materie" - problemet kom imidlertid i begynnelsen av 1980-årene, og skyldtes i første rekke den amerikanske astronom Vera Rubin og hennes medarbeideres studier av egenrotasjon av en hel rekke galakser[3]. Hvis man måler fordelingen av den lysende materie i et galaktisk system, for eks. Andromedatåken, og identifiserer denne med fordelingen av den graviterende masse i stjernetåken, ledes man til at den vesentligste mengden av materie er konsentrert i sentrum av galaksen. Stjernene i periferien av galaksen skulle følgelig bevege seg tilnærmet efter Keplers lover. Hvis en stjerne med masse m, hastighet v og avstand r fra galaksens sentrum beveger seg om en masse M har vi:

$$G\frac{mM}{r^2} = m\frac{v^2}{r} \qquad (2)$$

hvorav

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \qquad (3)$$

hvor G er gravitasjonskonstanten. Man skulle derfor vente en hastighetsfordeling av stjerner som avtok med avstanden fra sentrum av galaksen.

Metoden som ble anvendt for å bestemme hastighetene av stjernene i spiralarmene av galaksene var å måle Doppler-effekten i det synlige spektret. Resultatet av disse observasjoner var det sensasjonelle at hastigheten ikke avtok med r, men holdt seg konstant, og i visse tilfelle faktisk økt med r, fig.4. - Den eneste forklaring på dette forhold ut fra konvensjonell gravitasjonsteori var at galaksene har en meget videre massefordeling enn det man skulle vente ut fra den lysende materie. Det må altså være en betydelig mengde av mørk materie i galaksene. Et estimat av hvor stor masse det dreier seg om er naturligvis meget usikkert, men man opererer med tall på 50 - 80 % av den totale massen. Fenomenet med mørk materie synes derfor å være et generelt trekk ved alle galakser.

Spørsmålet melder seg om mørk materie er begrenset til den synlige delen av galaksene, d.v.s. i første rekke til den flattrykte skiven av spiraltåken. En metode til undersøkelse av dette problem ble funnet da man i astronomien begynte å studere radiobølger fra astronomiske objekt.

Det meste av den interstellare gass i et galaktisk system består av nøytralt atomært hydrogen. Fra nøytralt hydrogen sendes det ut ved siden av det velkjente optiske spektret, radiobølger i bølgelengdeområdet 21 cm. Dette skyldes kvanteoverganger mellom de to tilstandene i nøytralt hydrogen hvor elektronspinnet er parallelt eller antiparallelt med protonets spin. Denne radiostråling er observert både i vårt eget Melkevei-system og i andre galakser, og er altså en indikator på eksistensen av hydrogen. - Resultatet av disse observasjoner var at man oppdaget at både vårt eget Melkeveisystem og andre galakser var innhyllet i skyer av nøytralt hydrogen, og at disse skyer hadde en utstrekning betydelig lengre enn den lysende regionen av galaksene. Ved hjelp av radioteleskoper kunne man måle Doppleref-

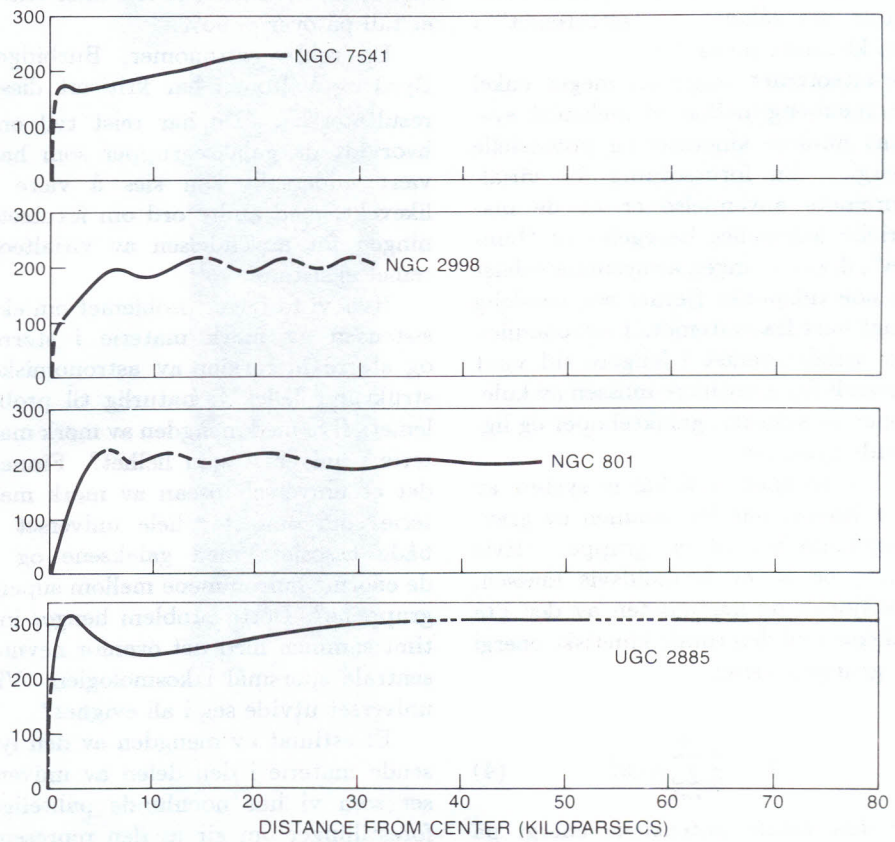


Fig.4. Rotasjonskurver for 4 galakser som viser banehastigheter (i km s^{-1}) som funksjon av avstanden (i kiloparsec) fra sentrum av galaksen.

fekten i spektret av radiobølger, og dermed bestemme hastighetsfordelingene av hydrogenskyene som funksjon av avstanden fra sentrene av galaksene. Man fant at disse bevegelsene heller ikke fulgte Keplers lover, og det alminnelige syn blandt astronomer er at galaksene er omgitt av en "halo" av mørk materie[4].

Som tidligere nevnt har man funnet at galaksene ikke er jevnt fordelt utover i rommet, men samler seg i hoper av varierende størrelse. Spørsmålet er derfor hvordan mørk materie fordeler seg i disse. Er den lokalisert bare til de individuelle galaksene, eller strekker den seg også ut i det intergalaktiske rom? En metode til å undersøke dette problem er å anvende det såkalte "virialteoremet" i den klassiske mekanikk.

Virialteoremet angir en meget enkel sammenheng mellom et mekanisk systems midlere kinetiske og potensielle energi. En forutsetning for virialteoremets anvendelse er at de materielle legemenes bevegelse er "bundet", d.v.s. at ingen av systemets deler på noe tidspunkt fjerner seg uendelig langt bort fra systemet. I astronomien har virialteoremet i lengere tid vært anvendt for å estimere massen av kulehoper av stjerner, galaksehoper og lignende systemer.

La oss anta at vi har et system av N galakser, bundet sammen av gravitasjonskrefter til en gruppe. Hvis $m_i, \boldsymbol{r}_i$ og $\boldsymbol{v}_i$ er henholdsvis massen, posisjonen og hastigheten av den i'te galaksen vil den totale kinetiske energi av gruppen være:

$$T = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N} m_i \boldsymbol{v}_i^2 \qquad (4)$$

og den totale potensielle energi på grunn av gravitasjon:

$$V = -\frac{G}{2}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j\neq i}\frac{m_i m_j}{|\boldsymbol{r}_i - \boldsymbol{r}_j|} \qquad (5)$$

Hvis systemet er i likevekt, d.v.s. at det er balanse mellom gravitasjonskreftene og de individuelle galaksenes akselerasjoner, - med andre ord at gruppen ikke desintegrerer, da sier virialteoremet at

$$2\overline{T} + \overline{V} = 0 \qquad (6)$$

hvor strekene angir middelverdiene over en "periode", som er av størrelsesorden den tid det tar for en galakse å bevege seg tvers over hele systemet.

Ved å bestemme hastighetene og den relative avstand mellom de individuelle galaksene kan man av virialteoremet estimere massen av hele gruppen. Ved å sammenligne dette med massen bestemt ut fra den lysende materien i galaksene fant man at ca. 70 - 90 % av den totale massen måtte være mørk materie[5]. Da dette er av samme størrelsesorden som fraksjonen av mørk materie for individuelle galakser tyder det på at ikke hele gruppen befinner seg i en sky av mørk materie, men at denne er begrenset til de individuelle galaksene. Hvis det intergalaktiske rommet også hadde vært fylt av mørk materie måtte man vente et tall på over $\sim 95\%$.

En rekke astronomer, Burbidge, Byrd og Valtonen har kritisert disse resultater[6,7]. De har reist tvil om hvorvidt de galaksegrupper som har vært undersøkt kan sies å være i likevekt, med andre ord om forutsetningen for anvendelsen av virialteoremet eksisterer.

Hvis vi forfølger problemet om eksistensen av mørk materie i større og større hierarkier av astronomiske strukturer ledes vi naturlig til problemet: Hva med mengden av mørk materie i universet som helhet? Finnes det et universelt osean av mørk materie som omfatter hele universet - både assosiert med galaksene og i de enorme hulrommene mellom supergruppene? Dette problem henger intimt sammen med det ovenfor nevnte sentrale spørsmål i kosmologien: Vil universet utvide seg i all evighet?

Et estimat av mengden av den lysende materie i den delen av universet som vi har noenlunde pålitelige forestillinger om gir at den representerer ca. 2% av den kritiske massetetthet ρ_K. Adderer vi til mørk materie i regnskapet blir forholdene betydelig usikrere. De to ytterverdiene 50% og 98% for andelen av mørk materie fører til henholdsvis 4% og 40% av den kritiske massetetthet. Disse estimat er basert på at all masse, både lysende og mørk, er assosiert med galakser, grupper og supergrupper. Men hva med hulrommene mellom supergruppene? Tatt i betraktning det enorme volum som disse representerer, vil selv en relativ liten tetthet av mørk materie i disse kunne vippe den midlere massetetthet i universet over til å bli i favør av et lukket univers. - De muligheter man har til å estimere massen, og dermed innholdet av mørk materie, i rommet mellom supergruppene er imidlertid meget begrensede.

Man har funnet noen lyssvake galakser i hulrommene, men de er alt for få til å spille en rolle i det generelle regnskapet for den kritiske massetettheten.

Eksistensen av kalde gasser i de intergalaktiske hulrommene ville manifestere seg ved at lyset fra fjerne galakser ville bli blendet. Denne effekt er imidlertid ikke observert.

Varm gass i hulrommene, for eks. med temperatur på flere hundre millioner grader, ville avsløre seg ved at den ville emmittere røntgenstråler. Observasjoner har faktisk vist at det eksisterer en diffus røntgenstråling fordelt uniformt over hele himmelen. Enkelte astronomer mener at denne stråling kan være en indikasjon på varm gass i det intergalaktiske rom. Andre mener at fenomenet kan forklares ved eksplosiv emmisjon av stråling fra sentrale regioner av enkelte unormale galakser. Som konklusjon må man si at det eksisterer ingen klar evidens for gass i hulrommene.

En annen metode til å undersøke materieinnholdet i hulrommene er å studere den relative bevegelse av supergrupper, og anta at denne er forårsaket av den gjensidige gravitasjonspåvirkningen. Man kommer da til at den midlere massetettheten i universet er ca. 10 - 20 % av den kritiske massetettheten. Et studium av disse "strømninger" av galaksegrupper er imidlertid beheftet med meget store feilkilder. Dette skyldes i første rekke at den relative bevegelse mellom to supergrupper behøver ikke bare å være forårsaket av tiltrekningen mellom disse, men kan også være en effekt av gravitasjonspåvirkning fra fjernere ansamlinger av materie.

En annen metode til å estimere den totale massetetthet i universet er å bestemme det relative forhold mellom de letteste elementene i universet. I følge standard-teorien for Big Bang er dette forhold bestemt av den temperatur og massetetthet som eksisterte i løpet av de første minuttene efter starten av ekspansjonen. En rekke forskjellige observasjoner (Jupiters atmosfære, interstellart støv, meteoritter etc.) fører for eks. til et deuterium/hydrogen-forhold av størrelsesorden $\sim 10^{-5}$. Dette leder videre til et estimat av den

midlere massetetthet i universet som bare er 5 - 20 % av den kritiske tetthet. Her må man imidlertid understreke at denne teori for dannelse av deuterium er basert på baryonisk materie, d.v.s. kjerner bygget opp av protoner og nøytroner. Hvis den mørke materie ikke er av baryonisk natur vil den antagelig ikke påvirke deuteronsyntesen, og resonementet ovenfor blir ugyldig.

Skulle man forsøke å gjøre en "educated guess" på hvor meget mørk materie som finnes i universet ut fra de observasjoner som er utført, må man innrømme at det er meget vanskelig. En "avstemming" blant astronomer vil antagelig gi et tall på at ca. 90% av den graviterende masse i universet er mørk. Det betyr at den massen man hittil har identifisert er langt fra den kritisk massetetthet som skal til for å reversere ekspansjonen. - Men en rekke astronomer og fysikere nekter å akseptere denne konklusjon. De har lansert et nytt bilde av universets begynnelse i en rekke teorier som går under fellesbetegnelsen "inflasjonsuniverset". Disse modeller åpner mulighetene for å ha en perfekt balanse mellom ekspansjon og kontraksjon, d.v.s. gjøre $\Omega = 1$.

Inflasjons–kosmologi

Standard-teorien for Big Bang beskriver universets opprinnelse som en eksplosjon som startet for ca. 20 milliarder år siden - fra en singularitet med en enorm tetthet og temperatur. De viktigste observasjoner i favør av denne teori er følgende:

1. Rødforskyvningen i spektret av galaksene, som tolket som Doppler-effekt fører til at galaksene må fjerne seg fra hverandre med en hastighet som er tilnærmet proporsjonal med avstandene, (Hubbles lov).

2. Den universelle, isotrope mikrobølgestrålingen på 2,7K som er "ulmingen" av den elektromagnetiske stråling efter 20 milliarder års ekspansjon og "avkjøling".

3. Big Bang-teorien predikerer meget presist den relative hyppighet av de letteste elementene i universet, H^1, H^2, He^3, He^4 og Li^7.

Den konvensjonelle Big Bang-modellen har imidlertid en rekke svake punkter som tydeligvis krever en modifikasjon av teorien. De viktigste av disse er følgende:

1. "Horisont" problemet. Med "horisonten" mener man i kosmologien radien ut til den kuleflaten utenfor hvilken intet lyssignal kan ha hatt tid til å nå oss. I standard Big Bang teori vil derfor vår "horisont" være en avstand av størrelsesordenen universets alder multiplisert med lysets hastighet, d.v.s. ca. 20 milliarder lysår. Vi kan bare være i et årsakvirkningsforhold til begivenheter som finner sted innen for vår horisont. Men hvis man antar at universet er uendelig - hvorledes kan ikke-kausalt forbundne deler (begivenheter utenfor hverandres lyskjegler) starte ekspansjonen samtidig? Hvordan er startsignalet gitt? En annen måte å formulere horisontproblemet på er å betrakte to stråler av 2,7K mikrobølgebakgrunnen som kommer fra diamentralt motsatte retninger av verdensrommet. Man finner at de har den samme intensitet og spektrale sammensetning. Da de to strålene kommer fra to ikke-kausalt forbundne begivenheter er det vanskelig å forstå hvordan de kan ha oppnådd nøyaktig samme temperatur.

2. "Flathet"-problemet. Som tidligere nevnt er forholdet mellom massetettheten i universet og den kritiske tetthet ρ_K gitt ved størrelsen Ω. Nu viser det seg at i modellen for standard Big Bang-prosessen representerer $\Omega = 1$ en tilstand av labil likevekt. Hvis Ω i starten var eksakt lik 1 vil den i all fremtid fortsette å ha denne verdi. Hvis derimot Ω avvek bare en liten verdi fra 1 vil dette avvik vokse enormt med tiden. Hvis man antar at Ω i dag ligger et sted mellom 0,1 og 2,0 må Ω et sekund efter starten av Big Bang ha hatt en verdi på 1 innenfor en margin på en del i 10^{15}. Standard Big Bang-modellen har ingen forklaring på at Ω startet så nær den eksakte verdien 1.

