

Fra Fysikkens Verden

NR. 1 – 2022
84. ÅRGANG

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP



Norsk teori om anyoner kan ha blitt bekreftet

Les også om:

- Akselerasjonsmåling
- Personomtaler

■ PET

Nr. 1 – 2022

84. årgang

Utgiver:

Norsk Fysisk Selskap
www.norskfysisk.no

Redaktører:

Professor emeritus Øyvind Grøn
OsloMet – Storbyuniversitetet og UiO
E-post: oyvind.gron.no@gmail.com

Professor Emil J. Samuelsen
Institutt for fysikk, NTNU
E-post: emil.samuelsen@ntnu.no

Redaksjonssekretær:

Maria Hammerstrøm
Realfagsbiblioteket, UiO
E-post: maria.hammerstrom@astro.uio.no

Redaksjonskomité:

Professor Odd-Erik Garcia, Institutt for fysikk, UiT
Professor Ellen K. Henriksen, Fysisk institutt, UiO
Førsteamanuensis Trygve Buanes, Institutt for
datateknologi, elektroteknologi og realfag, HVL

Layout og sats:

Maria Hammerstrøm

Forsidebilde:

Science

Trykkeri:

Oslo Sats, repro og montasje A/S

Abonnere:

Fra Fysikkens Verden kommer ut fire ganger årlig.
Abonnement tegnes på følgende postadresse
eller e-post:

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

E-post: nfs.styret@gmail.com

Årsabonnement: 200 kr. (studenter 100 kr.)
Bankgiro: 7878.06.03258

Retningslinjer for bidragsyttere

Fra Fysikkens Verden (FFV) utgis av Norsk Fysisk Selskap og sendes til alle medlemmer. Disse er vanligvis utdannet fra universiteter og høyskoler med fysikk i sine fagkretser. Andre kan også abonnere på bladet. Blant disse er elever og biblioteker ved videregående skoler.

Frist: Bladet gis ut fire ganger i året: mars, juni, oktober og desember. Tidsfristene for stoff er: 1. februar, 1. mai, 1. september og 1. november. Opplaget er for tiden 1300.

Formål: Formålet med *FFV* er å gi informasjon om aktuelle tema og hendiger innen fysikk, og å bygge bro mellom forskere, fysikklærere, studenter og andre interesserte. Ikke minst ønsker *FFV* å være til hjelp for elever og lærere i videregående skole og andre undervisningsinstitusjoner. Dette krever at artikler og annet stoff er skrevet på norsk og på en lett forståelig måte. Faguttrykk må defineres. En verbal form er oftest å foretrekke fremfor matematikk. Men det må brukes standard begreper og enheter. Matematikken må være forståelig for fysikkstudenter. Artiklene i *FFV* skal primært gi informasjon til dem som er utenfor det aktuelle fagfeltet. Artikler som bare forstås av en liten faggruppe har ingen plass i bladet. Alt stoff blir vurdert redaksjonelt, og redaksjonen forbeholder seg rett til å foreta mindre endringer.

Filformat: Manuskripter leveres i en form som forfatteren mener er direkte publiserbar. De skal levers elektronisk som e-post, og i et rent tekstformat (for eksempel Word), slik at redaksjonen kan redigere teksten direkte. Dersom manuskriptet inneholder matematiske ligninger, skal manuskriptet også leveres som PDF.

Lengde: Artikler bør ikke være lengre enn 6 sider med trykt tekst og figurer. Større avsnitt i teksten bør markeres med undertitler. Unngå fotnoter. Referanser kreves ikke, men det er ønskelig med en liste over lett tilgjengelig tilleggsstoff.

Småstykker: Gratulasjoner, nekrologer, bokomtaler, skolestoff, møterefater og lignenede mottas gjerne, men de må ikke være lengre enn 1–2 sider. Doktoromtaler begrenses til en halv side inkludert bilde.

Illustrasjoner: Legg mye omtanke i figurer, ettersom de er en viktig del av en artikkel. All figurtekst skal være på norsk. Figurene bør være av god oppløsning. Figurer og tabeller skal være referert i den løpende teksten. Hvis forfatterne selv ikke har laget figurene, skal opprinnelsen oppgis. Forfatterne må selv innhente tillatelse til bruk av slike illustrasjoner.

Korrektur: Forfatterne får tilsendt korrektur når layout er satt opp som må returneres snarest. Det må ikke gjøres unødige endringer i korrektur.

Innhold

Fra redaktørene Øyvind G. Grøn 3

Artikler

- 45 år gammel norsk teori ble brått nobel-aktuell *Hilde Lynnebakken* 4
Om partikler, antipartikler og positronemisjonstomografi (PET) *Jan Folkvard Evensen* 8
Akselerasjon målt med en smarttelefon *Lars Egil Helseth* 12

Personomtaler

- Gratulerer: Emil J. Samuelsen *Gruppe for Røntgenfysikk ved NTNU, m.fl.* 16
In memoriam: Per Christian Hemmer *Eivind Hiis Hauge* 17
In memoriam: Torleif Abell *Sten A. Egeland, J. Holtet, K. Måseide, B. Lybekk og E. Trondsen* 18

FRA REDAKTØRENE

Eksistensen av en type såkalte «kvasipartikler» som ingen hadde tenkt på tidligere, ble forutsagt av Jon Magne Leinaas og Jan Myrheim ved Universitetet i Oslo i 1977. Partiklenes egenskaper ble videre undersøkt av Frank Wilczek ved Princeton University som introduserte navnet *anyons* i 1982. Partiklenes eksistens ble demonstrert eksperimentelt først i 2020. Her skjedde tingene i riktig rekkefølge. Kraftfull teori forutsa eksistensen av noe som aldri hadde vært observert. Så belønnes jakten på å teste teorien med en eksperimentell påvisning av at «naturen adlyder teorien». Slik kan det i hvert fall fortone seg, og det maner til undring! Vi har gleden av å presentere en artikkel om dette i vårt første nummer av *FFV* for 2022.

Avansert teknologi basert på kunnskap både om stråling og faste stoffers egenskaper har medisinske anvendelser. Dette får vi et godt eksempel på i en artikkel av Jan Folkvard Evensen.

I den tredje fysikkartikkelen i dette nummeret av *FFV* forteller Lars Egil Helseth om hvordan vi kan bruke en smarttelefon til å måle akselerasjon.

Vi gleder oss over å kunne presentere disse artiklene. Men dette nummeret av bladet er på kun 20 sider. Vi sliter med å få inn nok stoff. Kjære lesere og fysikkvenner: Nå er tiden inne til å skrive med tanke på publisering i *FFV*. Vi tar imot stoff av interesse for vår lesekrets av fysikkinteresserte personer: Nyhetsstoff – fysikk du ønsker å forklare for dine studenter eller lesere – fysikkhistorie – og ikke minst: Alle doktorgradsveiledere bør profilere sine doktorgradskandidater ved å presentere doktorandenes arbeider i *FFV*!



Øyvind G. Grøn



Emil J. Samuelsen

45 år gammel norsk teori ble brått nobel-aktuell

Nye eksperimenter kan ha bekreftet en teori som ble klekket ut foran en krittavle i Oslo på 1970-tallet. Møt de gåtefulle anyon-partiklene.

Hilde Lynnebakken Fysisk institutt, UiO

Artikkelen ble først publisert hos Titan.uio.no.