I begynnelsen av 1980-årene ble det av en rekke kosmologer fremsatt en modifisert Big Bang-teori, "inflasjons"-universet, som delvis overvant de ovenfor nevnte vanskeligheter[8,9,10]. Denne modell kan i korthet skisseres som følgende:
I de første 10^{-43}s efter Big Bang var alle de fire vekselvirkningene i universet (gravitasjon, svak, elektromagnetisk og sterk) forenet i en enhetlig vekselvirkning. Det eksisterer ingen tilfredsstillende teori for denne epoke, da det bl.a. ville kreve en kvanteteori for gravitasjon. Kvantefluktuasjoner under denne fase kan ha forårsaket de store strukturer som ble dannet senere i universets utvikling. Efter de første 10^{-43}s "utkrystalliserte" gravitasjonen seg mens de tre andre vekselvirkningene fortsatte å være forenede.

Efter 10^{-35}s "utkrystalliserte" den sterke vekselvirkning seg fra den elektrosvake. Dette forårsaket en enorm ekspansjon, en "inflasjon" av universet. Denne prosess varte i $\sim 10^{-33}$s hvorunder universets radius øket fra $\sim 10^{-50}$ cm med en faktor 10^{25} eller mer. Det senere forløp av universets utvikling fulgte derefter standard Big Bang-teori.

Horisontproblemet blir løst i inflasjonsmodellen på følgende måte: Universet blir antatt å utvikle seg fra et område som var uhyre mye mindre i diameter (en faktor av størrelsesorden 10^{50} eller mer) enn den korresponderende region i standard Big Bang - modellen. Før inflasjonen begynte lå dette området langt innenfor horisonten, og universet hadde nok av tid til å bli homogent og i termodynamisk likevekt. Derfor var kildene til den elektromagnetiske stråling, som vi idag observerer som mikrobølgebakgrunn, i nær kontakt før inflasjonen begynte. Og de hadde rikelig med tid til å anta samme temperatur.

"Flathet"-problemet blir løst i inflasjonsmodellen på følgende måte: De ligninger som beskriver utviklingen av inflasjonsuniverset er forskjellige fra de ligninger som beskriver prosessene i Standard Modellen. Det viser seg at på grunn av den enorme inflasjonen vil Ω bli drevet meget hurtig mot 1. Efter inflasjonsmodellen skulle derfor massen i universet være avstemt slik at Ω blir eksakt 1. Men da oppstår det et problem med den virkelig observerte massetetthet i universet. Denne er bare av størrelsesorden 1-2% av den verdi som skal til for å gjøre $\Omega = 1$. Efter inflasjonsmodellen skulle derfor den "manglende masse" i universet være av størrelsesordenen $\sim$ 98 - 99%. - Hvis man antar en så høy verdi for innholdet av mørk materie kommer man imidlertid i konflikt med predikasjonene fra nukleonsyntesen av den relative hyppighet av de letteste grunnstoffene. Disse prosesser er nemlig uhyre sensitive for ini-

tialbetingelsene i massetetthet, temperatur etc. Hvis man aksepterer inflasjonsmodellen ledes man derfor til den konklusjon at den vesentligste del av den mørke materien ikke kan bestå av baryoner.

Det synes å være en alminnelig enighet blandt astronomer om at det finnes betydelige mengder mørk materie i universet. Det neste spørsmål er da naturlig: Av hvilken natur er den mørke materien? - Her er det i løpet av de siste årene blomstret opp en hel flora av eksotiske teorier, og det er i den forbindelse at kosmologien nærmest er blitt et laboratorium for moderne partikkelfysikk. For oversiktens skyld kan man dele disse teorier inn i to hovedgrupper: baryonisk og ikke-baryonisk mørk materie.

Baryonisk mørk materie

Hvis vi ser bort fra inflasjonsmodellen og antar at den mørke materien hovedsakelig er av baryonisk natur, d.v.s. bygget opp av protoner og nøytroner, finnes det en hel gruppe hypoteser. La oss stille problemet noe mer presist, og for eks. spørre om i hvilken form er den mørke materien i haloene omkring galaksene. Som former for baryonisk mørk materie har vært foreslått interstellar gass og støv, "sneballer", meteorer, planeter i Jupiterklassen, lyssvake eller sluknede stjerner o.s.v. Det eksisterer imidlertid meget sterke argumenter i disfavør av disse kandidater.

Argumentet imot at haloen består av kald gass er at denne vil kollapse og danne stjerner i løpet av 10^8 – 10^9 år, og denne tid er mye mindre enn alderen av galaksene. Hvis på den annen side haloen besto av en varm gass, $\sim 10^6$ K, ville det føre til emmisjon av en såvidt intens røntgenstråling at det ville være i uoverensstemmelse med den observerte bakgrunn av røntgenstråling.

En annen kandidat som har vært foreslått er sneball-liknende objekt i form av kald, kondensert hydrogen bundet sammen av elektrostatiske krefter med bindingsenergi av størrelsesorden ~ 1 eV. Ved ~ 9K vil fordampningstiden for et H_2 molekyl fra overflaten av et slikt objekt være $\sim 10^{-8}$ s, og med denne tid måtte sneballen ha en radius på ca. 10^{11} km for å kunne overleve et omløp i en galakse, $\sim 10^{16}$s. Mørk materie i denne form synes derfor å være utelukket.

En av de kandidater som man mest naturlig kan tenke seg som baryonisk mørk materie i haloen er kloder i Jupiter-klassen eller stjerner så små at de ikke kan få energi fra termonukleære reaksjoner, d.v.s. stjerner med en masse mindre enn $\sim 10\%$ av solens masse.

Eksistensen av større mengder av disse substellare objekt, "brune dverger", er omdiskutert. Hvis universets mørke materie utgjøres av "brune dverger" er det å vente at en ny astronomisk instrumentering, for eks. det i april i år utsendte "Hubble Space Telescope", vil kunne detektere store mengder av disse.

En annen gruppe kandidater er stjerner med masser større enn ca. 2 ganger solens masse. Disse gjennomløper en utvikling hvor de på et bestemt tidspunkt kaster av seg et skall av materie, hvorved reststjernen blir en hvit dverg, nøytronstjerne eller sort hull. Beregninger viser at denne mekanismen ville føre til at minst 40% av massen av haloene måtte stamme fra disse emmisjonene. Dette ville imidlertid resultere i en langt større konsentrasjon av metaller og tyngre element i den interstellare gass enn man observerer.

Uavhengig av inflasjonsmodellen finnes derfor tungtveiende argumenter i favør av at den mørke materie er av ikke-baryonisk natur.

Ikke–baryonisk mørk materie

Moderne elementærpartikkelfysikk kan presentere et helt spektrum av hypotetiske partikler av ikke- baryonisk natur som kandidater for mørk materie. Ved en diskusjon av disse er det nødvendig å understreke at en av de viktigste virkninger av mørk materie i universet er at den må henge intimt sammen med mekanismen for dannelse av gigantstrukturer som galakser og galaksehoper. Man antar at i Big Bang-prosessen vil den mørke materien ha utkrystallisert seg til enorme massestrukturer meget hurtigere enn vanlig materie, og at disse store konsentrasjoner av mørk materie vil ha tiltrukket vanlig materie og formet de synlige galakser og galaksehoper. Disse siste strukturer blir da nærmest som skum på bølgetoppene i et universelt osean av mørk materie.

Videre må disse partikkeltypene diskuteres i sammenheng med termodynamiske forhold under utviklingen av Big Bang-prosessen. Efter standard-modellen for denne dissosierte den elektromagnetiske og den svake vekselvirkningen seg ut fra den elektrosvake efter ca. 10^{-12} s. Efter ca. 10^{-6} s var universet avkjølt tilstrekkelig til at kvarker kunne kombinere og danne nøytroner og protoner. I de følgende $\sim 500\,000$ år var materie og elektromagnetisk stråling i så sterk vekselvirkning at universet var helt ugjennomsiktig. Ved slutten av denne epoke ble materie og elektromagnetisk stråling koblet fra hverandre, og universet ble transparent. Stråling kunne strømme relativt uhindret gjennom universet uten å vekselvirke vesentlig med materie, og fluktuasjonene i massetettheten ble ikke lenger så intimt koblet sammen med variasjonene i tettheten av den elektromagnetiske stråling.

Hvis man antar at den mørke materien er av ikke-baryonisk natur regner kosmologer med to hovedtyper av kandidater. Disse betegnes som henholdsvis "varm" og "kald" mørk materie.

"Varm" ikke–baryonisk mørk materie

"Varm" mørk materie refererer seg til partikler som var relativistiske og i termodynamisk likevekt med resten av universet da baryonmaterie ble dannet. Den partikkel som prefereres av kosmologer er en lett, massiv nøytrino med masse < 30 eV. Nøytrinoet har bl.a. den fordel at man vet at den eksisterer, selv om det ennu er et åpent spørsmål om den har en masse. Nøytrinoer med masse < 30 eV ville ha forblitt relativistiske inntil temperaturen i universet hadde falt til en verdi av størrelsesorden som nøytrinoenes egen masse. Det viktigste argument mot denne form for nøytrinostråling er at den ville strømme tilnærmet fritt gjennom universet, og det er vanskelig å forstå hvorledes denne form for mørk materie kunne generere tetthetsfluktuasjoner som kunne føre til individuelle galakser. - Videre har numeriske studier vist at heller ikke de gigantiske boble-, hulrom-, og filamentstrukturer som er beskrevet ovenfor kan frembringes av relativistiske nøytrinoer. "Varm" ikke-baryonisk mørk materie har derfor for tiden ingen høy status blant kosmologer.

"Kald" ikke–baryonisk mørk materie

Med kald ikke-baryonisk mørk materie mener man ikke- relativistiske partikler produsert i Big Bang-prosessen før kvarkene kombinerte til baryoner. Da disse partikler beveger seg langsomt kan de klumpe seg sammen mye lettere enn den varme mørke materien. Kald ikke-baryonisk mørk materie representerer derfor favoriserte kandidater for modeller som bygger på at individuelle galakser dannes først ut fra tetthetsfluktuasjoner, og at disse igjen senere klumper seg sammen til hoper og superhoper. Numeriske beregninger har vist at denne modell faktisk kan reprodusere visse karakteristiske trekk ved den ovenfor beskrevne boble- og hulromstruktur, selv om man må gjøre oppmerksom på at i løpet av den aller siste tid har denne teori blitt møtt med en viss skepsis.

Dette skyldes i første rekke oppdagelsen av den tidligere nevnte gigantiske struktur "The great Wall". Det er vanskelig å forstå hvorledes mørk materie, eller gjensidig tiltrekning mellom galakser, kan danne koherente strukturer med dimensjoner av størrelsesordener milliarder av lysår.

Den mest naturlige kandidat for kalde partikler ville være en nøytrino med masse > 3 GeV. Eksistensen av en slik partikkel er imidlertid dårlig motivert fra en partikkelfysikers synspunkt. Det vil for eks. være vanskelig å forstå en så vidt stor massesplitting relativt til de tre kjente nøytrinotyper.

"Aksionet" har lenge vært en "klassisk" kold mørk materie- kandidat. Bakgrunnen for å postulere eksistensen av denne partikkel er følgende: Konservering av pariteten P i en reaksjon er uttrykk for speil-invariansen av prosessen. Ladningskonjugasjonsinvarians C er uttrykk for en reaksjonssymmetri under transformasjonen partikkel-antipartikkel. Teorien for den sterke vekselvirkningen mellom kvarker, kvantekromodynamikken, er antatt å være til en meget høy grad invariant under den kombinerte transformasjon CP. Dette er til en viss grad overraskende, da de likninger som beskriver den sterke vekselvirkningen inneholder flere ledd som i prinsippet meget vel kunne bryte denne invarians. I 1977 foreslo Peccei og Quinn[11] en modell for å forklare hvorfor denne kombinasjon av symmetrier var konservert i så høy grad. Deres løsning var å innføre et nytt symmetriprinsipp som impliserte en relasjon mellom en rekke av de fundamentale vekselvirkninger, og som var manifestert ved høye energier, men brutt ved lavere. Dette symmetribrudd ble senere funnet av Wilczek[12] og Weinberg[13] å måtte føre til eksistensen av en ny partikkel, aksionet. En videre utvikling av disse idéer ledet til forestilinger om et "bakgrunnsfelt" av aksioner i universet. Selv om aksionet er antatt å være meget lett, av størrelsesorden 10^{-5} – 10^{-2} eV, viser numeriske beregninger at dette bakgrunnsfeltet kan "utkrystallisere" store strukturer på samme måte som tyngre, ikke-relativistiske partikler. Aksionet skulle derfor være en idéell kandidat for kald mørk materie.

En virkelig flora av nye eksotiske partikler er postulert på basis av de siste års teorier om supersymmetri, som forsøker å forene gravitasjon med de sterke og elektrosvake vekselvirkninger. I en nylig publisert artikkel om partikkelfysikk og kosmologi nevnes i alt 36 forskjellige navn på hypotetiske partikler. En av de grunnleggende trekk ved modeller i supersymmetri er idéen om at det i naturen er en fundamental symmetri mellom fermioner og bosoner, og at det til ethvert fermion korresponderer et tilsvarende supersymmetrisk boson - og vise versa. De går under navn som fotino, snøytrino, higgsino, gravitino o.s.v. En felles betegnelse for disse antagelig svakt vekselvirkende partikler er WIMP (weakly interacting massive particles).[14,15]

En WIMP partikkel med betegnelsen "kosmionet" er for eks. foreslått for å løse solens nøytrinoproblem[16]. Dette består som bekjent i at man har funnet at solen emmitterer et betydelig mindre antall nøytrinoer enn man skulle vente ut fra standard modellene for de termonukleære reak sjonene i solens indre. Kosmionet er tenkt som en form for kald mørk ma terie som ved gravitasjon trekkes inn og lagres i sol ens kjerne. Kosmionet skulle derved bli elastisk spredt på de partikler som deltar i de termonukleære reaksjonene i solen. Disse får derved en lavere gjennomsnittlig kinetisk energi, og resultatet vil bli en avkjøling av solkjernen. Dette har den virkning at reaksjonene vil gå langsommere, og føre til en redusert produk sjon av nøytrinoer.

Ved siden av disse hypotetiske WIMP-partikler har man foreslått en rekke kandidater for mørk materie av en ennu mer spekulativ karakter. Disse omfatter bl.a. objekt som i lengre tid har vært diskutert av fysikere, som magnetiske monopoler, mini sorte hull, kosmiske strenger, nukleariter[17] (klumper av kvark materie) etc. - I tillegg kommer fantasier over "skygge materie"[18] og lignende fenomen som klart ligger "outside our present philosophy".

Det er å understreke at ennu har intet akseleratorbasert eksperiment sett det minste tegn til disse meget eksotiske former for materie.

Eksperimenter for deteksjon av mørk materie

I løpet av de siste år har det vært en sterkt økende interesse for å sette opp eksperimenter med det formål å direkte registrere mørk materie, basert på den hypotesen at denne består av nye, ukjente former for partikler.[19,20]

Hvis man begrenser seg til en halo av ikke-baryonisk mørk materie i vårt eget galaktiske system kan man estimere denne til å ha en partikkeltetthet på $n \sim 0{,}3\ M_x^{-1}\ cm^{-3}$, hvor M_x er massen av partikkelen i GeV. Hvis man videre antar at den mørke materien ikke deltar nevneverdig i galaksenes rotasjon skulle jorden ha en relativ hastighet av størrelsesorden 300 km s^{-1} i forhold til partiklene i den mørke materien. Disse forhold skulle føre til en såvidt betydelig fluks av partikler at det ville være mulig å registrere dem eksperimentelt.

En av hovedvanskelighetene ved en deteksjon av mørk materie er selvfølgelig at man ikke kjenner deres masse, og heller ikke deres form for vekselvirkning med vanlig materie. Det er rimelig å anta at både annihilasjoner og elastiske kollisjoner vil være aktuelt.