Historien starter midt på 1970-tallet. To unge fysikere, Jon Magne Leinaas og Jan Myrheim, jobber som vitenskapelige assistenter ved Universitetet i Oslo. De foreleser i kvantefysikk, og stusser begge over en lite overbevisende utledning i lærebøkene.

For å forstå litt mer om hva de etterhvert skulle oppdage må vi bevege oss ned i den fascinerende virkeligheten på de minste skalaene, hvor ting ikke fungerer helt som vi er vant til.

Todeling av kvanteverdenen

En etablert sannhet i partikkelfysikken er at det skal finnes to, og bare to, hovedtyper av partikler (Figur 1). De er enten bosoner som fotonet og Higgs-partikkelen, eller fermioner, som elektronet og kvarkene, som er byggesteinene i alle grunnstoffene.

Denne todelingen har enorm praktisk betydning. Fermionene nekter å opptre likt, eller på kvantemekanisk: De er tvunget til å være i hver sin kvantetilstand. Denne tvangstrøya sørger for at elektronene i atomene okkuperer hver sin plass

omkring atomkjernen, og gir oss hele periodesystemet av ulike grunnstoffer.

Bosonene er grunnleggende annerledes. De vil gjerne være i samme kvantetilstand. En laser er et slående eksempel på bosoner, i dette tilfellet lyspartikler, som marsjerer i takt: Nøyaktig samme bølgelengde og samme retning.

De to kollegene Myrheim og Leinaas ved UiO syntes «beviset» for denne todelingen var noe ullen.

Hva hvis verden er flat?

– Jan og jeg oppdaget at vi begge hadde tenkt at utledningen var mangelfull, forteller Jon Magne Leinaas. Men det er enkelt å godta gamle sannheter, når mange har gjort det før deg.

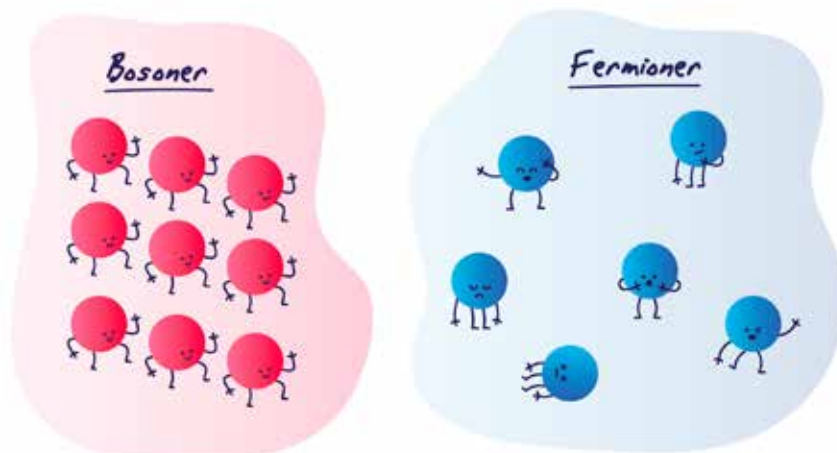
De to møttes til diskusjoner ved krittavla, og regnet seg etterhvert fram til at hvis verden er flat, eller i 2D om du vil, ville det være flere muligheter enn bosoner og fermioner. Men vi lever jo i tre romlige dimensjoner, innvender du kanskje nå?

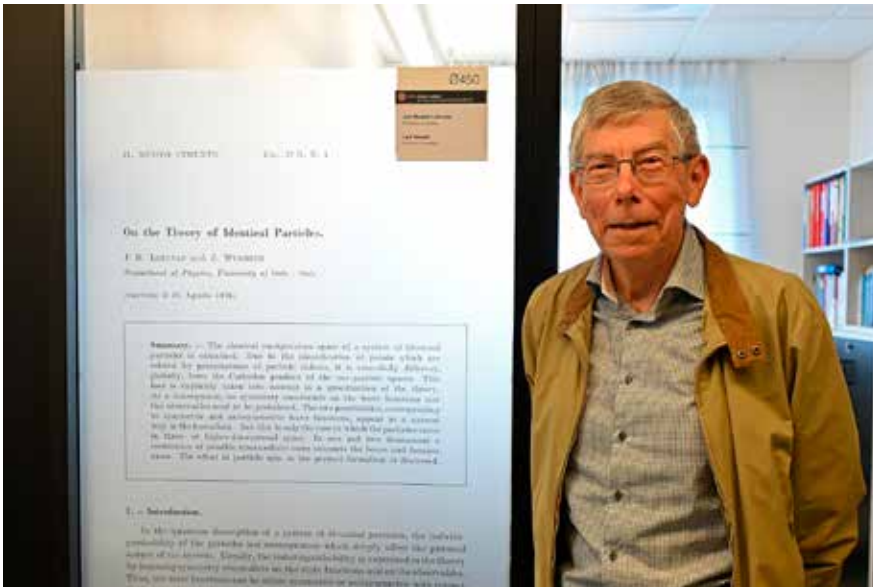
– At rommet er tredimensjonalt er en ting, men at bevegelsen til partikler kan begrenses til en og to dimensjoner er en annen ting, påpeker Leinaas.

– Vi hadde ikke dengang kjennskap til noe kvantemekanisk system hvor det var tilfelle, og spekulerte heller ikke over det. Desto mer overraskende var det da det noen få år senere ble påvist systemer som stemte overens med det vi teoretisk hadde påvist, sier han.

Med utvikling på eksperimentfronten har det

Figur 1. De røde bosonene oppfører seg gjerne kollektivt og på samme energinivå, mens de blå fermionene holder seg på avstand av hverandre og har ulik energi. (Illustrasjon: Maria Hammerstrøm)





Figur 2. Seksjonen for teoretisk fysikk har sørget for å bruke artikkelen til Jon Magne Leinaas (venstre) og Jan Myrheim (under) som folie på glassveggen inn til kontoret til Leinaas. (Foto: Hilde Lynnebakken/UIO)



etterhvert blitt mulig å lage 2D-materialer for å studere fenomenene i praksis, og i en moderne databrikke lever elektronene i realiteten i en todimensjonal verden. Karbonmaterialet grafén, som EU har satt av 1 milliard euro til å forske på, er ett atomlag tynt – og dermed et todimensjonalt materiale.

Havnet nesten i glemmeboka

Det drøydde en stund før arbeidet til de to UiO-fysikerne ble skrevet ned, delvis fordi Leinaas dro til Stony Brook i New York og Myrheim til CERN.

– Jeg hadde nærmest skiftet fagfelt og jobbet med kjernefysikk mens jeg var ved Stony Brook, men i løpet av vårsemesteret i New York ble jeg enig med Jan om at vi burde få samlet i artikkelform det vi hadde funnet ut om systemer av identiske kvantemekaniske partikler, forteller Leinaas.

Etter noen brevvekselvirkninger fram og tilbake hadde de i august 1976 et ferdig produkt. «On the Theory of Identical Particles» ble publisert i januar 1977, i det italienske fysiske selskapets tidsskrift *Il Nuovo Cimento*, et populært sted å publisere på den tiden.

Deretter ble det stille. De første årene var det nesten ingen som tok notis av arbeidet til de to norske fysikerne, men så dukket det opp overraskende resultater fra eksperimenter.

Overraskelser fra laboratoriet

I 1980 gjorde den tyske fysikeren Klaus von Klitzing forsøk med transistorer ved et laboratorium i Grenoble. Natt til 5. februar, rundt klokka to, forteller han selv, fikk han et uventet resultat.