Hvis den elastiske spredning skjer på atomkjerner i terrestrisk materie skulle man, på grunn av den antatte relativt lave hastiget, vente rekylenergier opp til maksimum noen få KeV. Derfor vil det være aktuelt å benytte detektorer med lav energiterskel og lav bakgrunnstøy. De detektorene som er utviklet eller under planleggelse for å oppdage WIMP-partikler faller vesentlig i to kategorier:

1. Konvensjonelle ionisasjonsdetektorer.

2. Kryogeniske detektorer, (bolometer).

Den første detektortypen forsøker å måle energikvanta som strekker seg fra noen få eV (elektron hull-par i halvledere) til ca. 10 eV (elektronionepar i gassdetektorer). - Den andre kategori av detektorer har forskjellige utforminger. En type er for eks. konstruert for å måle de uhyre svake temperaturøkninger som oppstår i et medium ved de lydbølger (fononer) som blir produset i kollisjoner mellom innfallende mørk materie og detektormediet. Denne siste detektortype har derfor en betydelig lavere terskelverdi og større energioppløsning. Fra et meget bredt spektrum av utførte og planlagte eksperiment for deteksjon av mørk materie vil vi velge ut et par til illustrasjon av noen metoder.

Eksperimentell påvisning av aksioner

Akseleratoreksperiment
har ikke lykkes i å registrere aksioner med masse > 200 keV. På den annen side gir astrofysiske argumenter at eventuelle aksioner med masse < 10^{-5} eV ville bli produsert i så store mengder i det tidlige univers at de ville gjøre $\Omega >> 1$ og "overlukke" universet. Videre fører en rekke betraktninger over stjerneutvikling og supernovaen SN1987 til at man må utelukke aksioner i masseintervallet 10^{-3} - 10^{5} eV. Man har derfor startet en rekke eksperimenter for å lete efter aksioner i masseintervallet 10^{-5} - 10^{-3} eV.

Sikivie[21] var den første til å peke på at galaktiske aksioner, selv om de vekselvirker uhyre svakt med materie, skulle kunne registreres i mikrobølgekaviteter, d.v.s. hulrom hvor elektromagnetisk stråling med mikrobølgefrekvenser utfører resonanssvingninger. Et bakgrunnsfelt av oscillerende aksioner vil produsere elektromagnetisk stråling som i prinsippet skulle kunne registreres eksperimentelt. Eksperimenter er utført basert på det prinsipp at et aksions hvilemasse i sin helhet skulle kunne bli konvertert til et foton ved vekselvirkning med et sterkt magnetisk felt. - Idéen kommer fra en betraktning av diagrammene i fig.5a og 5b. Koblingen er antatt å være ekstremt svak, slik at levetiden av aksionet skulle bli meget lang, > 10^{40} år.

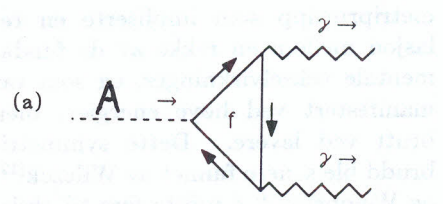


Fig.5a. Kobling av et aksion A via fermioner til to fotoner.

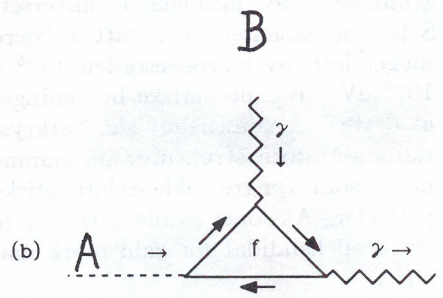


Fig.5b. Desintegrasjon av et aksion A til et fritt foton ved at en av fotonene i 5(a) erstattes ved et virtuelt foton fra et ytre statisk magnetisk felt B.

Metoden til å bruke diagrammet i fig.5a til deteksjon av aksioner er basert på at en av fotonlinjene skaffes tilveie som et virtuelt foton fra et ytre magnetisk felt, fig.5b. Diagrammet fig.5b representerer derfor desintegrasjon av et aksion til et fritt foton. Signalet fra desintegrasjonen skulle kunne bli ytterligere forsterket hvis det foregår inne i en mikrobølgekavitet plassert i det magnetiske feltet.

Da hastighetene i forhold til jorden av aksioner i haloen i vår Melkevei er antatt å være av størrelsesorden som for andre galaktiske objekt, d.v.s. ~ 10^{-3} c, vil man måtte vente en meget liten spredning i energispektret av aksionene. En beregning gir $\Gamma_{aksion} \sim 3 \cdot 10^{-7}$ M_a, hvor M_a er massen av aksionet. Signalet for et galaktisk aksion vil derfor være et meget skarpt, smalt frekvenssignal. Det er denne form av energispektret som skulle kunne gjøre deteksjonen mulig.

Tre amerikanske laboratorier, University of Rochester, Fermilab og Brookhaven National Laboratory har sammen under utførelse et eksperiment basert på de idéer som er skissert ovenfor [22,23]. Prinsippet for apparaturen er som angitt i fig.6.

I eksperimentet benyttes en supraledende magnet på 8,7 Tesla med et hulrom av lengde 40 cm og diameter 15 cm. I hullet er plassert en kobbersylinder som virker som en mikrobølgekavitet. Hele apparaturen er senket ned i flytende helium med temperatur ~ 4 K for å redusere den termiske støyen. Avstemningen av mikrobølge kaviteten ble utført ved hjelp av en dielektrisk stav av safir plassert langs aksen av kobbersylinderen, hvorved kavitetens reso nansfrekvens kunne bli variert kontinuerlig ved å trekke staven ut eller inn ved hjelp av en motor. - Mikrobølgesignalet ble ledet ut av kaviteten ved hjelp av en antenne, og via forsterkere koblet til datasystemet.

De to viktigste støykildene i eksperimentet er termisk støy fra kaviteten og støy i det elektroniske detektorsystemet. Denne bakgrunn

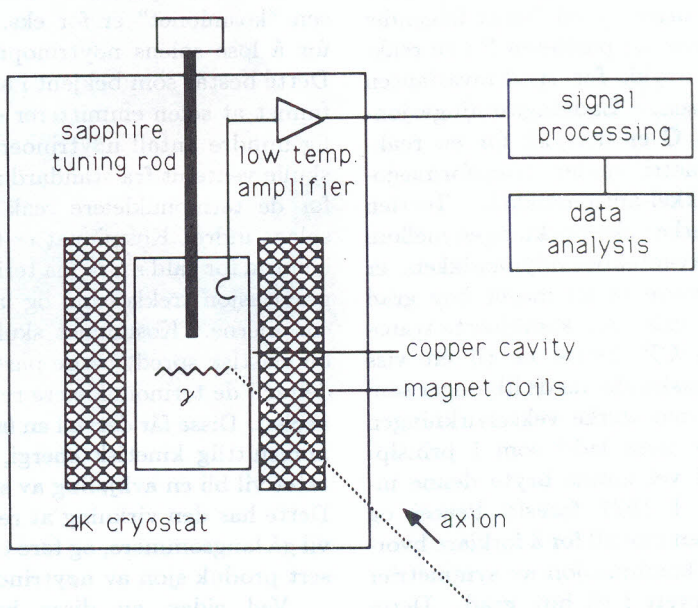


Fig.6. Skjematisk fremstilling av et eksperiment for aksion deteksjon basert på prosessen fig. 5(b).

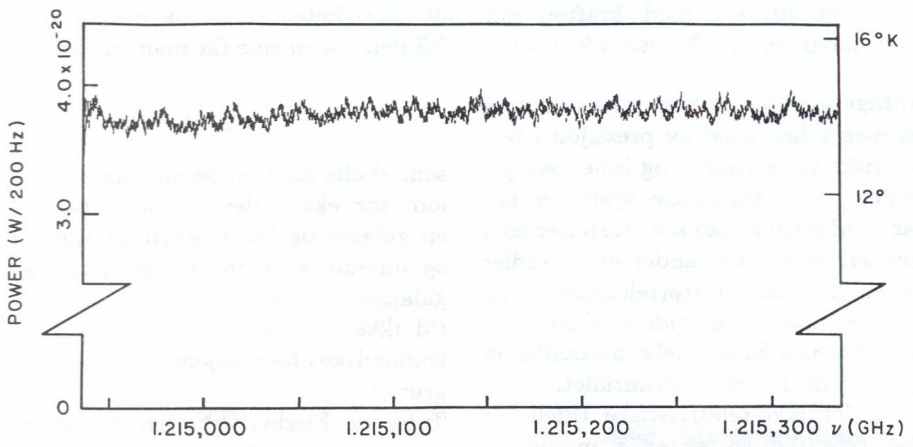


Fig.7. Mikrobølgespektrum fra eksperimentet i fig.6 over et område på 400 kHz med en oppløsning på 200 Hz.

representerer en støy som er betydelig større enn den ventede signalstyrke, og disse forhold gjør det derfor nødvendig med midling over meget store datamengder. Et typisk mikrobølgespektrum fra kaviteten er vist i fig.7. Hittil har intet signifikant "aksionsignal" blitt registrert. Man må på den annen side understreke at følsomheten og oppløsningsevnen for denne type av aksiondetektor er på grensen av hva moderne teknologi kan yte.

H. Olsen[24] har diskutert mulighetene for produksjon av aksioner i kollisjoner mellom elektroner og atomer, ("aksion bremsstrahlung"). En signatur for identifikasjon av aksioner er at for en tynn target skulle man vente energispektret av aksionene sterkt kollimert nær den øvre enden av spektret. Han har bl.a. skissert et "beam-dump"-eksperiment med 130 MeV elektroner på en Pb-target som i prinsippet skulle kunne detektere aksioner.

Eksperimentell påvisning av WIMP

Tatt i betraktning av at man hittil ikke har sett tegn til WIMP i akseleratorproduserte eksperiment synes det rimelig å anta at disse partikler er å finne i masseområdet > 1 GeV. Den viktigste reaksjon som disse hypotetiske partikler vil ha med terrestrisk materie er antagelig elastisk spredning på target - og detektormaterialets atomkjerner.

Enkle kinematiske betraktninger gir at elastiske kollisjoner av mørk materie-partikler med masse M_x GeV vil produsere et kjernerekylspektrum med kinetisk energier opp til ca. 10^{-6} M_x GeV.Det betyr at for partikler med masser ned til ~ 1 GeV vil det bli nødvendig å måle rekylenergier ned til ~ 1 keV. I dette energiområdet vil imidlertid bare en liten brøkdel av energien bli konvertert til ionisasjon. Hoveddelen vil gå til gittersvingninger i materialet (fononer). Disse fononer skulle i prinsippet kunne bli observert, enten direkte som lydbølger, eller efter at de har resultert i en temperaturimpuls i materialet. En rekke detektorer for mørk materie er basert på disse idéer. Et problem som er felles for disse er å skille ut prosesser forårsaket av nye, ukjente partikler fra bakgrunnsreaksjoner utløst av innfallende fotoner og nøytroner. Det er en rekke karakteristiske "signaturer" som kan benyttes for å selektere ut mørk materie-partikkelprosesser fra elastisk spredning av andre, kjente partikler på targetmaterialets atomkjerner. Bl.a. vil reaksjonshyppigheten og rekylspektrenes form variere på en karakteristisk måte med targets natur.

Den sikreste og mest entydige signatur vil antagelig være å registrere en årlig variasjon i rekylspektrenes form. Det er rimelig å anta at den mørke materien i haloen av vårt Melkeveisystem ikke har kontraktert i samme grad som den lysende materien. Den vil derfor ikke delta nevneverdig i den galaktiske rotasjon. Hastigheten av jorden i forhold til mørk materiepartikler i haloen vil derfor sette seg sammen av den kombinerte bevegelse av jorden omkring solen (30 km s^{-1}) og solens sirkulasjon i Melkeveisystemet (~ 220 km s^{-1}). På grunn av at jordens baneplan, ekliptikken, danner en vinkel på ~ 60° med det galaktiske plan, vil ca. halvparten av jordens hastighet bli addert (subtrahert) fra solens hastighet om sommeren (vinteren). Den resulterende årlige variasjon vil føre til at energioverføringen til target materialet vil variere med ± 4,5% og antall registrerte prosesser med ± 2,5%. For å kunne produsere en effekt med 3 standard-avvik vil det kreves ca. 4000 reaksjoner. Det vil derfor være nødvendig med relativt massive detektorer, av størrelsesorden ~ 10 kg, for entydig å kunne registrere mørk materie partikler i løpet av et par år.

Vi skal skissere et eksperiment som benytter en detektor basert på supraledende materiale. Den opprinnelige idéen til denne detektor stammer fra en gruppe i Orsay i Paris som foreslo å bruke en type supraledende, mikroskopiske kuler utviklet av Feder og medarbeidere[25]. Prinsippet for denne teknikk til å forsøke å påvise mørk materie er angitt i fig. 8, og går under betegnelsen SSCD (superheated superconducting colloid detectors)[26].

Detektoren består av et gitter av mikroskopiske (5-10μ diameter) supraledende kuler av tinn fordelt i et dielektrisk medium som for eks. parafin. Hele detektoren er plassert i et magnetisk felt som ikke kan trenge inn i de supraledende kulene (Meissnereffekt). Temperaturen

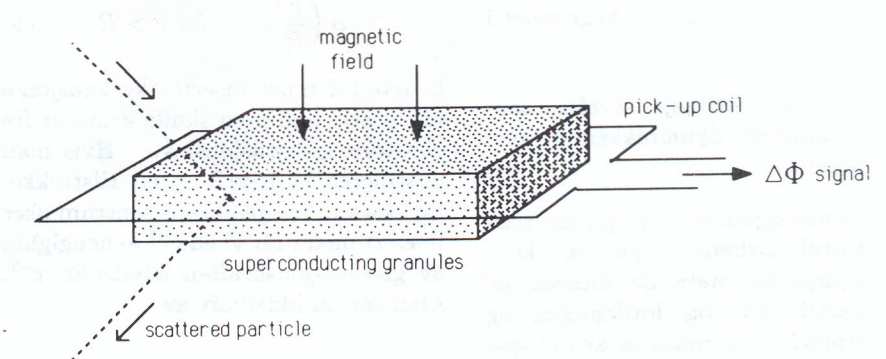


Fig.8. Skjematisk fremstilling av et eksperiment for WIMP deteksjon basert på måling av kjernerekyler med supraledende mikroskopiske kuler.

og det magnetiske feltet er justert i forhold til hverandre slik at kulene er i en metastabil, supraledende tilstand. Hvis en reaksjon finner sted i en av kulene, for eks. en elastisk spredning med efterfølgende rekyl av en targetkjerne, vil den resulterende temperaturøkningen kunne være tilstrekkelig til å bringe kulen over i en ikke-supraledende tilstand. Det magnetiske feltet vil derved kunne trenge inn i kulen, og den resulterende variasjon i den magnetiske fluks kan bli registrert i en ledning plassert rundt detektoren. I en parafinblokk på ~ 10 cm^3 kan man detektere overganger i individuelle kuler. Ved å sette sammen rekker av slike moduler kan man bygge opp større masser av targetmateriale. - Signatur på at en mørk materiepartikkel har truffet er at bare en enkelt kule vil "flippe", mens en bakgrunn av radioaktiv stråling vil føre til overgangen i en serie kuler.

Mørk materie og en modifisert Newtonsk dynamikk

Et av de mest radikale forsøk på å løse problemet med mørk materie er å anta at det ikke er noe "manglende masse" i det hele tatt, men at løsningen ligger i en modifikasjon av fysikkens naturlover, spesielt når det gjelder små akselerasjoner og avstander av størrelsesordenen som galaktiske system, d.v.s. $\sim$ 10 000 lysår. En av de fremste advokater for dette syn er M. Milgrom ved Weizmann Instituttet i Israel, som i en rekke arbeider i begynnelsen av 1980-årene utviklet modeller for galakser og systemer av galakser ut fra en forandring av mekanikkens grunnlover.[27,28]

Alle beregninger av dynamiske masser i galakser og galaksegrupper er basert på ligning (2) og (3). Disse relasjoner er hovedsakelig begrunnet i tre antagelser:

a) Det er gravitasjonskrefter som dominerer dynamikken i systemene.

b) Gravitasjonskraften på en partikkel avhenger på en konvensjonell måte av massen av partikkelen og fordelingen og størrelsen av massene av det system som produserer kraften.

c) Akselerasjonen av et legeme varierer lineært med kraften det påvirkes av, (Newtons 2. lov).