Det viste seg at når elektroner bare kan bevege seg i en flate, i lav temperatur og påsatt et sterkt magnetfelt, vil spenningen variere trinnvis med endringer i magnetfeltet. Kvantehalleffekten var oppdaget.

Verdiene som spenningen kan ha er en kom-

binasjon av fysiske konstanter delt på et heltall, dermed ble fenomenet hetende heltallig kvantehalleffekt. Men overraskelsene var ikke over med denne oppdagelsen.

– Et par år etter ble det oppdaget nye trinn av spenningen innimellom de heltallige, forteller Leinaas, og dette nye fenomenet ble dermed hetende fraksjonell kvantehalleffekt.

– Til å begynne med hadde en ingen forklaring på dette, forteller Leinaas, men etterhvert ble det akseptert at elektronene danner en ny type partikler med en brøkdel av ladningen til et elektron.

Frank Wilczek, senere nobelprisvinner, har foreslått at disse partiklene er en type *anyon*er. Wilczek er forøvrig den som kom opp med navnet anyoner, en referanse til at egenskapene deres er «anything» mellom fermioner og bosoner.

– Den første tiden var det lite henvisninger til vår artikkel, så jeg skrev til Wilczek og gjorde ham oppmerksom på arbeidet vårt, sier Leinaas.

Etter dette har Leinaas og Myrheim fått den anerkjennelsen de fortjener. Her er Wilczek i 2017 om hvordan kvantemekaniske partikler interagerer: «The modern answer to that question is deep, beautiful and surprisingly recent. It emerged in the late 1970s, more than 50 years after quantum mechanics matured, and it was catalyzed by the pioneering work of Jon Leinaas and Jan Myrheim.»

Anyon-kollisjoner

En ting er teorien. I praksis har det vist seg å være usedvanlig komplisert å finne anyonene. Flere forsøk har påvist anyoner indirekte gjennom årene, men i fjor dukket det opp to ulike eksperimenter som begge hevder å ha sett anyoner direkte.

I april 2020 fortalte en gruppe franske forskere at de hadde greid å kolliderer anyoner i laboratoriet [1]. Forskerne sammenlikner eksperimentet

«Er dette det definitive gjennombruddet for anyon-teorien?»

sitt med et fireveis kryss på en vei, med to veier inn og to veier ut.

– Hvis du sender fermioner, som «hater» hverandre, ned de to veiene vil de møtes i krysset, men gå hver sin vei etterpå. Sender du bosoner, som liker hverandre, vil de forlate krysset sammen. Anyoner oppfører seg helt annerledes. De har en tendens til å klumpe seg sammen, men ikke så mye som bosoner, forklarer en av de involverte forskerne.

Resultatene stemmer perfekt overens med hva anyon-teorien forutsa.

Partikler med hukommelse

Bare noen måneder senere annonserte amerikanske forskere ved Purdue-universitetet resultatene fra et eksperiment som utnytter et annet av anyonenes særtrekk [2]. Matematisk kan partiklers bevegelser beskrives av likninger som har samme form som de som beskriver bølger – en bølgefunksjon.



Figur 3. Partikkelveikryss slik en illustratør har tenkt seg: Fermioner, bosoner og anyoner oppfører seg ulikt når de møtes. Forsiden på Science, 10. april 2020.

Hvordan like partikler påvirker hverandres bølgefunksjon avgjør hva slags partikkel vi har med å gjøre. Ta to like bosoner, for eksempel lyspartikler, og la dem snurre omkring hverandre. Bølgefunksjonene som beskriver tilstanden før og etter snurringen er like.

Gjør du samme øvelse med to elektroner, altså fermioner, er bølgefunksjonene like, men har motsatt fortegn.

Anyoner, derimot, endrer hverandres bølgefunksjoner. Bølgefunksjonen holder faktisk styr på hvor mange ganger og i hvilke mønstre anyonene beveger seg rundt hverandre. Denne egenskapen ved anyoner er det flere forskere, blant annet hos Microsoft, som forsøker å utnytte i kvantedatamaskiner.

Gruppen ved Purdue lot et anyon bevege seg langs en bane som går rundt et annet anyon. Og ganske riktig: Målinger av den elektriske strømmen i systemet hadde «hopp» som tilsvarer at anyonet har endret bølgefunksjon når det går rundt det andre.

Velkommen, anyoner?

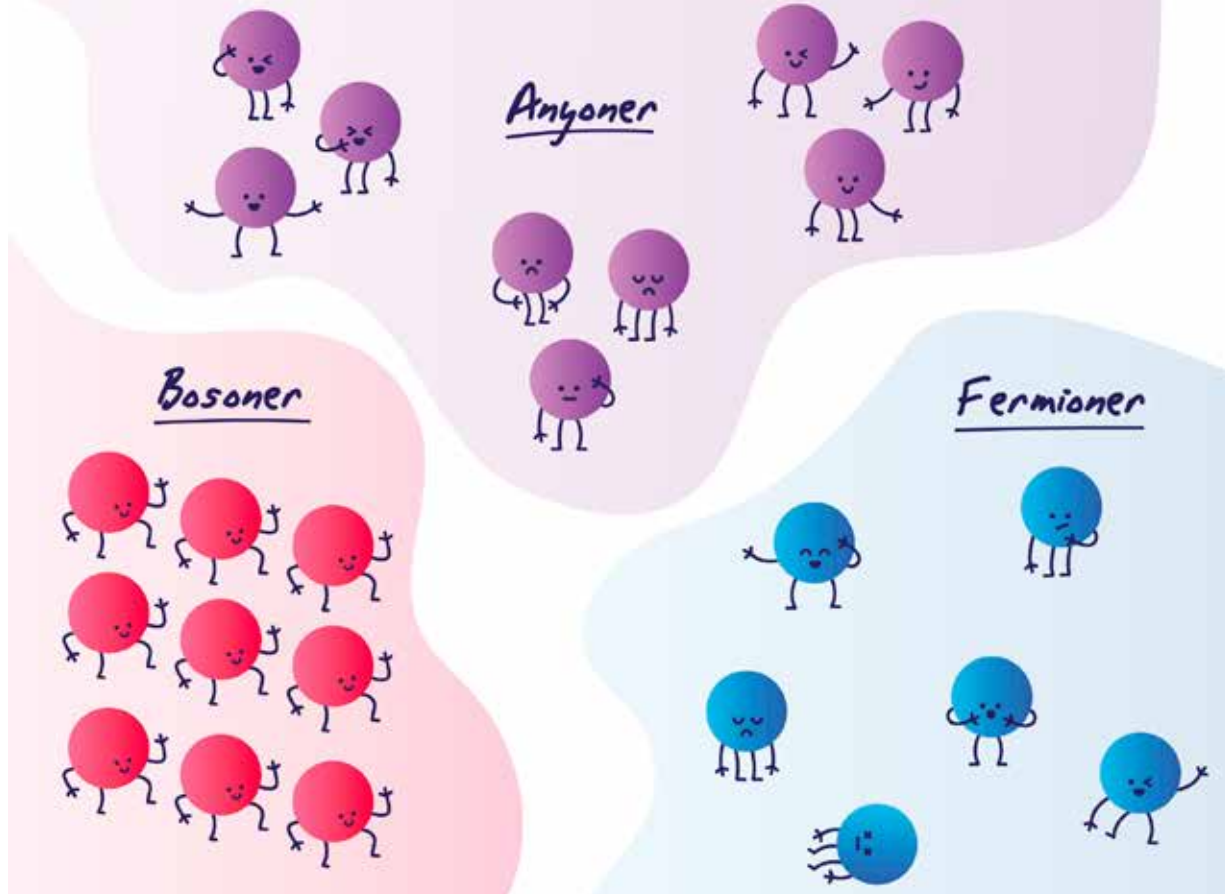
«Welcome anyons!» skrev tidsskriftet *Nature* da de omtalte resultatene fra eksperimentet. Så er det store spørsmålet: Er dette det definitive gjennombruddet for anyon-teorien?