Antagelsene a) - c) er verifisert med en meget høy grad av presisjon i terrestriske eksperiment og innen solsystemet. For galaktiske systemer antar imidlertid fysikalske størrelser som masser, spinn, avstander etc. verdier av en helt annen størrelsesorden, og det er ikke uten videre sikkert at den Newton-Einsteinske mekanikk er gyldig i dette erfaringsområdet.

I det ikke-relativistiske tilfelle er det vesentlig to måter å modifisere Newtons dynamikk på. Det ene er å forandre den venstre side av ligning (2), det vil i første rekke si å modifisere gravitasjonskraftens avhengighet av avstanden r. Det annet er å forandre selve treghetsloven, d.v.s. høyre side av ligning (2). Milgrom har forsøkt begge alternativene og studert hvilke antagelser som må gjøres for å reprodusere en hastighetfordeling for spiraltåker som er uavhengig av avstanden r fra galaksens sentrum.

Det mest nærliggende synes å være å modifisere Newtons gravitasjonslov og beholde treghetsloven intakt. Milgrom tenker seg en gravitasjonslov av følgende form:

$$G\frac{mM}{r^2}\alpha\left(\frac{r}{R}\right) = ma \qquad (7)$$

hvor R er en lengde av dimensjon av størrelse på en galakse, d.v.s. $\sim$ 10 000 lysår. Videre antar Milgrom grensetilfellene

$$\alpha\left(\frac{r}{R}\right) \sim 1 \text{ for } r << R \qquad (8)$$

hvorved Newtons gravitasjonslov blir en god approksimasjon for mindre avstander, og

$$\alpha\left(\frac{r}{R}\right) > 1 \text{ for } r > R \qquad (9)$$

hvorved den produserte akselerasjon a blir større enn man skulle vente ut fra Newtons gravitasjonslov. - Hvis man postulerer at α(r/R) i en tilstrekkelig avstand fra galaksens sentrum øker lineært med r får vi en r^{-1} avhengighet av gravitasjonskraften istedenfor r^{-2}. Man ser umiddelbart av

$$m\frac{v^2}{r} = G\frac{mM}{r} \qquad (10)$$

at hastigheten v blir uavhengig av r. På den annen side får man en relasjon

$$M \sim v^2 \qquad (11)$$

som skulle angi en sammenheng mellom for eks. den totale masse av en galakse og hastigheten av stjerner og interstellar materie i periferien av galaksen. Relasjonen (11) er imidlertid ikke i overensstemmelse med astronomiske observasjoner - av følgende grunn:
Tully og Fischer[29,30] har funnet en sammenheng mellom en galakses samlede lysstyrke L og hastigheten v av hydrogenskyer i periferien av galaksen ved å måle Dopplereffekten av 21 cm linjen. De finner en relasjon:

$$L \sim v^s \text{ med } 2,5 < s < 5,0 \qquad (12)$$

På den annen side er Milgroms teori basert på at det ikke finnes noe mørk materie av betydning, og at derfor L av en galakse med god approksimasjon er et mål for massen M av galaksen. Tully- Fischer relasjonen (12) er derfor i uoverensstemmelse med (11), og følgelig i disfavør av den modifikasjon av Newtons gravitasjonslov som er angitt i ligning (10).

Det annet alternativ er å beholde Newtons gravitasjonslov, men å forandre Newtons 2. lov, treghetsloven, d.v.s. den form som akselerasjon inngår på i de dynamiske grunnligninger. Milgrom har foreslått å erstatte det Newtonske uttrykket ma med:

$$ma\beta\left(\frac{a}{a_0}\right) \qquad (13)$$

hvor a_0 er en konstant med dimensjon akselerasjon som Milgrom beregner ligger i området $\sim 5 \cdot 10^{-8}$ cm s^{-2}. Videre antar han grensetilfellene:

$$\beta\left(\frac{a}{a_0}\right) \sim 1 \text{ for } a >> a_0 \qquad (14)$$

hvorved man får det Newtonske uttrykket ved store akselerasjoner. Videre antar Milgrom

$$\beta\left(\frac{a}{a_0}\right) \sim \frac{a}{a_0} \text{ for } a << a_0 \qquad (15)$$

For små akselerasjoner skulle derfor ligning (2) bli forandret til:

$$m\frac{a^2}{a_0} = \frac{m}{a_0}\left(\frac{v^2}{r}\right)^2 = G\frac{mM}{r^2} \qquad (16)$$

Man får igjen en hastighetskurve som ikke avhenger av v, og videre en relasjon:

$$M \sim v^4 \qquad (17)$$

som ikke direkte er i konflikt med Tully-Fischer relasjonen (12).

Det ville være et understatement å hevde at Milgroms idéer er mottatt med en viss skepsis. Mulighetene for at Newtons og Einsteins gravitasjonslover er feil er jo ikke akkurat det letteste å akseptere. I de første årene efter at Milgrom hadde publisert sine arbeider var derfor hans teorier nærmest tabu i det vitenskapelige establishment. I løpet av de siste årene har imidlertid hans synspunkter blitt funnet verdige til å diskuteres, og man har pekt på en rekke svake punkter i hans idéer. En åpenbar vanskelighet er for eks. følgende:
Milgroms hypoteser forutsier en langsommere avtagning av gravitasjonskraften over store avstander enn Newtons og Einsteins teorier. Med andre ord: tiltrekningen mellom galaksene skulle være større enn man måtte vente efter standard teoriene. Ekspansjonen av universet skulle derfor bli stoppet for massetettheter meget mindre enn den kritiske ρ_K. Dette er imidlertid ikke i overensstemmelse med observasjonene.

En annen innvending mot Milgroms idéer er at Einsteins gravitasjonslov er basert på de fundamentale og dyptgripende prinsipper som er inneholdt i den generelle relativitetsteorien, mens Milgroms modifikasjon av mekanikkens naturlover mer har karakteren av en ad hoc operasjon.

Konklusjon

I løpet av de siste årene har et helt nytt, spennende felt blitt åpnet innen de eksakte naturvitenskaper - "partikkel astrofysikk". Et stadig økende antall av vitenskapelige konferanser og publikasjoner demonstrerer at feltet er i rivende utvikling. Et av de mest sentrale problem innen denne nye disiplin er fenomenet mørk materie. Det synes å være liten tvil om at det eksisterer betydelige mengder av "ikke lysende" materie i universet, men hvor meget, og i hvilken form, er ennu et åpent spørsmål. Denne situasjon inspirerer selvfølgelig til å starte opp meget spekulative og dristige eksperimenter, for eks. med det formål å detektere terrestrisk mørk materie. Man kan godt formulere forholdene litt humoristisk og si at det ville være gunstig om flere fysikere engasjerte seg i "ikke-resultat orientert forskning". Sjansene for å finne noe innen det ovenfor beskrevne felt er minimale, men belønningen ved en en eventuell suksess ville være enorm.

Det mest interessante ved denne problematikk er at den klart demonstrerer hvor langt man ennu er fra en tilfredsstillende beskrivelse av den materielle verden omkring oss - som om vi ennu bare har skrapt litt på overflaten. Det er som om Isaac Newton har antesipert mørk materie når han ved slutten av sitt liv uttaler de vakre ord: "Jeg vet ikke hva verden synes om meg, men selv føler jeg meg som en liten gutt som har lekt ved havstranden og moret meg med av og til å ha plukket opp en pen sten eller et vakkert sneglehus - mens sannhetens store osean lå uutforsket foran meg."

Referanser

1. M. Geller og J. Huchra, Science, **246** 897 (1989)
2. J. Oort, Bull. Astron. Inst. Neth., **6** 249 (1932)
3. V. Rubin, Science, **220** 1339 (1983)
4. B. Carney, Publ. Astron. Soc. Pac., **96** 841 (1984)
5. J. Ostriker, J. Peebles og A. Yahil, Astrophys. J. Lett., **193** LI (1974)
6. G. Burbidge, Astrophys. J. Lett., **196** L7 (1975)
7. G. Byrd og M. Valtonen, Astrophys. J., **289** 535 (1985)
8. D. Kazanas, Astrophys. J., **241** L59 (1980)
9. A. Guth, Phys. Rev. D, **23** 347 (1981)
10. A. Starobinski, Phys. Lett., **91B** 99 (1980)
11. R. Peccei og H. Quinn, Phys. Rev. Lett., **38** 1440 (1977)
12. F. Wilczek, Phys. Rev. Lett., **40** 279 (1978)
13. S. Weinberg, Phys. Rev. Lett., **40** 223 (1978)
14. V. Trimble, Ann. Rev. Astron. Astrophys., **25** 425 (1987)
15. K. Tucker og W. Tucker, *The Dark Matter*, W. Morrow and Co, Inc., New York (1988)
16. W. Press og D. Spergel, Astrophys. J., **296** 679 (1985)
17. E. Witten, Phys. Rev. D, **30** 272 (1984)
18. E. Kolb, D. Seckel og M. Turner, Nature, **314** 415 (1985)
19. J. Primack og D. Seckel, Ann. Rev. Nucl. Part. Sci., **38** 751 (1988)
20. P. Smith og J. Lewin, Physics Rep., **187** 203 (1990)
21. P. Sikivie, Phys. Rev. Lett., **51** 1415 (1983)
22. S. DePanfilis et al, Phys. Rev. Lett., **59** 839 (1987)
23. B. Moskowitz, Nucl. Instr. and Meth., **A264** 98 (1988)
24. H. Olsen, Phys. Rev. D, **36** 959 (1987)
25. J. Feder, S. Kiser og F. Rothwarf, Phys. Rev. Lett., **17** 87 (1966)
26. A. Drukier, K. Freese og D. Spergel, Phys. Rev.D, **30** 2295 (1984)
27. M. Milgrom, Astrophys. J., **270** 365 (1983)
28. M. Milgrom, *Dark Matter in the Universe*, Jerusalem Winter School for Theoretical Physics, Vol. **4** 231 (1987)
29. R. Tully og J. Fischer, Astr. Ap., **54** 661 (1977)
30. R. Tully et al, Astr. Ap., **63** 37 (1978)

Studer
FYSIKK

VIRKNING AV LAVE STRÅLEDOSER

Olav Steinsvoll *

Artiklen inneholder først et referat av et foredrag professor Z. Jaworowski holdt på IFE, Kjeller om emnet, og deretter en del betraktninger og tilleggsfakta av referenten.

Professor Jaworowski er medisiner (radiolog), og har vært polsk representant i De Forente Nasjoners UNSCEAR organisasjon siden 1973. Dette er en FN avdeling som ble opprettet i 1955 og som rapporterer direkte til FNs hovedforsamling. Den har til oppgave å samle inn og vurdere data vedrørende virkning av ioniserende stråling på mennesker. De er blitt pålagt å rapportere utviklingen av vår kunnskap på dette området hvert 3. til 4. år. Det er kommet flere store og utførlige rapporter fra dette organet det siste tiåret bl. a. [1,2]. Innholdet i foredraget gikk ut på å forklare hvordan UNSCEAR nå prøver å legge om sine råd og retningslinjer når det gjelder virkning av lave stråledoser. Dette vil få stor betydning når det gjelder strålehygieniske betraktninger og utregninger av stråleeffekter på store befolkningsgrupper.

Massemedia og ioniserende stråling

Anbefalingene fra UNSCEAR er blitt godtatt av ICRP, IAEA, WHO og andre internasjonale organisasjoner. Dette har igjen ført til at de automatisk også er blitt retningsgivende for nasjonale strålings- og sikkerhetskomiteer og derved er blitt videreført gjennom massemedia til det brede publikum. Men massemedias behandling av saken har tydeligvis hatt sine svake sider fordi den alminnelige manns syn på og opplevelse av strålingsrisiko etterhvert kan karakteriseres som en slags "strålingsfobi".

Det hele utgjør et stort paradoks. Verden over har vi et utmerket nivå når det gjelder å oppdage stråling, skjerme mot stråling og utmerket kunnskap om strålevirkninger, men nettopp dette har ført til publikums frykt. Det brukes hvert år en masse penger på strålingsundersøkelser av mange slag. Ved et titalls store forskingsinstitutter studeres virkning av stråling på alle nivåer, og kunnskapen om virkningene overgår langt det vi vet om andre giftige og livsfarlige stoffer.

Det fins flere hundre strålingsmonitor-stasjoner rundt om i verden som står i samband med hverandre i et nettverk. En hjelpe-og beskyttelsestjeneste står klar til utrykning. Den overgår i omfang alle overvåkings- og hjelpeordninger som gjelder andre farlige stoffer. Følsomheten til monitorer for radioaktivitet og ioniserende stråling er mange millioner ganger bedre enn for andre helsefarlige stoffer. Utblåsingen av gift fra fabrikken i Bhopal ble ikke målt eller ettersport i andre land enn i India der ulykken fant sted, selv om giftstoffene sirkulerte jorda rundt i luftmassene på samme måte som etter Tsjernobylulykken. I Bhopal døde flere tusen i katastrofen, og flere hundre tusen lider ennå av de giftdosene de fikk. Ingen vet lang-tidsvirkningene av disse dosene.

På grunn av alle forholdsreglene som er truffet, konkluderer folk at ioniserende stråling må være noe svært farlig. Det er på tide at vi får en mer nøktern innstilling til dette.

Strålefobien

Radiofobiene er utløst av kjennskapen til de fryktelige virkningene av bombene i Hiroshima og Nagasaki, bildene fra prøvesprengningene ved Bikini-atollen, militærdoktrinene for krig med kjernevåpen, frykten for det ukjente, aversjon mot stoffer "som ikke er naturlige", osv.

Nå er det også slik at enhver lekkasje fra et kjernekraftanlegg påkaller krigsoverskrifter i aviser, selv om det gjelder de ikke-nukleære installasjonene, som f.eks. varmevekslere, turbiner eller transformatorer.

Reaksjonene etter Tsjernobylulykken må i ettertid karakteriseres som hysteriske. Allerede 29 april 1986 rapporterte Luther Whitington (UPI) fra Kiev at 2000 mennesker var drept momentant i ulykken og at flere titusen var såret.

I mai samme år rapporterte tidsskriftet The National Inquirer (USA) om kyllinger i Tsjernobylområdet som var "6 ft tall", med bilde ! Liknende rapporter er fra tid til annen kommet i seriøse aviser inntil nylig. I Aftenposten i april 1990 ble det vist bilder av barn født med ulike misdannelser, slik som hareskår, åpen gane, Wilms barnekreftform og en gutt uten øyne. Ifølge avisen var dette misdannelser som sikkert skyldtes Tsjernobylulykken. Ifølge teksten var dette barn fra Moghilev-området.

En kan komme med flere kommentarer til en slik "avisand": Moghilev ligger langt utenfor de rapporterte nedslagsområdene for Tsjernobyl- nedfallet. Dessuten er dette vanlig forekommende misdannelser, kjent over hele verden fra uminnelige tider. Det fins derfor en svært god statistikk for forekomsten av dem:

- 0,003 % er født blinde
- 0,05 % utvikler Wilms barnekreftform
- 0,15 % er født med åpen gane
- 2,9 % utvikler muskel- og skjelettsykdommer etter fødselen

Stråledoser fra naturlige kilder sammenliknet med Tsjernobyldosene.

Vi lever under en stadig påvirkning av ioniserende stråling, fra verdensrommet, fra jordbunnen vi lever på, fra veggene i husene våre, fra radioaktivt kalium i kroppen vår, legenes og tannlegenes røntgenundersøkelser osv. Stråledosene påført menneskeslekta verden over fra ioniserende stråling er i gjennomsnitt over menneskenes levetid:

Naturlig bakgrunn:

A:	120 mSv	=0,007 mSv/dag
B:	250 mSv	=0,014 mSv/dag
C:	2625 mSv	=0,144 mSv/dag

A: Globalt gjennomsnitt, B: i Norge, C: i India.

Medisinske undersøkelser og behandling i Norge gir 25 mSv. Alle prøveeksplosjoner i verden (både i atmosfæren og under jorda) gir 0,5 mSv, og nedfallet etter Tsjernobyl i Norge gir 0,79 mSv.

Grunnen til den store dosen fra naturlig bakgrunn i India skyldes mye uranholdig jordbunn.

Hvis vi nå ser på Tsjernobyl-nedfallet, kan størrelsen av det i ulike distrikter måles i Bq/m^2. Det fins enkle regler for å finne livstidsstråledosen på mennesker når de lever på en overflate som er forurenset med 137Cs:

A:	20 - 500	500 - 1500	> 1500
B:	28 - 84	24 - 224	> 224

A: Aktivitet i kBq/m^2, B: Dose pr. individ i mSv.

Vi ser at selv i områder med middels forurensing er stråledosen av samme størrelsesorden som den naturlige dosen i Norge, og ligger langt under det som befolkningen i India må leve med.

Tsjernobyl-ulykken var forårsaket av et helt sett av ulike faktorer, den viktigste var nok et helt umulig politisk system.

Virkning av lave stråledoser

Inntil nå har det forebyggende prinsipp for å hindre skader fra ioniserende stråling vært antakelsen om at det ikke fins noen terskelverdi for stråledose/ strålevirkningsammenhengen, også ved forsvinnende små doser. Dette var i første omgang et greitt handlingsprinsipp når det gjaldt helsefysikkopplegget for folk som skulle behandle radioaktive stoffer i sitt daglige yrke. Men så begynte en å nytte det samme prinsippet overfor store befolkningsgrupper som ikke var i kontakt med strålingskilder til vanlig (utenom den naturlige bakgrunnsstråling). Dette har ført galt avsted.

Strålingsrisiko skal ifølge ICRP (International commision on radiation protection) angis som: " The probability that a given individual will incur a particular —- effect of radiation exposure" (1983). Den vanlige betydningen av "risiko" er å utsettes for en negativ virkning, og setningen ovenfor kan derfor tydes slik at ICRP antar at alle virkninger av ioniserende stråling er negative. På dette punkt burde ICRP formulere seg klarere og sette inn ordet "adverse" istedet for prikkene i definisjonen ovenfor. En har nemlig etterhvert fått tydelige indikasjoner på at en også må regne med positive virkninger av ioniserende stråling.

I 1980 åra er ICRPs retningslinjer også blitt antatt av nasjonale organisasjoner ved rent administrative rutiner, men uten egentlig noe vitenskaplig grunnlag. Dette har også bidratt til radiofobien som kommer til uttrykk gjennom tanker og beregninger for doser og strålevirkning som har ført oss ut i et internasjonalt uføre:

1. En har ført folk og fysikere til å tro at det ikke finnes noen lavere grense (en terskel) for stråledose som kan utløse stråleskader.

2. Det er regnet ut urealistiske overslag over virkningen av meget lave doser ved lave dosehastigheter for store befolkningsmengder.

En har f.eks. antatt som en tommelfingerregel at en får 75 utbrudd av kreft per 1000 personer per Sievert (Sv) i doseområdet 500 - 6000 mSv. Slike beregninger er nok i orden i dette området, men slett ikke i doseområdet 0 - 200 mSv.

Hvordan skal så stråledoser rangeres? En bruker vanligvis denne indelingen for doser:

Lav:	200 mSv
Middels:	200 - 2000 mSv
Sterk:	2000 - 3500 mSv

I Norge har en beregnet at den gjennomsnittlige livstidsdosen (50 år) for et alminnelig menneske ligger på rundt 276 mSv (se ovenfor)

Nye retningslinjer fra UNSCEAR.

Det er hovedsakelig data fra atombombeofrene etter angrepene på Hiro shima og Nagasaki og strålingsulykker som danner utgangs punktet for dose/ virknings kurver. Når disse dataene fra kraftig bestråling ekstrapoleres mot lave doser, ser det ut til at kurven er lineær og at en treffer null. Men i det usikre området under 200 mSv har en mange indikasjoner på at kurven egentlig bøyer av mot null virkning før dosen er blitt null. Dette betyr at en har en terskelverdi for strålevirkning. Dessuten ser det ut til at en i visse eksperimenter kan påvise en gunstig virkning av en liten dose ioniserende stråling! Dette betyr at kur ven svinger under aksen før den går mot null. Dette kalles "hormese". UNSCEAR vil nå sette i gang en om hyggelig gjennomgåelse og vurdering av alle slike hormesedata. Hvis de viser seg å være viten skaplig korrekte og blir godtatt av UNSCEAR, vil dette ha en dramatisk virkning på standarder for strålerisiko og strålebeskyttelse.

En vil altså se nærmere på dose/virknings kurver ved lave dosehastigheter og lave totaldoser og gjøre mer inngående analyser av hva de nye vitenskaplige resultatene vil ha å si for overslagene over kreftforekomsten i store befolkningsgrupper. Dette betyr at en vil revidere det synet en inntil nå har hatt på kreftepidemiologi. Dette innebærer også at en vil revidere innstillingen innen radiogenetikk. De "stimulerende" eller helsebringende virkninger av lave doser av ioniserende stråling viser seg i eksperimenter gang på gang, og dette må en nå begynne å ta hensyn til. Denne virkningen er sett i alle slags eksperimenter, fra bestråling av bananfluer, rotter og mus til mennesker. Hormese-effekten er ikke tatt alvorlig nok inntil nå. På den annen side har en i medisinen hatt en tradisjon helt siden radioaktiviteten ble oppdaget der inntak av svakt radonholdig vann fra "radiumkilder" ble ansett for å ha helsebringende virkning. En kan nesten snakke om "radioaktiv homeopati". (Langs Atlanterhavskysten av Brasil ligger flere badebyer der trekkplasteret ikke bare er havet, men også at sanden er radioaktiv ! Sanden er svart og tung og består av monazitt. *O.St.*)

Omleggingen av politikken har

allerede ført til visse uttalelser og råd fra UNSCEAR. I 1988 ble det uttalt at det helt sikkert eksisterer en vitenskaplig fundert terskelverdi for strålevirkning. Under en dose på 200 mSv har en ikke sett noen overhyppighet av kreft hos mennesker. I 1989 ble det videre uttalt at:

1. Virkning av stråling minker med stråleraten (dosehastigheten)
2. Det fins en terskelverdi for strålevirkning.
3. Risikokoeffisienter kan en først benytte når dosene er kommet opp i området 0,5 til 6 Gy. (Grey)

Tar en hensyn til disse uttalelsene, gjør en overgangen fra radiobiologi til radioepidemiologi på en riktig måte. Når det gjelder strålevirkning ved lave doserater på store befolkningsgrupper, kan en altså ikke ukritisk ekstrapolere kurver for individuelle dose/virknings sammenhenger ned mot nullverdier. En kan altså ikke bruke enkel reguladetri for å beregne mulig økning i krefthyppighet som skyldes nedfallet fra Tsjernobyl eller radon, for eksempel.

En har belegg fra flere store befolkningsundersøkelser at det f.eks ikke er noen overhyppighet av krefttilfeller hos arbeidere i atomindustrien, både militær og sivil. I USA har en undersøkt over 100.000. slike arbeidere og funnet at på alle steder der de har arbeidet, er kreftforekomsten hos dem lavere enn hos den lokale befolkningen. I Sverige har en kartlagt 4.500 pasienter som ved undersøkelser av stoffskiftet har fått doser på 60 -100 Gy i skjoldbruskkjertelområdet og ikke funnet noen overhyppighet av kreft. I UK har en på tilsvarende måte undersøkt folk som har malt med radiumholdige farger i mange år og har ikke sett noen ekstra bivirkninger.

Når det gjelder arvelige effekter, har en naturligvis de store undersøkelsene som er blitt foretatt av de overlevende fra Hiroshima og Nagasaki der en heller ikke har sett noen overhyppighet av anomalier hos etterkommerne i flere ledd. Tvert imot, en har fått fram statistikker som viser at barn av bestrålte foreldre har mindre forekomst av ulike kreftformer enn tilsvarende foreldre som ikke er blitt utsatt for bestråling. Dette kan bare forklares ved hormese-effekter.

Tilsvarende utfall har en også sett ved visse kjemikalier: Kjører en parallelle forsøk, finner en at for små doser kan noen farlige kjemikalier ha en viss stimulerende virkning. En må også gå ut fra at ioniserende stråling viser tilsvarende oppførsel, så det er ikke noe overraskende i disse resultatene egentlig.

Kommentarer og tilleggopplysninger

Dose/virkningskurver

Virkningen av ioniserende stråling på biologisk vev er av to slag: 1. Skader på arvematerialet i gonader og kjønnsceller slik at misdannelser og arvelige sykdommer kan oppstå hos avkommet. 2. Skader på arvematerialet i vanlige kroppsceller, altså somatiske skader, slik at ulike kreftformer kan oppstå hos det bestrålte individet. En har klart å sette opp stråledoser vs virkningskurver for mennesker ved å måle virkningene hos de overlevende fra Hirosnima og Nagasaki og fra strålingsuhell. Virkningskurven for lave stråledoser har en funnet ved å ekstrapolere slike kurver mot null dose. Dessuten har en dyreforsøk.

En har naturligvis vanskelig for å overføre data fra eksperimenter med encellede dyr, mus og rotter til mennesker. En vet likevel at celler fra mennesker er opp til tusen ganger mer ømfintlige for stråling enn celler av lavere livsformer. Dette kommer av at DNA molekylene hos mennesket er ganske store fordi det er så mye informasjon å overføre, og det tar plass. Det er derfor større sannsynlighet for at ioniserende stråling får inn gode "skivetreff" som fører til mutasjoner eller kromosomavvik.

En antar nå at dose-virkningskurven har et forløp som skissert på fig. 1. Dosen av ioniserende stråling er avsatt langs første-aksen. Tiltakende negativ virkning er tenkt oppover langs andre-aksen. I vårt tilfelle er måleenheten mutasjonsraten. Kurven kan deles i fire hovedområder: Det første området (I) gjelder ved lave stråledoser. De to prikkete kurvene nederst antyder usikkerheten om hvorvidt kurven ekstrapolerer lineært mot null, eller om en har en terskel-effekt

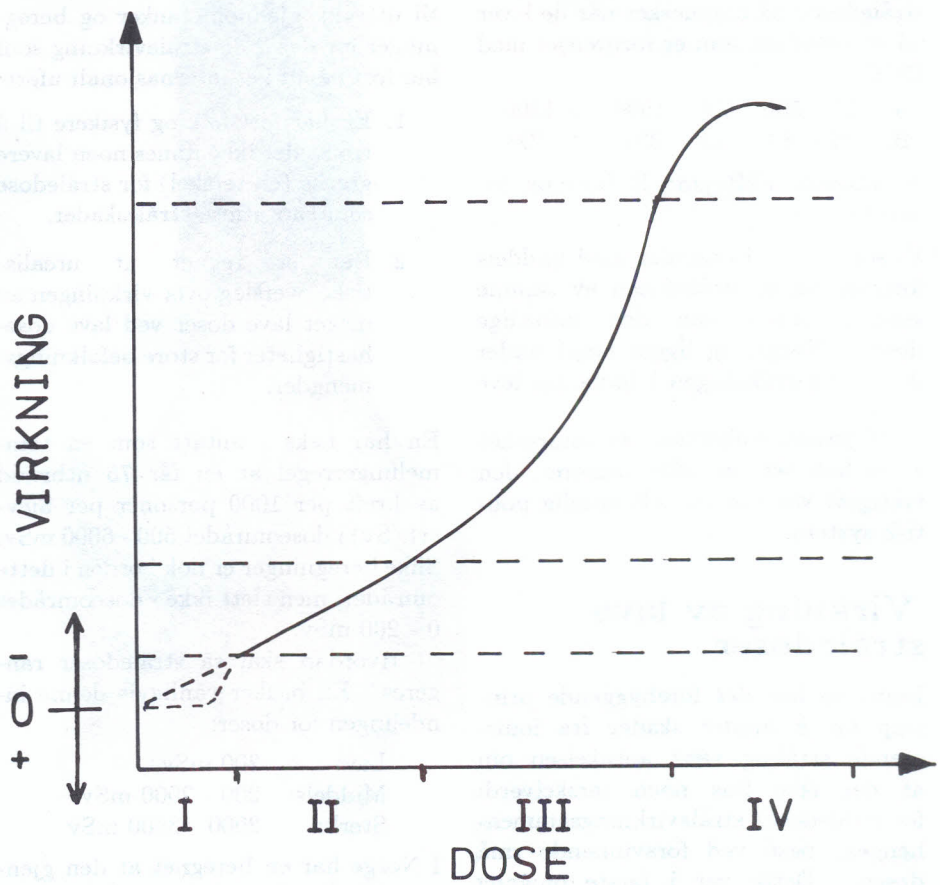


Fig.1. Viser den generelle form og oppførsel av virkning versus dose kurver for en hel rekke kreftfremkallende stoffer og forhold, deriblant ioniserende stråling. Negativ virkning er avsatt oppover langs andre-aksen. Kurven kan deles i fire hovedområder, se teksten. (Fra ICPEMC, Den internasjonale kommisjon for beskyttelse mot mutagene og kreftfremkallende stoffer i miljøet).

som gjør at kurven svinger nedover og treffer første-aksen. Ved lave og moderate doser har en en lineær virkningsøkning (II).

Ved høyere doser stiger virkningskurven brattere og er ulineær (III). Dette skyldes tildels at ioniseringen kommer tett både i tid og rom. I området (IV) flater kurven ut og går kanskje nedover. Her dreier det seg om store doser som fører til stor celledødelighet, og organismen bryter sammen.

Terskeleffekten

Hvorfor kan det tenkes at virkningskurven går som den laveste, stiplete kurven ? En har nå gode bevis for at det er kraftige reparasjonsmekanismer i gang i cellene som prøver å holde DNA dobbeltspiralen intakt etter en stråleskade. Et enzym, endonuklease, kan finne feil langs DNA tråden og skjære ut det gale området. Et annet enzym, exonuklease, eliminerer så området mens et tredje enzym, DNA polymerase, fyller ut tomrommet med de riktige basene. Til slutt er det en ligase som syr bitene sammen. På denne måten kan en skade på DNA bli fullstendig reparert, og en får ingen virkning av strålingen. Men reparasjonsmekanismen må få tid på seg, og hvis det skjer ytterligere stråleskader mens reparasjonen er i gang, kan reparasjonskjemien bli overbelastet og ikke klare oppgavene. Disse mekanismene er godt undersøkt og kan forklare at det finnes terskelverdier for strålevirkning ved små doser og lave dosehastigheter. Den ekstreme stabiliteten til DNA tyder også på at naturen har utviklet effektive mottiltak mot induserte feil i arvemolekylene.

På den annen side fins det mennesker som er meget ømfintlige for stråling, nettopp på grunn av at reparasjonssystemet deres ikke fungerer skikkelig. I tillegg til stor strålingsømfintlighet vil disse menneskene i tillegg ha problemer med immunsystemet og få leukemier som gjør at de får kort levetid.

Generelt kan en si at celler som ikke er differensierte og som deler seg raskt (hudceller, beinmarg, kjønnsceller osv) er særlig følsomme for stråling. Små barn som vokser raskt, er mer utsatte enn voksne. På den annen side er gamle folk igjen mer følsomme for stråling fordi DNA reparasjonssystemet ikke lenger fungerer optimalt. De tillatte små stråledoser for store befolkningsgrupper bør ta hensyn til de svakeste, de mest følsomme og ømfintlige i en slik gruppe.

Hormese-effekten

Hormese er et biologisk uttrykk for den stimulerende virkning (positiv helsevirkning) som oppstår hos organismer når de tilføres små, ikke-farlige doser av giftige stoffer. De mest kjente slike stoffer er arsenikk og stryknin, men vi kan også inkludere stoffer som sovepiller. Som nevnt ovenfor er det flere dyreforsøk som viser klar hormese-effekt ved bestråling. Levetida for en stor gruppe mus som fikk forskjellige doser stråling ved ulike doserater, viser en klar levetidsforlengelse for lave dosehastigheter (se fig. 2) sammenliknet med en gruppe som ikke ble bestrålt. Slike overraskende "avvikende målepunkter" har en sett i mange eksperimenter gjennom tidene, men en har før ikke tatt standpunkt til dem !