– Det er et godt spørsmål, som det ikke er opp til meg å svare på, det må ekspertene på eksperimenter vurdere, mener Leinaas.

Men hvorfor er disse nye eksperimentene så viktige? Var ikke anyonene egentlig oppdaget da den fraksjonelle kvanteeffekten dukket opp på 1980-tallet?

– Anyon-teorien stemmer godt overens med det som er målbar i den fraksjonelle kvantehall-effekten. Men for helt å utelukke andre mulige forklaringer har det vært viktig å kunne påvise direkte at det er anyoner tilstede, forklarer Leinaas.

– Å vise dette eksperimentelt har imidlertid vist seg å være svært vanskelig, ikke minst fordi det er kompliserte eksperimenter. Begge de nye eksperimentene har vært presentert som løsninger på dette problemet, og de har fått svært positive omtaler av flere spesialister på området, fortsetter han.



Figur 4. Anyoner er litt midt imellom bosoner og fermioner. Bosoner marsjerer i takt i samme kvantetilstand - samme energinivå, fermioner holder seg i hver sin tilstand, mens anyonene grupperer seg i små grupper med nesten samme tilstand. (Illustrasjon: Maria Hammerstrøm)

En som har fulgt utviklingen innen fagfeltet, er Leinaas' tidligere student Henrik Røising. Han har en doktorgrad fra Oxford og er nå postdoktor i Stockholm.

– Personlig synes jeg Perdue-eksperimentet virker ganske overbevisende. Forskerne har gjort en svært ærlig og transparent analyse, og en grundig jobb med å forstå en rekke aspekter ved dataene sine. Det er veldig spennende at man omsider har en så klar indikasjon på at anyoner eksisterer i kvantehall-systemet, sier han.

– Om anyonteorien er verdig en nobelpris, vet jeg ikke om jeg har historisk eller faglig tyngde til å uttale meg om, men det er nok definitivt «oppe og nikker» blant nobelprisverdige bidrag i fysikken, mener Røising.

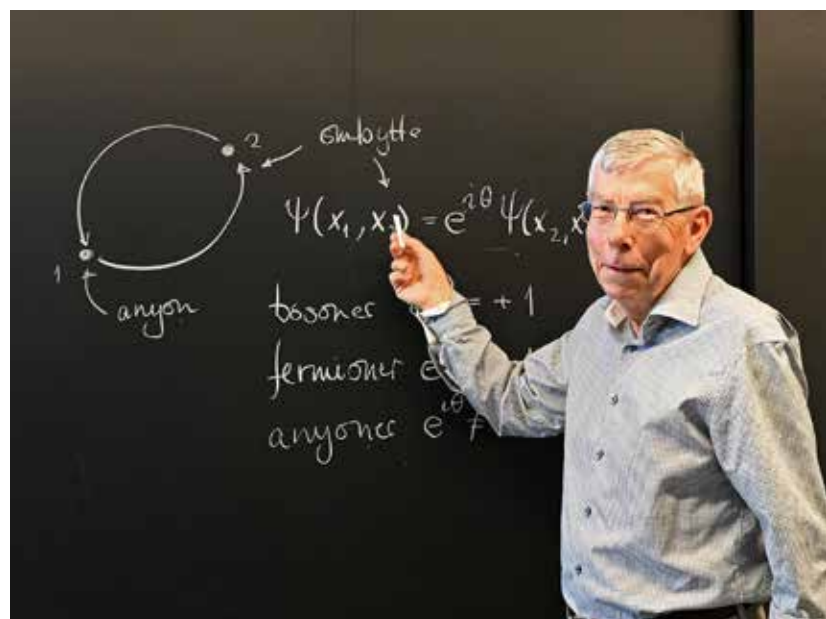
Instituttleder for Fysisk institutt i Oslo, Susanne Viefers, er ikke i tvil om at anyon er nobelmateriale:

– Jeg mener bestemt at oppdagelsen til Jan og Jon Magne er i nobelprisklasse. Den er et fundamentalt, varig og betydningsfullt bidrag til fysikken. Det som har manglet som en endelig bekreftelse på anyonenes eksistens, har vært en overbevisende, direkte eksperimentell observasjon av den statistiske fasefaktoren.

Denne brikken mener jeg falt på plass med eksperimentene fra 2020. Hvis Nobelkomitéen ser det på samme måte, vil jeg si at tiden er moden. ■

Vitenskapelige artikler

- [1] H. Bartolomei, M. Kumar, R. Bisognin, A. Marguerite, J.-M. Berroir, E. Bocquillon, B. Placais. «Fractional statistics in anyon collisions». Science, Apr 2020.
- [2] J. Nakamura, S. Liang, G.C. Gardner & M.J. Manfra. «Direct observation of anyonic braiding statistics». Nature physics, Sept 2020.



Figur 5. Leinaas overlater til andre å svare på om de nye eksperimentene er et gjennombrudd for anyon-teorien.

Om partikler, antipartikler og positronemisjonstomografi (PET)

Jan Folkvard Evensen Onkolog

Det gis en kortfattet oversikt over utviklingen av den delen av fysikken som er særlig relevant for positronemisjonstomografi (PET). Dernest forklares fysikken i det som foregår ved PET. Artikkelen rundes av med en oppsummering av de viktigste medisinske anvendelsene av PET.

Historikk

Et av de større gjennombrudd i fysikken var oppdagelsen av elektronet i 1897. Ved nøyaktige målinger av hvordan katodestråler ble avbøyd i elektriske og magnetiske felt kunne J.J. Thomson (1856–1940) bestemme forholdet mellom katodestrålenes elektriske ladning e og masse m . Forholdet tilsa at katodestrålene besto av svært små partikler i atomær skala. Han kalte dem korpuskler. De fikk siden navnet elektroner.

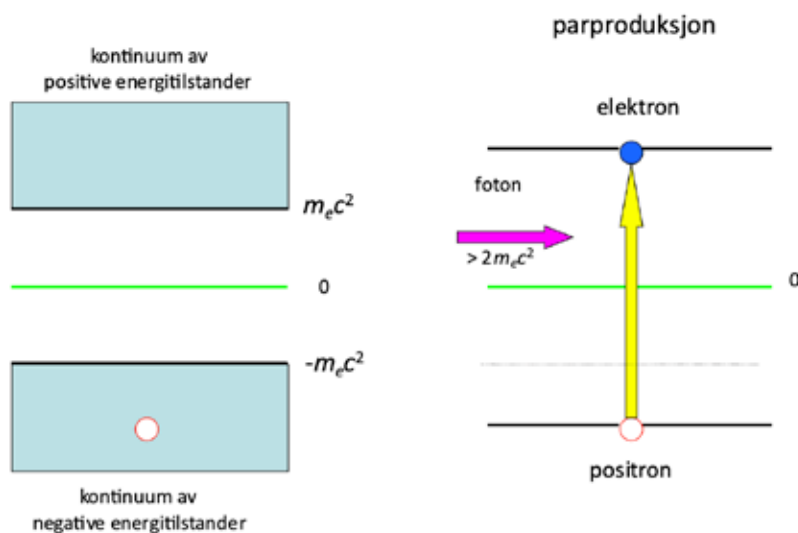
På slutten av 1800-tallet rådet den klassiske fysikk. Ved hjelp av Newtons mekanikk, Maxwells elektromagnetisme, og termodynamikk mente man å kunne gi en fullstendig beskrivelse av naturen. Selv om lys er elektromagnetiske bølger, er det naturlig også å nevne optikk som et eget fagfelt for 1800-tallets fysikk. Der var imidlertid en del eksperimentelle observasjoner som ikke lot seg forklare med klassisk fysikk. Først og fremst gjaldt det stråling fra sorte legemer. Problemet ble kalt «den ultrafiolette katastrofen», og besto

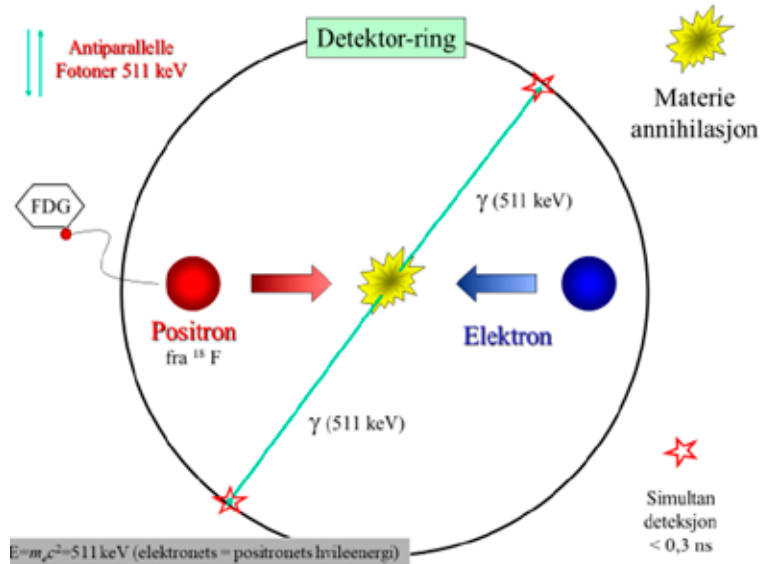
av at 1800-tallets intensitetsfordeling for elektromagnetisk stråling var slik at når man integrerte energien til elektromagnetisk stråling over alle frekvenser, ble svaret «uendelig stor energi», noe som åpenbart måtte være feil. I 1900 løste Max Planck (1858–1947) problemet ved å kvantisere energien. På atomær skala er ikke energien en kontinuerlig størrelse, den kan bare anta diskrete verdier. Dette kalles kvantisering.

I de påfølgende 25–30 år ble kvantemekanikken utviklet [1]. Kvantemekanikk er en matematisk formalisme utviklet for å kunne beskrive fenomener på atomær skala. På atomært nivå oppfører naturen seg helt annerledes enn måten vi er vant til å tenke på. Fysikken er ikke lenger deterministisk, men stokastisk. Det vil si vi kan bare angi sannsynlighet for begivenheter som kan inntruffe. Kvantemekanikken har vært et uunnværlig verktøy for å forstå naturen og ligger til grunn for store deler av nåværende og fremtidige teknologi.

Sentralt i arbeidet med kvantemekanikken sto Werner Heisenberg (1901–1976) og Erwin Schrödinger (1887–1961). De kom til målet ad noe forskjellig vei, Heisenberg med matrisemekanikk, Schrödinger med bølgemekanikk. Schrödingers tilnærming til kvantemekanikken var nok den mest fruktbare. Det hadde å gjøre med lys. Lys var lenge ansett som bølgebevegelse; mange lysfenomener

Figur 1. Mulige energinivåer for elektronet iht. Diracs teori. Nederste energinivå, fra negativ hvileenergi ($-m_e c^2$) til $-\infty$, kalles «Dirac sea». Vakanser (hull) i Dirac-«sjøen» svarer til positroner.





Figur 2. PET-skanner med ringformet scintillasjonsteller. Merk at selve annihilasjonen ligger på den rette linje mellom to samtidige (<0,3 ns) hendelser på scintillasjonsringen.

lot seg best forklare ved å betrakte lys som bølger, for eksempel interferens. Ikke minst støttet Maxwells likninger opp om lys som bølgebevegelse [2].

På begynnelsen av 1900-tallet, ble bølge-teorien alvorlig utfordret ved Plancks kvanteteori og Einsteins forklaring av den fotoelektriske effekt; lys måtte ha partikkelnatur. Partiklene fikk senere navnet fotoner. Newton (1642–1727) hadde også den oppfatning at lys var partikler, som han kalte korpuskler.

Kan lys være begge deler? Ja, men aldri begge deler i en og samme situasjon. Avhengig av hvilke fenomener man skal forklare kan lys sees på som bølgebevegelse eller partikler (jfr. komplementaritetsprinsippet [2]). Komplementaritetsprinsippet møter vi i et valg mellom to standpunkter, som – selv om de er innbyrdes motstridene – likevel hver for seg kan rettferdiggjøres. De er nødvendige for en komplett beskrivelse [3].

« Positronet ble påvist i kosmisk stråling i 1932. »

Bølger kan altså oppføre seg som partikler, og i 1924 kom Louis de Broglie (1892–1987) på den revolusjonerende idé at partikler, som for eksempel elektroner, kan uttrykke bølgeliknende egenskaper. Dette ga Schrödinger idéen om likningen som senere har båret hans navn, Schrödingerlikningen som beskriver elektronets bevegelse [1].

Den opprinnelige Schrödingerlikningen var ikke i samsvar med relativitetsteorien, den kunne ikke brukes på partikler med relativistiske hastigheter,

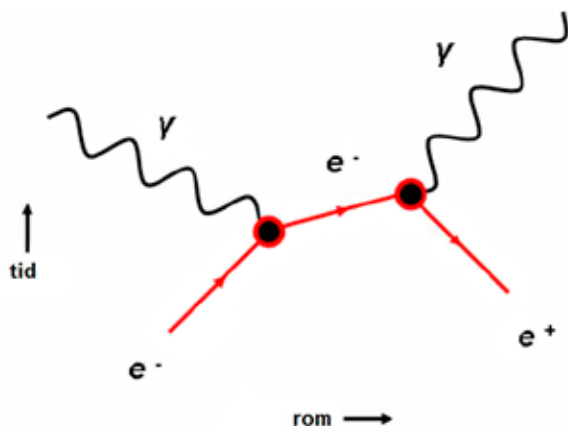
det vil si hastigheter nær lyshastigheten. Flere fysikere forsøkte å finne frem til en kvantemekanikk som kunne håndtere relativistiske effekter, og i 1928 lyktes det P.A.M. Dirac (1902–1984) å finne den relativistiske generaliseringen av Schrödingerlikningen (Dirac-likningen). Dette var en av de største bedrifter i tjuende århundrets vitenskap, og var den første indikasjon på eksistensen av antipartikler/antimaterie. Det mest påfallende ved løsningen av Diracs likning var at elektronet kunne ha både positiv og negativ energi. Dette førte til tolkningsproblemer. Dirac konkluderte med at det for elektronet fantes et kontinuum av positive og negative energitilstander (Dirac sea). Elektronet kunne anta energi fra hvileenergi ($m_e c^2$) til ∞ og fra negativ hvileenergi ($-m_e c^2$) til $-\infty$, men ingen mellomliggende energi (Figur 1).