En har prøvd å forklare positive virkninger ved å trekke inn immunsystemets fantastiske hukommelse og læringsevne: .det husker de fleste av de sykdommene vi har gjennomgått i livet, og ved vaksinering kan det lære seg nye sykdommer og forberede forsvar mot dem. Videre viser det seg at en ved gjentatt vaksinering kan gjøre immunsystemet enda mer perfekt og generelt sykdomsforebyggende. Ved små strålingsdoser kan immunsystemet kanskje bli satt i ekstra beredskap og avverge andre livstruende sykdommer slik at virk ningen i alt blir en livsforlengelse.

UNSCEARs nye retningslinjer

De nye retningslinjene som UNSCEAR nå arbeider etter, representerer et brudd med fortidas innstilling. En har før ansett at med den store usikkerheten som eksisterer når det gjelder dose/virkning for små doser, må en la tvilen komme menneskeheten til gode og ekstrapolert virkningskurvene lineært mot null, altså ingen dose

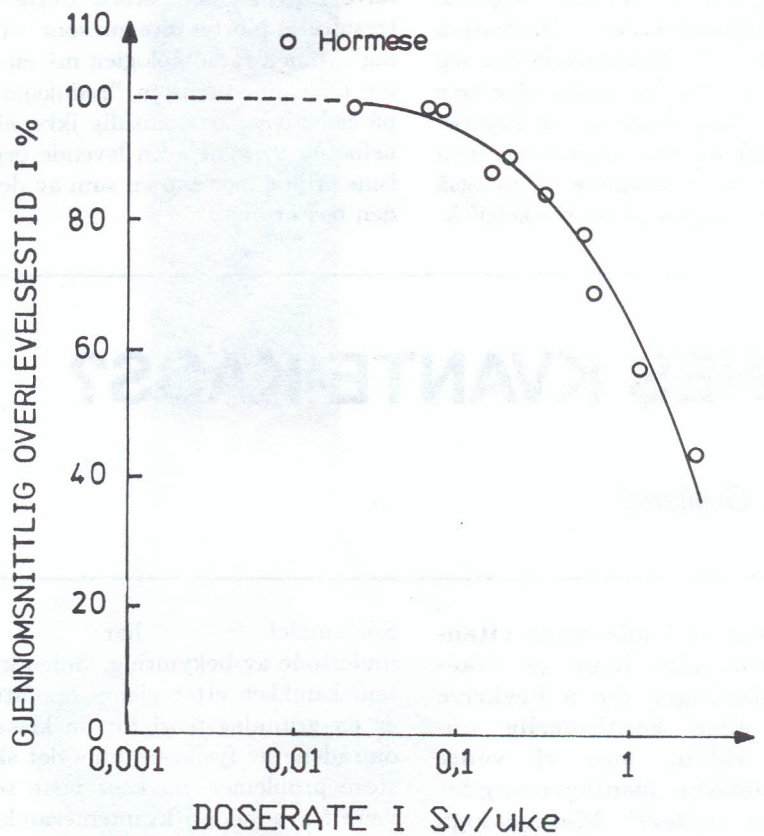


Fig.2. Resultatet av en undersøkelse av gjennomsnittlig overlevelsestid for mus som er blitt utsatt for vedvarende ioniserende stråling med forskjellig doserate i prosent av levetida for en kontrollgruppe mus som ikke ble bestrålt (fra 1958!). Vi ser at det første punktet for gruppen med minst strålerate ligger langt over den ekstrapolerte (stiplete) kurven for de andre musegruppene. Avviket er mye større enn målefeilen. Tilsvarende eksperimenter med grupper av rotter viser også liknende hormese-effekter.

uten en virkning. Dette har ført til at en har sett enhver liten økning i strålingsnivået i verden som en fare og har regnet ut alle slags tall for mulig økning av forekomsten av kreft og arvelige skavanker hos store befolkningsmengder.

På den annen side er stråling bare en del av de problemer som et industrielt samfunn frambringer. Forurensinger av ulike slag i jorda, lufta og vannet sammen med tobakk, alkohol, gal ernæring osv osv har liknende dose/virkningskurver som ioniserende stråling, og de kan kanskje ha gjensidige forsterkende virkninger.

For å være på den sikre siden må en nok få enda bedre vitenskaplige bevis for at en har en terskelverdi ved små doser av ioniserende stråling og ved hvilken verdi den ligger. Desuten bør en få klargjort hva de positive virkningene av en eventuell hormese består i. En levetidsforlengelse kan jo følges av negative virkninger på andre områder. Men den gamle fleipen fra oss gamle atombombeprotestanter: "Radiation is good for you!", kan kanskje vise seg å være sann. På den annen side tror jeg ikke en kan bygge noe helseprosjekt på bruk av lave stråledoser, men et godt bevis for hormese vil jo også være en indikasjon på at terskeleffekten er reell. I figur 1 har jeg da i tanken endret måleenheten på andre- aksen fra å gå på celle-effekter (mutasjonsraten) til individets almentilstand for å se det i samme figur. Posi tiv virkning av ioniserende stråling må i så fall avsettes nedover fra null langs andreaksen, og kur ven vil skjære førsteaksen i terskelpunktet.

Radiobiologi er studiet av vekselvirkningen mellom stråling og levende organismer. Liv er et velorganisert, åpent termodynamisk system langt fra likevekt. Slike systemer viser vanligvis ikke-lineær oppførsel, som f.eks den s-formete virkning/dose kurven kan være et uttrykk for. Når stråling avsetter energi i levende celler, øker avstanden fra likevekt lokalt, f.eks. i makromolekyler som DNA. Men liv karakteriseres av organisering på mange nivåer, og stråleskader kan, hvis de ikke bli reparert skikkelig, forplante seg oppover i hierarkiet, inntil selve individet blir berørt. Dette sluttresultatet plottes ofte inn som "virkning". Innen radiobiologien må en derfor både operere som "reduksjonist" på cellenivået og samtidig ikke slippe helheten av syne. En levende organisme er noe mer enn en sum av delene den består av.

Referanser

1. *"Ionizing radiation, sources and biological effects"* UNSCEAR (1982)
2. *"Sources, effects and risks of ionizing radiation"* UNSCEAR (1988)
3. *"Radiation hormesis"* ATOM **April** (1989) 390
4. T.D. Luckey, ed. *"Hormesis with Ionizing Radiation"* Univ. of Missouri., CRC Press (1980)
5. K.F. Baverstock, J.W. Stather, ed. *"Low Dose Radiation"* Taylor & Francis (1989)
6. R. Doll og S. Darby *"Health effects of low level radiation"* Advances in Nucl. Sci. and Techn. **21** (1990)
7. M. Errera *"Les effets des radiations nucléaires à faible doses* La Recherche **168** (1985) 959
8. *Health effects of exposure to low levels of ion izing radiation* BEIR V, National research council (USA), National Academic Press (1990)

∞

FINNES KVANTE-KAOS?

Hans H. Grelland *

Vi vet idag at i alle slags vitenskaper som gjør bruk av ikke-lineære likninger for å beskrive trinnvis eller kontinuerlig endring i tiden, kan vi vente oss at kaotiske løsningsmengder spiller en rolle.[1,2] Meteorologi, sosialøkonomi, befolkningsbiologi, hydrodynamikk, Hamiltonsk mekanikk - de beskriver alle systemer som en fysiker ville gi fellesbetegnelsen klassiske. Hva skjer når man tar skrittet over fra klassisk til kvantisk?

*Agder Ingeniør- og Distriktshøgskole

Spørsmålet har en undertone av bekymring. Siden kvantemekanikken etter gjengs oppfatning er en grunnlagsteori for de klassiske områdene av fysikken, ville det skape store problemer om kaos viste seg å være fraværende i kvantemekanikken. Hvor skulle så alle de klassiske kaosfenomenene komme fra? Forsvinner de mellom fingrene våre når vi forstørrer vår verden til Planck'sk oppløsning?

Og det er faktisk en viss grunn til å bekymre seg. Studier av grenseovergangen $\hbar \to 0$ (grensen fra kvantemekanikk til klassisk mekanikk) av systemer der vi vet at det klassiske grensetilfellet har kaotiske løsningsområder, har gjerne vist seg å være fri fra kaos så lenge $\hbar \neq 0$. Studier av disse typer systemer utgjør i dag et aktivt forskningsområde, både eksperimentelt og teoretisk.[3]

Diskusjonen pågår for fullt. En sentral person i kaosforskningen, Joseph Ford, presenterte nylig på en konferanse[4] en kvantisert utgave av en kjent prototyp på et kaotisk dynamisk system som kalles Arnold's katteavbildning. Ford viste at den kvantiserte versjonen (i) ikke var kaotisk og (ii) heller ikke ble kaotisk i den klassiske grense $\hbar$=0! Ford trekker den konklusjonen at korrespondanseprinsippet slik vi kjenner det i dag er utilstrekkelig,

og at kvantemekanikken sannsynligvis må endres. Imidlertid skjedde det på samme konferanse, at den engelske matematiker G.L. Sewell presenterte en alternativ kvantisering av Arnold's Katteavbildning der han gjorde bruk av C*-algebra-teori. Denne teorien gir tilgang til nye representasjoner i kvantemekanikken, og Sewells kvantiseringen fremviste helt andre egenskaper enn Fords, egenskaper som er karakteristiske for kaotiske systemer.

Dette viser at vi er midt oppe i en diskusjon som berører de mest fundamentale spørsmål i moderne fysikk, og som sannsynligvis vil føre til en ny og dypere innsikt i kvantemekanikken og dens forhold til klassisk fysikk. Vi forlater imidlertid den diskusjonen der, og spør heller: Hva vet vi?

Vi vet for eksempel at alle konservative, romlig begrensede kvantesystemer (alle med tellbart energispektrum) kun har periodiske løsninger.[7]

På den annen side vet vi også at vi kan finne teoretiske kvantemekaniske modeller med kaotisk tidsutvikling. La oss se nærmere på et spesielt enkelt system [6] som er en kvantemekanisk versjon av den kjente logistiske avbildning.[2,5] Dynamikken er beskrevet skrittvis (iterativt), der hvert skritt tenkes å representere et bestemt tidsintervall T.

Vi ser på posisjon q og impuls p i Heisenbergbildet, slik at q_0, p_0 er størrelsene ved t=0, q_1, p_1 ved tiden t=T og q_n, p_n ved tiden t=nT. De dynamiske likningene er:

$$q_{n+1} = kq_n(1 - q_n) \qquad (1)$$

$$p_{n+1} = 1/2k^{-1}\{(1 - 2q_n)^{-1}pn + p_n(1 - 2q_n)^{-1}\} \qquad (2)$$

dette likningssettet bevarer kommutatoren $[q_n, p_n] = iI$.

La oss se nærmere på (1). Hvis systemet starter i en bestemt posisjon $|x>$, der $q_0|x> = x|x>$, vil (1) gi opphav til forventningsverdiene $x_n = <x|q_n|x>$, gitt ved

$$x_{n+1} = kx_n(1 - x_n) \qquad (3)$$

Siden q_{n+1} bare er avhengig av posisjonen q_n, vil vi ikke få noen spredning av posisjonen: $< q_n^2 > = < q_n >^2$ for alle n. (3) er den logistiske avbildning. Egenskapene til denne avbildningen avhenger av parameteren k. Den logistiske avbildning har kaotiske løsninger for $k > 3,520$.

Flere andre teoretiske kvantemekaniske modeller er konstruert under navn som den sparkede (kicked) rotor, den sparkede osci-lator, det sparkede spinnsystem, osv. Disse modellene har det til felles at de anvender en tidsavhengig Hamiltonoperator, de beskriver med andre ord ikke-konservative systemer.

Kvantemekaniske kaos-systemer ser ut til å utvise en spesiell egenskap[(6)]. Hvis bevegelsen i rommet (posisjonsrommet) er kaotisk, gir dette en bølgefunksjon med en tiltagende komplisert og uregelmessig form. For å oppnå dette, må Fourierkomponenter av større og større impulsverdier inngå i impulsrombølge-funksjonen. Vi vil generelt få en sterk (eksponentiell) økning i $< p^2 > - < p >^2$, og dermed i den delen av den kinetiske energien som har med impulsfluktuasjoner å gjøre. Dette tilsier at kaos er et eksotisk og utypisk fenomen i kvantemekanikken. Dette argumentet forutsetter imidlertid at vi begrenser oss til å betrakte rene tilstander (i motsetning til blandede eller stokastiske kvantetilstander).

Noe klarere svar på spørsmålet i overskriften har vi foreløpig ikke. Vi er imidlertid overbevist om at når et klarere svar utkrystalliserer seg, vil det ikke bare handle om kaos som sådant – noe som er spennende nok –, men det er håp om at det vil bringe oss et viktig skritt videre i forståelsen av forholdet mellom kvantemekanikk og klassisk mekanikk. Og hva skulle være mer sentralt i fysikken enn det?

Referanser

1. Steinsvoll, O. *Årsaksbestemt kaos* Naturen 5 172 (1986).
2. Gleick, J. *Chaos* Sphere Books Ltd, London, 1988.
3. (A) Kim, Y.S., Zachary, W.W. *The Physics of Phase Space* Lecture Notes in Physics 278, Springer-Verlag, 1987, Sect. B. (B) Les Houches school on Chaos and Quantum Physics (Session 52, August 1989, vil bli publisert av North-Holland).
4. Adriatico Research Conference *Quantum Chaos* Trieste, Juni 1990. (Proceeding vil bli publisert).
5. Rietman, E. *Exploring the Geometry and Nature* TAB BOOKS Inc., Blue Ridge Summit (USA), 1989, Sect. 2.1.
6. Jensen, J.H. *Bounds on the Instability of Quantum Dynamics* Preprint, Niels Bohr Instituttet, Blegdamsvej 17, 2100 København.
7. (A) Barnsley, M.F., Demko G.G. *Chaotic Dynamics and Fractals* Academic Press, New York, 1986

   (B) Kaplan, S. *The New Physics* Cambridge University Press, London, 1987

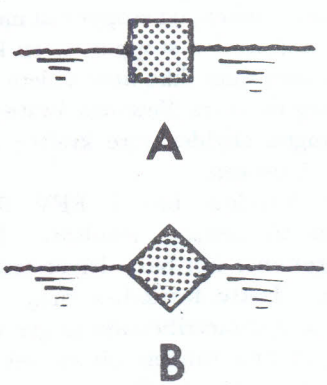
   C) Lin, Hao-Bai *Directions in Chaos* World Scientific Publ., Singapore, 1987.

∞

Trim i FFV

FFVT 3/90

En lang homogen kloss med kvadratisk tverrsnitt flyter i vann. Vil den flyte som vist i A eller i B?



Løsning FFVT 2/90

I oppgavens første del løper fire like raske fysikkstudenter, ved start plassert i et kvadrat med sidekant 300 m, slik at A løper rett mot naboen B som løper rett mot naboen C som løper rett mot D som igjen løper rett mot A. Spørsmålet var hvor langt A har løpt når de møtes.

Av symmetrigrunner vil de 4 løperne hele tiden danne et kvadrat. (Kvadratet dreier seg og skrumper naturligvis). Da B hele tiden løper *vinkelrett* på forbindelseslinjen mellom A og B vil B's anstrengelser ikke bidra til at avstanden AB avtar. A, deri-

mot, løper rett mot B hele tiden, og minsker avstanden like effektivt som om B hadde stått stille. Når de møtes har derfor A løpt den opprinnelige avstand 300 m.

I spørsmål b starter A, B og C i hjørnene av en likesidet trekant. Trekanten ABC vil, igjen av av symmetrigrunner, forbli likesidet under løpet. Denne gang bidrar B effektivt til å minske avstanden mellom A og B, men fordi B løper 60° på skrå vil pr. tidsenhet B's bidrag til å minske avstanden AB være halvdelen av A's bidrag ($cos(60° = 1/2)$. Når de møtes vil derfor A ha løpt 2/3 av den opprinnelige avstand, dvs. 200 m.

KOMMENTAR III TIL LØSNING AV FFVT 3/89

Fram eller tilbake. Replikk til Tor Ytrehus om punktert vakuumtank.

Min første kommentar til problemet i FFV-3/89 om hvorledes en vakuumtank vil bevege seg hvis den punkterer, gjaldt å vise forsiktighet med å anvende Newtons lover på et system som ikke er avgrenset. Konklusjonen i løsningen er jeg enig i. Når luften suges inn gjennom et hull bak på tanken, presses tanken først litt bakover på grunn av det ytre trykk mot tanken, og stopper så meget snart. Men at den stopper, er en konklusjon som man ikke uten videre kan slutte seg til ut fra Newtons første lov. Bremsingen skyldes ytre krefter som virker på tanken.

Tor Ytrehus har i FFV 90/2 kommet til motsatt resultat. Luft som strømmer inn bak, driver tanken forover. Dette forundrer meg. Ut fra enkle symmetribetraktninger venter jeg at hvis tanken går én vei når det er overtrykk og lufta strømmer ut, går den motsatt vei når det er undertrykk og lufta strømmer inn. Hvilken vei den går når lufta strømmer ut, er vel kjent.

Men et slikt resonnement er lettvint og farlig. Derfor fant jeg det nødvendig å underbygge det med beregninger som jeg gjengav resultatet av i mitt forrige innlegg. Nå mener T.Y. at beregningene mine er feil. Han starter som meg i sin likning (1) med impulssatsen og sammenlikner den tidsderiverte av impulsen til den innstrømmende luft med trykkreftene som virker på vogna. Jeg har her angitt feil verdi for impulsstrømmen til gassen, $\rho\vec{v}^2$. Den er, i overensstemmelse med T.Y.'s beregninger, 0,74 $\vec{p_0}$ og ikke ca 0,5 $\vec{p_0}$ som jeg skrev. Men denne feilen forandrer ikke resultatet kvalitativt. Den vesentlige forskjellen er størrelsen av trykkreftene på tanken. I likning (2) setter T. Y.trykkreftene lik $(\vec{p_0}-\vec{p_*})\vec{A_0}$ hvor $\vec{A_0}$ er arealet av åpningen. Det første leddet, $\vec{p_0}\vec{A_0}$, er resultanten av trykkkreftene mot tankveggen, som ville ha vært null hvis tanken var lukket, men som, når det går hull på den, blir lik det opprinnelige trykket mot $\vec{A_0}$, men med motsatt fortegn. I det andre leddet, $\vec{p_*}\vec{A_0}$, er $\vec{p_0}$ det statiske trykket i gassen som strømmer inn, og $\vec{p_*}\vec{A_0}$ er trykket på en tenkt flate i åpningen. Den fysiske virkningen på tanken av dette trykket er selvsagt null og skal derfor ikke tas med i beregningene. Når dette leddet strykes, blir den hjelpekraften som T.Y. innfører for å holde tanken stille, negativ. Med andre ord, tanken akselereres, suges, bakover hvis luften strømmer inn gjennom et hull bak på tanken!

En liten kommentar til: I oppgaven er hullet plassert bak på tanken. Når T.Y. velger å innføre et koordinatsystem, ville det vel vært naturlig å orientere dette slik at bakover ble mot venstre.

Trygve Holtebekk

Bokomtaler

P. Weinberger: "Electron Scattering Theory for Ordered and Disordered Matter". Oxford University Press, 244s.

Lærebok for kvanteingeniører - og for oss andre.

"Quantum engineers" kalles de av og til - den store gruppen av teoretikere som utfører beregninger av elektronstrukturer i faste stoff. Det er en viktig grein av faststoff-fysikken: elektronene holder faste stoff i hop og bestemmer deres egenskaper, ikke bare dem vi til vanlig kaller elektroniske, men optiske, magnetiske - og til syvende og sist også de kjemiske og mekaniske.

P. Weinbergs bok "Electron Scattering Theory for Ordered and Disordered Matter" antyder noe om utviklingen av feltet allerede i tittelen: inkorporering av overflater og grenseflater; defekter, ikke-støkiometri og uorden står sentralt. Framstillingen bygger på en teoretiske utvikling av feltet i de siste 25 år, basert på funksjonalteori, idet grunntilstandsegenskapene til et system av elektroner kan uttrykkes som en funksjonal av elektrontettheten.

Denne tilnærmingen til fler-elektronproblem i faste stoff har vist seg å være et effektivt alternativ til den tradisjonelle Hartree-Fock beskrivelsen ved en ikke-lokalisert operator. Den kan også generaliseres til endelige temperaturer. Weinberg gir en kort innføring i denne teorien og såkalte Kohn-Sham likninger.

Deretter går han over til å behandle perturbasjoner som spredningsproblem ved Lippmann-Schwinger type likninger, som engangs spredning og som multippel spredning. Relativistiske bidrag behandles inngående. Anvendelsen på problem omfatter ulike band-struktur spektroskopier (som beskrives ved lokal tilstandstetthet), magnetisk susceptibilitet, ledningsevner mv. Som tittelen antyder legger forfatteren vekt på behandling av uordnete system.

Det er teorien og de beregningsresultat den gir som er tema for boka - forholdet til eksperiment er lite behandlet. Det bidrar imidlertid til å gjøre boka kompakt og oversiktlig, den framtrer vel disponert og har mange referanser. På få sider gir den up-to-date innføring i et felt som er i rask utvikling og omfattes med økende interesse, bl.a i forbindelse med moderne sub-mikron elektronikk (kunstige supergitre osv). Det er et felt der det hittil har vært minimal teoretisk aktivitet i Norge. Ei bok som denne kan kanskje gi nyttige impulser til å utvikle noen av våre kvanteteoretikere til kvanteingeniører?

Jon Gjønnes

∞

Kosmos 1989: YTFysik. Almqvist og Wiksell Periodical Co. Box 638, 10128 Stockholm. 166 sider. Pris SK 96.- for medlemmer av NFS

Ikke overfladisk om overflater.

Et kyss, en klem, et par kinn mot kinn, - dette er daliglivets opplevelser

for de fleste av oss. Smak - og luktesansen sitter på tunga og i nesas slimhinner,- vi hører ved at luftmolekyler slår mot trommehinna i øret. Vi ser gjenstander ved at overflatene deres "låner" lys som delvis absorberes og reflekteres og gir oss inntrykk av form og farge. Overflater og grensesjikt spiller derfor en stor rolle for våre sanseinntrykk, opplevelser og orienteringsevne i verden. Det svenske tidsskriftet KOSMOS har fortsatt sin temaserie i fysikk ved å utgi et hefte "Ytfysik" for 1989 med en slags statusrapport om overflatefysikkens utvikling og tilstand. Den har utviklet seg raskt fra faststoffysikken, men har etterhvert fått sine egne undersøkelsesmetoder og teorier som bygger på grunnleggende kjemi, atomfysikk, elektronikk og andre disipliner.

Åtte oversiktsartikler tar oss gjennom overflatefysikkens problemer, undersøkelsesmetoder og siste resultater. Vi får lese om overflaten av halvledere som er viktig for konstruksjonen av mikrochips og deres tilkoplinger, synkrotonstråling i overflatefysikk, overflateprosesser (katalyttvirkning), elektronspredning fra overflater osv.

Olav Steinsvoll

∞

Nytt fra NFS

NØDROP FRA SEKRETÆREN

På grunn av sykehusopphold i mange uker har jeg ikke fått sendt ut kontingentpurring i august som jeg pleier. Derfor ber jeg dere som fortsatt skylder kontingent (ca. 125 stykker) om å betale snarest mulig.

TAKK!

Årsmelding for Norsk Fysisk Selskap 1989 - 1990

Årsmeldingen omfatter tiden mellom årsmøtene 20. juni 1989 og 26. juni 1990.

ORGANISASJONSFORHOLD

Styret har bestått av:

Eivind Osnes, president
Ove Havnes, visepresident
(til 31.12.1989)
Johan Stadsnes, visepresident
(fra 1.1.1990)
Marianne Foss
(fra 1.1.1990)
Thormod Henriksen
Haakon A. Olsen

med varamedlemmer:

Marianne Foss
(til 31.12.1989)
Anne Grete Frodesen
Hallstein Høgåsen
Unni Løvhaug (fra 1.1.1990)

Selskapets sekretær er Gerd Jarrett.

Styret har hatt fem møter i perioden, tre i Oslo og to i Tromsø.

Selskapet har 746 individuelle medlemmer pr. 10.06.1990, derav 23 studenter. T. Riste og S. Westin er æresmedlemmer. Videre har selskapet 8 kollektive medlemmer:

Chr. Michelsens Institutt
Laborel A/S
Norsk Hydro A/S
Rogalandsforskning
Simrad A/S
SINTEF
Statoil
Aanderaa Instruments

Årskontingenten er for 1990 kr. 160,- for individuelle medlemmer. Studenter betaler halv kontingent. Bidraget fra de kollektive medlemmer var i 1989 kr. 25.500,-.

Selskapets økonomi er god og regnskapet for 1989 er gjort opp med et overskudd på kr. 51.293,89.

FRA FYSIKKENS VERDEN

Norsk Fysisk Selskap utgir tidsskriftet fra Fysikkens Verden. Det utkommer fire ganger i året og har et opplag på 1600. For selskapets medlemmer er abonnementet inkludert i årskontingenten og utgjør halvparten av denne. Redaksjonen består av:

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen
Redaksjonskomite:
Noralv Bjørnå
Anne Grete Frodesen
Ingerid Hiis Helstrup
Per Chr. Hemmer
Egil Leer

Redaksjonen har maktet å utgi et godt populærvitenskapelig tidsskrift for beskjedne midler. Dette skyldes stor egeninnsats når det gjelder produksjon, distribusjon og forretningsførsel. Inntektsbudsjettet er på ca. kr. 150.000,-, herav kommer 55% fra abonnentene og 40% fra NAVF, mens 5% er renter. Regnskapet er gjort opp med et overskudd på kr. 55.604,-. Den likvide kapital var ved utgangen av 1989 ca. kr. 115.000,-.

Tidsskriftet er hovedsakelig viet populære artikler fra aktuelle forskningsområder, men det gir også plass for organisasjonsstoff og meningsytringer om forskningspolitiske spørsmål. Formatet gir gode muligheter for tilrettelegging av stoffet, men utstyrsmessig har tidsskriftet vært nødt til å holde en nøktern linje. Redaksjonen tar sikte på å bygge opp en økonomi for tidsskriftet som tillater en utstyrsforbedring. Stofftilgangen har gått noe ned i det siste.

FYSIKERMØTET

Fysikermøtet ble i 1989 holdt ved Fysisk Institutt, Universitetet i Bergen i tiden 19.-22. juni, med 120 registrerte deltagere. Erling Hammer var formann i arrangementskomitéen.

Møteprogrammet var meget omfattende og besto av 19 inviterte oversiktsforedrag i plenum, 24 påmeldte faglige foredrag som ble presentert i plenum og 7 bidrag som ble presentert i plakatseksjon. Faggruppen for undervisning hadde ansvaret for en egen plenumssesjon med inviterte foredrag om aktuelle problemstillinger innen fysikkundervisningen. Det var ekskursjon til Sture-terminalen og bølgekraftverkene i Øygarden og sosialt samvær med kunstnerisk underholdning i Hulen. Festmiddagen ble holdt på Kronstad Hovedgård med Kårmund Myklebost som toastmaster. Her var det også kunstneriske innslag. Festtalen ble holdt av Tormod Riste.

Inviterte plenumsforedrag:
N. Andersen (København):
Propensity rules in
atomic collisions.
D.J. Bergman (Tel Aviv):
Physical properties of composites.

K. Beyer (Roskilde):
Girls and physics -
What are the perspectives?
Ø. Falch og
S. Solheimsnes (Bergen):
Supraledning som laboratorie-eksperiment i fysikkundervisningen i videregående skole.
G. Haerendel (Garching):
Momentum transfer in space plasmas.
I. Hiis Helstrup (Bergen):
Fysikkolympiaden - resultater og erfaringer.
K.T. Hetland (Dalen):
Prosjektorientert undervisning i fysikk i videregående skole.
A. Isnes (Oslo):
Fysikkens plass i grunnskolen og første klasse i videregående skole.
T.-H. Iversen (Trondheim):
Biologi og romforskning i Norge.
C. Jarlsskog (Stockholm):
The inflationary universe.
I. Kanestrøm (Oslo):
The greenhouse effect.
K. Kloster (Bergen):
Satellite remote sensing - status and the future.
R. Kuvås (Asker):
The impact of basic research on Norwegian industry.
B. Lautrup (København):
Neural nets.
C. Llewellyn-Smith (Oxford):
What do we expext from LEP and HERA?
C.A. Lütken (København):
Particle physics from string theory.
E. Lægsgaard (Aarhus):
Scanning tunnelling micorscopy.
E. Oterholm (Kristiansund):
Energi og samfunn - i hvilken grad er undervisningen innen dette emnet sentralt i videregående skole og på universitetet?
G. Wang (Lillestrøm):
Høyttrykk CO_2-gasslasere med avstembar frekvens.

Selskapets årsmøte ble avholdt 20. juni, og er referert i Fra Fysikkens Verden 51 (1989) Nr. 3. Under årsmøtet ble Norsk Datas fagpris i partikkelfysikk tildelt Carsten A. Lütken for hans arbeid med strengteori. Simrads fagpris i elektro-optikk ble tildelt Gunnar Wang for hans arbeid med utviklingen av høyttrykk gasslasere.

Selskapets styre bevilget kr 4.456,- til student- og lektorstipend til Fysikermøtet.

FAGGRUPPENE

Selskapet har for tiden 13 faggrupper (m/ledere): Akustikk (W. Løchstøer), Astrofysikk (J.E. Solheim), Biofysikk (T. Lindmo), Datafysikk og måleteknikk (T.H. Løvaas), Kondenserte fasers fysikk (E.J. Samuelsen), Generell teoretisk fysikk (H. Olsen), Geofysikk og ionosfærefysikk (A. Egeland), Kjernefysikk (J. Vaagen), Optikk og atom- og molekylærfysikk med spektroskopi (P. Narum), Partikkelfysikk (K. Mork), Petroleumsfysikk (J.E. Nordtvedt), Plasma- og gassutladningsfysikk (A. Øien) og Undervisning (P. Vold). Disse har til oppgave å skape kontakt og stimulere forsknings- og undervisningsaktiviteten i Norge innen sine respektive fagområder.

Det er dannet et Kontaktnett for kvinnelige fysikere med et styre bestående av Annik Magerholm Fet (Ålesund), Åshild Fredriksen (Tromsø) og Inga Stener Olsen (Oslo). Kontaktnettet har 59 medlemmer og er tilknyttet selskapet på lignende måte som faggruppene. Selskapet har stilt et beløp på kr. 5.000,- til disposisjon for Kontaktnettet i 1990 og har dessuten bevilget reisestipend til Fysikermøtet i Tromsø.

Det har vært en gledelig økning i faggruppenes møteaktivitet i de senere år. Styret har gitt studentstipend til følgende konferanser og seminarer:

Nordisk kjernefysikk-konferanse i Kopervik (august 1989), Seminar om kondenserte fasers fysikk på Rondablikk (september 1989), Nordisk partikkelfysikk-konferanse på Spåtind (januar 1990), Nordisk plasma- og gassutladningssymposium i Gausdal (februar 1990), Fagmøtet for biofysikk og medisinsk fysikk og teknologi på Kongsvoll (mars 1990).

Fysikkolympiaden for skoleelever ble i 1989 arrangert i Polen. Fem norske elever deltok under ledelse av Ingerid Hiis Helstrup og Svein Lie. For første gang oppnådde en norsk deltager bronsemedalje. Deltagelsen ble støttet gjennom bidrag fra Kirke- og undervisningsdepartementet, NAVF og Norsk Hydro. I 1990 arrangeres fysikkolympiaden i Nederland. Uttagningsprøver er avholdt i to omganger (november og februar) og fem deltagere er tatt ut. Disse har gjennomgått et treningskurs på Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo i tiden 5.-8. juni. Norge har tilbudt seg å arrangere Fysikkolympiaden i 1996.

Forøvrig vises til Årsrapportene fra de enkelte faggruppene.

NORSK FYSIKKRÅD

Norsk Fysikkråd består av representanter for universiteter, høyskoler, forskningsinstitusjoner, forskningsråd, skoleverk og Norsk Fysisk Selskap. Det har til oppgave å gi råd i viktige forsknings- og undervisningsspørsmål til de berørte institusjoner og skole- og forsknings-politiske myndigheter.