Et foton med energi $> 2m_e c^2$ vil da kunne løfte et elektron fra en negativ til en positiv energitilstand. Dette etterlater et hull i det negative energikoninuum (Dirac sea). Tomplassen manifesterer seg som et positron, en partikkel med samme masse som elektronet, men med positiv ladning, elektronets antipartikkel. Ved dette dannes altså to partikler, et elektron og et positron. Dette er hva vi kaller pardannelse, en av tre viktige mekanismer vi kjenner fra stråleterapien. De andre er fotoelektrisk effekt og Comptonspredning.

Carl D. Anderson (1905–1991) påviste positronet i kosmisk stråling i 1932.

Annihilering av partikler og antipartikler

Det er intet mystisk ved antipartikler, man kunne godt kalt partikler antipartikler, og vice versa. Det som er litt mystisk er at universet tilsynelatende



Figur 3. Feynmandiagram for elektron-positron-annihilasjon. Merk at positronet (e^+) beveger seg bakover i tid. I Feynmandiagrammer representeres antipartikler som partikler som beveger seg bakover i tid. Dette er imidlertid kun et matematisk triks. Akkurat som vanlig materie, så beveger også antimaterie seg forover i tid. Vinkelen mellom gammakvantene er 180 grader (fremkommer ikke på figuren).

bare består av materie, ingen antimaterie. Man ville forvente like mye av hver. De første sekunder etter big bang var forholdene ekstreme, man antar at det er her ubalansen (symmetribruddet) har oppstått. A. Sakharov (1921–1989), den sovjetiske hydrogenbombens far, har gitt betydelige bidrag i forsøk på å forklare universets baryon-asymmetri, men problemet ansees fremdeles ikke helt løst.

I 1968 vakte Sakharov oppsikt ved å sende ut et stort samfunnskritisk skrift, «Tanker om fremskritt, fredelig sameksistens og intellektuell frihet», som resulterte i at han ble avsatt fra sin forskerstilling. I 1970 dannet han sammen med to andre vitenskapsmenn en upolitisk menneskerettighetskomité, og for sin innsats ble han tildelt Nobels fredspris 1975. Prisen ble mottatt av hans hustru Jelena Bonner, da han selv ikke fikk lov til å reise til Oslo.

Det motsatte av pardannelse er *materie-annihilasjon*. Det skjer når en partikkel kolliderer med sin antipartikkel. Partiklene opphører å eksistere og omdannes til energi i form av gammastråling. Når dette skjer med et elektron-positron-par, dannes to antiparallele (motsatt rettet) gammakvant med energi 511 keV (= elektronets hvileenergi (Figur 2)).

Gammakvantene har motsatt retning slik at impulsen bevares. Det er nettopp dette som er grunnlaget for PET. PET utnytter det faktum at

« Ved PET anvendes nøytronfattige positronemitterende isotoper. »

samtidig deteksjon av to motsatt rettede gammakvanter definerer en linje der punktet for annihilasjon ligger.

Figur 3 viser et såkalt Feynmandiagram av en positron-elektron-annihilasjon. I et Feynmandiagram fremstilles positronet som et elektron som beveger seg bakover i tid. I Feynmandiagrammer representeres antipartikler som partikler som beveger seg bakover i tid. Dette er imidlertid kun

et matematisk triks. Akkurat som vanlig materie, så beveger også antimaterie seg forover i tid.

En norsk fysiker, Aadne Ore (1916–1980), ble internasjonalt kjent for sitt arbeid med et kjernelest atom bestående av et elektron og et positron, det såkalte positronium. Han beskrev det kjernelese atomet på følgende måte: «Atomet er en slags submikroskopisk dobbeltstjerne, hvor de to partnere, et elektron og et positron, virvler om hverandre i en kortvarig dødsdans som ender med materiell tilintetgjørelse og et bluss av elektromagnetisk stråling». Det er dette blusset som gir grunnlag for PET-diagnostikken.

Positronemisjonstomografi (PET)

Utviklingen av PET spanner over mange dekader, med bidrag fra mange spesialiteter. Positron annihilasjonsstråling for avbildning av hjernesvulster ble tatt i bruk så tidlig som i 1950. Det første kliniske PET-instrumentet kom i 1952. Etter hvert fulgte trinnvis utvikling av selve skanneren, fra motsatt roterende detektorer til ringdetektorer. Den første PET-tomografen ble bygget av Michael E. Phelps i 1973 [4].

Selve PET-skanneren består av en ring av scintillasjonstellere som omslutter pasienten (Figur 2). Fotonene fra positron-elektron-annihilasjonen registreres ved samtidighet ($<0,3$ nanosekund = $0,3 \times 10^{-9}$ sekund). På en rett linje mellom de to samtidige hendelser ligger selve annihilasjonspunktet. Ved å registrere ti-tusener av samtidige hendelse er det mulig å kartlegge radioaktivitetens og derved den radioaktive kildens posisjon og utbredelse. Dette gjøres ved å regne seg tilbake til fordelingen av annihilasjonspunktene. Det blir på en måte det inverse problem av hva man står ovenfor i computertomografi (CT-undersøkelser), hvor fotonene går utenfra og inn i stedet for innenfra og ut.

Ved PET anvendes nøytronfattige positronemitterende isotoper, de mest aktuelle er ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O og ^{18}F . Disse dannes ved proton/døytterium-bombardement av henholdsvis ^{14}N , ^{16}O , ^{14}N og ^{20}Ne .



Figur 4. PET/CT-bilde av kreft i tungenrot med spredning til lymfeknuter på høyre side av hals.

De aktuelle nuklider har meget kort halveringstid (mellom 2 og 110 minutter) og må underkastes kjemiske reaksjoner før de er medisinsk anvendbare. Dette må foregå i løpet av 2–3 halveringstider. For at nuklidene skal kunne brukes i diagnostisk sammenheng må de koples til en egnet «vektor», et molekyl som transporterer nukliden dit den skal. I praksis vil det si at de aktive nuklider må dannes umiddelbart før bruk, helst på stedet. Dette gjøres ved hjelp av protoner og døyterium akselerert i en syklotron. Syklotronen [5] inngår derfor som en nødvendig del av et PET-laboratorium. Nyere utvikling med supraledeende magneter har gjort syklotronene mindre og lettere å innpasse i et PET-senter [6].

PET avbilder funksjon og gir lite eller ingen anatomisk informasjon. Avstanden et positron tilbakelegger før annihilasjon er avgjørende for bildeoppløsning. Nuklider som gir lavenergetiske positroner, gir bedre oppløsning enn nuklider som gir høyenergetiske positroner. ^{18}F er i så måte optimal med β -energi på 0,242 MeV og veilengde på i underkant av 1 mm. I tillegg har ^{18}F relativt lang halveringstid, 109,8 minutter [7]. Det er gunstig når det gjelder kjemien som ^{18}F må underkastes før bruk. Anatomisk informasjon får vi ved å «seriekople» en CT-skanner med PET-skanneren, såkalt PET/CT.