Norsk Fysisk Selskap har hittil valgt 5 representanter til Fysikkrådet. Tre av disse representerer skoleverket, høyskolene utenom universitetene og frittstående forskningsinstitusjoner. Følgende medlemmer av Fysikkrådet er valgt av selskapets årsmøte for perioden 1989-90: I.H. Helstrup (varam. S. Lie), H. Olsen (O. Havnes), E. Osnes (K. Myklebost), T. Riste (Aa. Sudbø) og P. Vold (B. Berre). Fra og med 1991 skal representanten for skoleverket utpekes av Rådet for videregående opplæring (RVO). Det vises forøvrig til Fysikkrådets årsmelding.

NORDISK SAMARBEID

Samarbeidet med de fysiske sleskaper i de andre nordiske land har det siste året vesentlig foregått innenefor rammen av Physica Scripta.

Tormod Riste er Norsk styremedlem i Physica Scripta. Kjell Mork er varamedlem, mens Torstein Jøssang, Egil Leer og Jan Trulsen er fagredaktører.

EUROPEAN PHYSICAL SOCIETY

Ove Havnes og Eivind Osnes har vært selskapets representanter i rådet for EPS. Begge deltok pål årsmøtet i Uppsala 29.-30. mars 1990. Her deltok også Endre Lillethun, som er formann i Interdivisional Group on Physics for Development. IGPDs hovedoppgave er å oppmuntre til økt samarbeid mellom fysikere i industrialiserte land og utviklingsland.

Etter rådsmøtet i Zagreb i 1989 er det foretatt en omstrukturering av EPS, idet de forskjellige rådgivende

komitéer (med et stort antall ikke-møtende medlemmer er erstattet av aksjonskomitéer med få medlemmer som forutsettes å ta aktivt del i komitéarbeidet. Osnes er medlem av den nye publikasjonskomitéen.

NFS' medlemskontingent til EPS for 1989 var kr. 29.850,-. For 1990 har NAVF gitt en reisebevilgning på kr. 25.000,- til vår EPS-representasjon.

Selskapet er medeier i Europhysics Letters. Osnes represnterer de nordiske fysiske selskaper oversfor tidsskriftet, som er inne i en positiv faglige og økonomisk utvikling.

EPS sliter fortsatt emd økonomiske problemer. Det skyldes dels at selskapet har relativt få individuelle medlemmer, dels at de store medlemsselskapene ikke betaler full kontingent for alle sine medlemmer, og dels at kontingenten fra de øst-europeiske medlemmer betales i ikke-konvertibel valuta. Eksekutivkomitéen prioriterer nå arbeidet med EPS' økonomi.

INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED PHYSICS

Styret utgjør sammen med Haakon Olsen fra Det Norske Videnskaps-Akademi den norske nasjonalkomité for IUPAP. Norge har denne representasjonen i IUPAP:

P.C. Hemmer,
Executive Committee, Vice-President.

K. Birkeland,
C.2.SUN-AMCO (Symbols,Units, Nomenclature, Atomic Masses and Fundamental Constants), Vice-Chairman.

J. Feder,
C.3.Thermodynamics and Statistical Mechanics.

P. Maltby,
C.19.Astrophysics, Secretary.

Funksjonstiden er tre år, og det er nyvalg ved generalforsamlingen i Dresden i september 1990.

MENNESKERETTIGHETER OG AKADEMISK FRIHET

Selskapets utvalg for menneskerettighetsspørsmål består av Per Chr. Hemmer, Kristoffer Gjøtte rud og Tormod Riste (leder). Etter innstilling fra utvalget sendte styret 15. nov. 1989 en henvendelse til de mauretanske myndig heter om å la fysikeren Abdul Aziz Kane, som i 1987 ble dømt til 5 års fengsel på sviktende grunnlag, få sin sak prøvet på nytt.

FYSIKK OG SAMFUNN

Den mediedebatt som fulgte styrets henvendelse til Kringkastingsrådet i desember 1988 om å ansette flere programmedarbeidere med naturvitenskapelig bakgrunn, og som ble omtalt i forrige årsmelding, er kort kommentert i Nils Roll- Hansen og Geir Hestmarks skrift "Miljøforskning mellom vitenskap og politikk" (NAVFs utredningsinstitutt, melding 1990:2).

TAKK

Styret vil rette en takk til alle tillitsvalgte i selskapet for oppofrende frivillig innsats til beste for norsk fysikk. En spesiell takk rettes til Ove Havnes, som gikk ut av styret ved årsskiftet etter fire år som styremedlem, hvorav de tre siste som visepresident.

Blindern, juni 1990 Eivind Osnes

president

Årsmøtet 1990

Arne T. Skjeltorp, vinner av IBMs fysikkpris 1990, kvitterte for prisen med et foredrag "Playing with spheres".

Norsk Fysisk Selskap hadde årsmøte i Tromsø tirsdag 26. juni 1990. Presidenten Eivind Osnes ønsket velkommen til møtet.

SAKLISTE

1. Godkjenning av innkalling og sakliste
2. Referat fra årsmøtet 1989 (se FFV Nr. 3 1989)
3. Årsmelding
4. Norsk Fysikkråd
5. Regnskap for NFS og FFV for 1989
6. Budsjett for 1990 og 1991 for NFS og FFV
7. Valg:
   a) President
   b) 2 styremedlemmer
   c) 1 varamedlem
   d) medlemmer til Norsk Fysikkråd
8. Fysikermøtet 1991
9. Eventuelt

Pkt.1.

Det var ingen bemerkninger til innkallingen eller saklisten.

Pkt.2.

Referatet fra årsmøtet 1989 ble godkjent uten bemerkninger.

Pkt.3.

Årsmeldingen var lagt ut som møtedokument og vil også bli gjengitt i Fra Fysikkens Verden. Presidenten gikk gjennom årsmeldingen og kommenterte de forskjellige punktene. Det har vist seg vanskelig å verve flere kollektive medlemmer, mens medlemstallet ellers er jevnt stigende. Osnes takket redaktørene av Fra Fysikkens Verden for deres arbeid med tidsskriftet. F. Ingebretsen tok gjerne i mot både ris og ros, og oppfordret folk til å skrive. Det ble foreslått at man tar kontakt med foredragsholderne på Fysikermøtet for å få en populær kortversjon av foredraget. Et annet forslag gikk ut på at man sørger for at alle som tar doktorgraden får en pressemelding i FFV. Ingebretsen vil oppfordre til dette i neste nr. av FFV.

Faggruppene er viktige for selskapet og presidenten fant det gledelig at det er markert økt aktivitet i gruppene. Rapporteringsskjemaet har i år fått en ny rubrikk for økonomi som ikke alle hadde klart (rukket) å fylle ut i år, men han håpet på bedre respons neste år. Det manglet rapporter fra gruppene for Akustikk, Datafysikk og måleteknikk, Geofysikk/ionosfærefysikk og Optikk. Det var lagt ut endel kopier av rapportene. Interesserte kan få disse ved henvendelse til sekretariatet. Redaktøren av FFV etterlyste morsomme referater fra gruppenes møter

og seminarer.

Presidenten berømmet og takket Ingerid Hiis Helstrup og Svein Lie for deres utrettelige arbeid med Fysikkolympiaden og han takket også Ove Havnes for hans innsats som styremedlem og visepresident gjennom 4 år.

Årsmeldingen ble godkjent.

Pkt.4.
Det vises til Norsk Fysikkråds årsmelding som står i Fra Fysikkens Verden nr. 2, 1990.

Pkt.5.
Regnskapet for NFS ble godkjent med et overskudd på kr. 51.293,89 og FFVs regnskap ble godkjent med et overskudd på kr. 55.604,34.

Pkt.6.
Det reviderte budsjettet for NFS for 1990 ble godkjent, likedan budsjettet for 1991. Her ble det bemerket at neste års Fysikkolympiade skal være på Cuba så en burde kanskje være forberedt på noe høyere utgifter.

Budsjettene for FFV for 1990 og 1991 ble også godkjent.

Pkt.7.
Valgkomitéens innstilling ble lagt frem av J.M. Hansteen, og E. Osnes ledet valget. Valgkomitéens innstilling ble fulgt og følgende ble valgt (fra 1.1. 1991):

a) Thormod Henriksen, president
b) Egil Leer, styremedlem (ny)
Haakon Olsen (gjenvalg)
c) Unni Pia Løvhaug, varamedlem (gjenvalg)

Revisorene Finn Tønnessen (NFS) og Arne F. Andresen (FFV) med vararevisor Jean Debernard ble gjenvalgt.

Osnes takket valgkomitéen for arbeidet og foreslo den gjenvalgt:

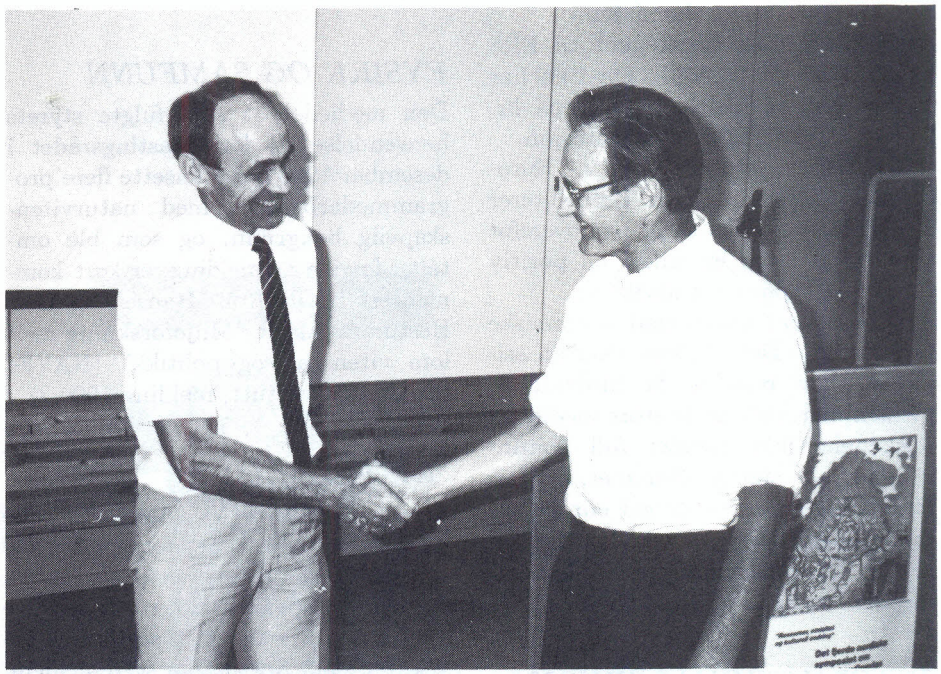
Valkomité:
Tore Amundsen, formann
Johannes M. Hansteen
Jan-Erik Solheim

d) Som NFS' representanter til Norsk Fysikkråd fra 1.1. 1991 ble valgt (for 2 år):

Medlemmer:
Jan S. Johannessen
Bjørn Berre
Marianne Foss
Thormod Henriksen

Varamedlemmer:
Dag Slotfeldt-Ellingsen
Rune Time
Anne Grete Frodesen
Berit Kjeldstad

Thormod Henriksen takket for tilliten og sa det ikke ville bli lett å ta over som president etter Osnes, men at han ville bruke tiden frem til nyttår til å sette seg grundig inn i Norsk Fysisk Selskaps arbeid.



NFS' nyvalgte president ønskes tillykke av sin forgjenger.

Pkt.8.
Haakon Olsen inviterte til Fysikermøtet i Trondheim 1992. Møtet vil bli arrangert av AVH og NTH i fellesskap. Nærmere tidspunkt vil bli bestemt til høsten.

Pkt.9.
Osnes overrakte blomster til sekretæren og takket for siste års samarbeide. Så takket han for fremmøtet og ønsket vel møtt i Trondheim neste år.

Referent: Gerd Jarrett

∞

Nye medlemmer

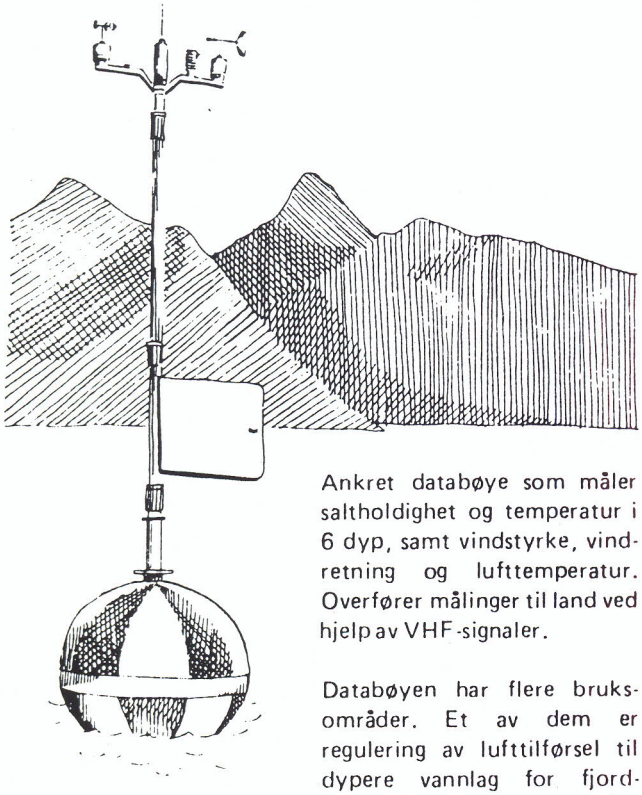
Nye medlemmer tatt opp på styremøtet 24 Juni 1990:

Student Ole Christen Reistad
Herman Wildenveysgt. 96
3022 Drammen

Student Tore Stendahl
K-208 Berg Studentby
7016 Trondheim

NFS' dyktige sekretær etter blomsteroverrekkelsen.

FJORDOVERVÅKNING



Ankret databøye som måler saltholdighet og temperatur i 6 dyp, samt vindstyrke, vindretning og lufttemperatur. Overfører målinger til land ved hjelp av VHF-signaler.

Databøyen har flere bruksområder. Et av dem er regulering av lufttilførsel til dypere vannlag for fjordforbedring.

MADE BY

AANDERAA INSTRUMENTS

Fanaveien 13B
5050 Bergen, Norway
Tlf. (05) 13 25 00.Telex 40049

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

President:
Professor Thormod Henriksen,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Visepresident:
Førsteamanuensis Johan Stadsnes,
Fysisk institutt, Universitetet i Bergen.

Styremedlemmer:
Førsteamanuensis Egil Leer,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.
Professor Haakon A. Olsen,
Fysisk institutt, Universitetet i Trondheim/AVH.
Amanuensis Marianne Foss,
Institutt for Matematiske realfag, Universitetet i Tromsø.

Selskapets sekretær:
Gerd Jarrett,
Fysikkavdelingen, Institutt for energiteknikk, Boks 40, 2007 Kjeller.
Tlf.:(06) 80 60 75
Fax.:(06) 81 09 20
Postgirokonto: 5 88 38 89.
Bankgirokonto: 5102.09.58344.

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:
Førsteamanuensis Øivin Holter,
Førsteamanuensis Finn Ingebretsen,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Redaksjonskomité:
Førsteamanuensis Noralv Bjørnå,
Institutt for matematiske realfag, Universitetet i Tromsø.
Professor Anne Grete Frodesen,
Fysisk institutt, Universitetet i Bergen.
Lektor Ingerid Hiis Helstrup,
Langhaugen skole, Bergen.
Professor Per Chr. Hemmer,
Fysisk institutt, NTH, Universitetet i Trondheim.
Førsteamanuensis Egil Leer,
Astrofysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Ekspedisjonens adresse:
Fra Fysikkens Verden,
Fysisk institutt,
Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern,
0316 Oslo 3.
Tlf.:(02) 45 64 28
Fax.:(02) 45 64 22

Fra Fysikkens Verden utkommer fire ganger årlig. Abonnement kan tegnes direkte fra ekspedisjonen. Årsabonnement kr. 90,-. Studenter og skoleelever kr.45,-. Løssalg kr. 30.- pr. nummer.

Postgirokonto: 0807 5 10 47 24
Bankgirokonto: 6094.05.40227