Medisinske anvendelser

Det er særlig tre medisinske fagområder hvor PET/CT kommer til anvendelse: onkologi (kreftsykdommer), kardiologi (hjertesykdommer) og nevrologi (hjerne/nerve-sykdommer). Mest brukt er PET/CT innen onkologien. En rekke PET-radiofarma-



Figur 5. En PET/CT-skanner. (Foto: Wikipedia)

søytika har vært brukt for utredning av kreft. Den mest aktuelle er ^{18}F -FDG (2- ^{18}F fluoro-2-deoxy-D-glucose). Dette er en glukose-sukker-analog som avbilder det regionale stoffskifte i hjerte, hjerne og svulster. Eksperimentelle og kliniske studier har vist at ^{18}F -FDG opptak i svulstceller korrelerer med veksthastighet og er en god indikator på malignitet (ondartethet/kreft). PET/CT kan derfor brukes til å kartlegge utbredelse av kreftsykdommer (moder- og datter-svulster). Dette er viktig for å oppnå informasjon som kan brukes for å avgjøre hvordan sykdommen best skal behandles. Det kan også brukes til å følge respons på behandling. Endelig brukes PET/CT til inntegning av svulsten som skal bestråles under strålebehandling (Figur 4). ■

Referanser:

- [1] G. Gamov. *Thirty year that shook physics. The Story of Quantum Theory*. Anchor Books, Doubleday & Company, Inc., Garden City, NY, 1966.
- [2] J.F. Evensen. «International Year of Light 2015 and PDT». *Onkonytt* 2015; 2: s. 96–100.
- [3] H. Olsen. «Niels Bohr – Fysikk og komplementaritet». *FFV* 2000; 3: s. 73–78.
- [4] G.L. Brownell. «A history of positron imaging.» www.umich.edu/~ners580/ners.../Brownell1999_historyPET.pdf
- [5] J.F. Evensen. «Akseleratorfysikk». *Onkonytt* 2015; 1: s. 18–23.
- [6] J.F. Evensen. «Helsebringende protoner». *FFV* 2011; 1: s. 6–12.
- [7] D.J. Dowsett, P.A. Kenny og R.E. Johnston. *The Physics of Diagnostic Imaging*. Second edition, Hodder Arnold, 2006.

Akselerasjon målt med en smarttelefon

De fleste smarttelefoner har en rekke sensorer, som ved hjelp av passende apper gir brukeren tilgang til et avansert fysikklaboratorium. Her skal jeg beskrive noen dagligdagse aktiviteter der det passer å bruke smarttelefonen til å måle akselerasjon.

Lars Egil Helseth Institutt for Fysikk og Teknologi, UiO



Foto: Unsplash

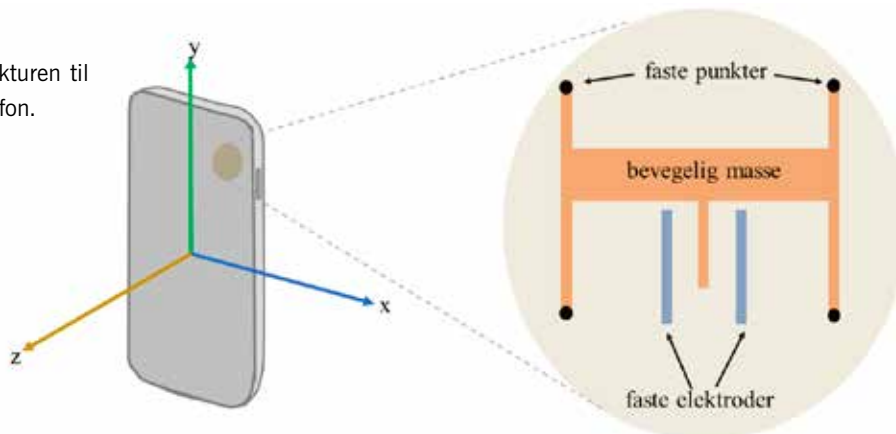
Et akselerometer måler akselerasjonen til et objekt. I løpet av det siste tiåret har slike akselerometer blitt installert i de aller fleste smarttelefoner, og dette gir tilgang til en liten fysikklab i lommen som kan brukes til å undersøke dagligdagse opplevelser [1].

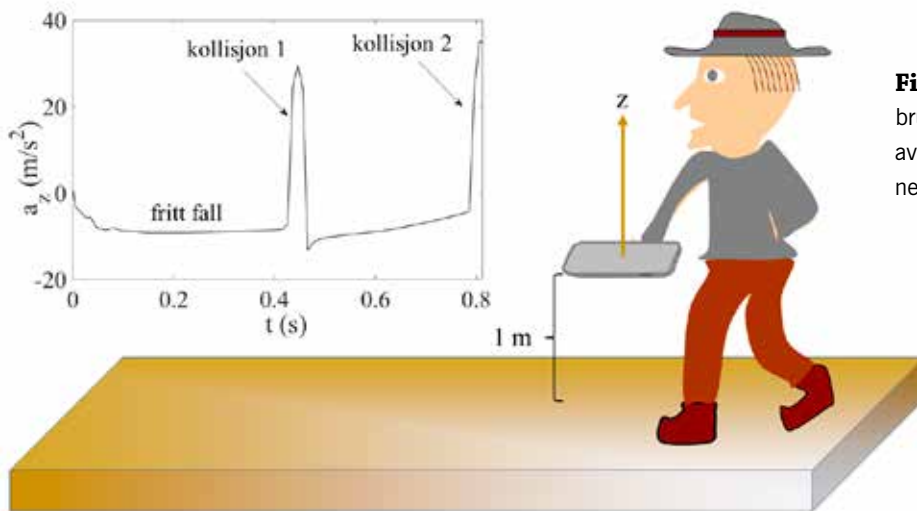
Smarttelefonens akselerometer er basert på små mikroelektromekaniske sensorer montert i en liten silisiumbasert chip. En skisse av et akselerometer er vist i Figur 1. Her er en elektrode med bevegelig masse festet til en fjærmekanisme, mens en annen elektrode holdes fast. Når avstanden

mellom de to elektrodene forandres, vil også den elektriske kapasitansen forandre seg. Ved akselerasjon forskyves den bevegelige elektroden på en måte som avhenger av akselerasjonen, og som fører til en målbar forandring i kapasitansen. Den mikroelektromekaniske strukturen på elektrodene er utformet slik at akselerometeret kan måle akselerasjonen i de tre x , y og z -retningene.

En Samsung Galaxy A40 smartphone ble benyttet i de aktivitetene som beskrives nedenfor, men hvilken som helst annen smarttelefon med akselerometer kan benyttes. Det finnes en rekke ulike

Figur 1. Enkel skisse av strukturen til et akselerometer i en smarttelefon.





Figur 2. Akselerometeret kan brukes til å overvåke ulike deler av et fall og påfølgende kollisjoner med en elastisk madrass.

apper som kan gi tilgang til data fra akselerometeret. Appen phyphox er utviklet ved TU Aachen i Tyskland spesielt med tanke på fysikk og realfagsutdanning [2], og blir brukt i de eksperimentene som skildres her. I appen phyphox kan man benytte «Acceleration (without g)» for å bestemme akselerasjonen ved ulike dagligdagse aktiviteter. Samplingperioden er typisk på rundt 0,01 sekunder, som er liten nok til å få gjort gode målinger i de fleste tilfeller.

Fall og kollisjon

Den første aktiviteten er å la smarttelefonen kollidere med et underlag. Siden de fleste smarttelefoner ikke tåler altfor store kollisjonskrefter, er det anbefalt å la den kollidere med et mykt underlag som for eksempel sand dersom man ønsker en uelastisk kollisjon eller en madrass dersom man ønsker en elastisk kollisjon.

Figur 2 viser akselerasjonen målt når man slipper smarttelefonen fra en høyde en meter ned på en elastisk madrass. Her må z-aksen, så godt som det lar seg gjøre, peke i samme retning mens smarttelefonen faller mot madrassen.

Det tar omtrent 0,1 sekunder før akselerasjonen males til å være omtrent lik tyngdens akselerasjon ($g \approx -9,8 \text{ m/s}^2$), og etter omtrent $\Delta t = 0,4 \text{ s}$ treffer smarttelefonen madrassen. Hastigheten v_b like før kollisjon 1 finner man ved å integrere slik: $v_b = \int_0^{\Delta t} a_z(t) dt \approx 3,1 \text{ m/s}$. Fortegnet er negativt på grunn av valget av positiv z-retning. Denne integrasjonen kan utføres numerisk ved å importere data samlet av appen phyphox i et program som for eksempel MatLab. Alternativt kan man også få et enkelt estimat av akselerasjonen dersom man antar konstant akselerasjon slik at hastigheten kan regnes ved hjelp $v_b \approx g\Delta t \approx -3,9 \text{ m/s}$. Forskjellen i disse to verdiene henger sammen med at akselerometeret ikke måler konstant verdi under

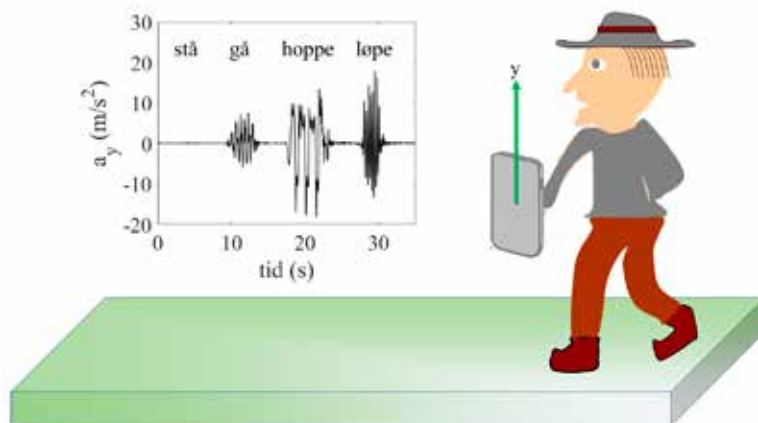
hele fallet, noe som igjen er relatert til hvordan den slippes og luftmotstanden.

Luftmotstanden avhenger av Reynoldstallet og objektets form [3]. Et enkelt estimat av denne luftmotstanden får man ved å bruke $F_D = 1/2 C_D \rho A v^2$, der motstandskoeffisienten C_D er av størrelsesorden en, $\rho = 1 \text{ kg/m}^3$ er massetettheten til luft, og $A = 7 \text{ cm} \times 14 \text{ cm} \approx 0,01 \text{ m}^2$ er tverrsnittsarealet til smarttelefonen når den faller. Setter man inn $v_b = 3,1 \text{ m/s}$, får man $F_D \approx 0,047 \text{ N}$. Siden massen er $m = 0,142 \text{ kg}$, vil tyngdekraften på smarttelefonen være $m g \approx -1,4 \text{ N}$, slik at luftmotstanden bare er 3 % av tyngdekraften. Dette enkle estimatet indikerer derfor at den luftmotstanden er liten og forklare hvorfor den målte akselerasjonen i fritt fall er omtrent den samme som tyngdens akselerasjon før kollisjon 1.

Fra Figur 2 kan man også beregne den elastiske restitusjonskoeffisienten. Etter kollisjon 1 spretter smarttelefonen opp i luften før den igjen treffer madrassen i kollisjon 2 etter et tidsintervall $t_{12} \approx 0,33 \text{ s}$. Ser man bort fra luftmotstand, så er den største hastigheten til smarttelefonens masse senter etter kollisjon 1 gitt ved $v_a \approx g t_{12} / 2 \approx 1,6 \text{ m/s}$ ved det høyeste punktet i banen mellom de kollisjonene. Dermed kan man finne at den elastiske restitusjonskoeffisienten er $e = |v_a / v_b| \approx 0,5$.

I dette estimatet ser man fullstendig bort fra rotasjon av smarttelefonen etter kollisjonen. Som en kuriositet kan man se fra figur 2 at akselerasjonen er $a_z \approx -13 \text{ m/s}^2$ like etter kollisjon 1, og deretter øker til $a_z \approx -4 \text{ m/s}^2$ like før kollisjon 2. Det står dermed klart at man må ta hensyn til at smarttelefonen begynner å rotere etter kollisjon 1, for eksempel på grunn av en ujevn madrass som gir opphav til et kraftmoment. Akselerometeret ligger i en avstand r fra massesenteret (der r typisk er noen få centimeter), som betyr at en vinkelhas-

Figur 3. Akselerometeret i smarttelefonen kan brukes til å skille mellom ulike former for bevegelse.



tighet ω gir en radiell akselerasjon $r\omega^2$ i tillegg til det tangentielle bidraget dv/dt . Denne radielle akselerasjonen gir opphav til en gradvis økende (mindre negativ) vertikalakselerasjon etter hvert som akselerometeret roterer oppover mot klokken samtidig som massesenteret beveger seg nedover.

Stå, gå, hopp og spring!

Hverdagslige bevegelser som gange, hopping og løping kan overvåkes ved hjelp av et akselerometer, og hjelpe forståelsen av størrelsesordenene involvert. Figur 3 viser geometrien som ble brukt, der y -aksen peker oppover.

Som forventet er akselerasjonen null når man står i ro, mens vanlig gange gir svingende bevegelser der akselerasjonen varierer mellom $\pm 5 \text{ m/s}^2$. Dette er mindre enn tyngdens akselerasjon, og er en indikasjon på at man er i kontakt med bakken hele tiden siden mangel på kontakt fører til en akselerasjon tilsvarende fritt fall.

Før et hopp beveger man seg lett nedover for å mobilisere musklene, og dette vil føre til en liten negativ akselerasjon. Den påfølgende akselerasjonen i første delen av frasparket oppover er omtrent 10 m/s^2 som man kan se i Figur 3. Fra Figur 3 kan man også se at den negative akselerasjonen oppnår verdier på nesten -20 m/s^2 . Hadde det vært et rent fritt fall ville man forventet verdier på omtrent $-9,8 \text{ m/s}^2$. Imidlertid er det nokså vanskelig å holde smarttelefonen med y -aksen pekende i samme retning under hele hoppet, så noe rotasjon oppstår og fører til avvik fra den forventede verdien. Denne rotasjonsbevegelsen er også vanskelig å unngå ved løping, og kan gi opphav til variasjoner i målt akselerasjon. Likevel vil man ved å gjøre flere eksperimenter av denne typen, der man prøver å eliminere rotasjon så godt det lar seg gjøre, se at ved både løping og hopping oppnår man akselerasjoner nær tyngdens aksele-

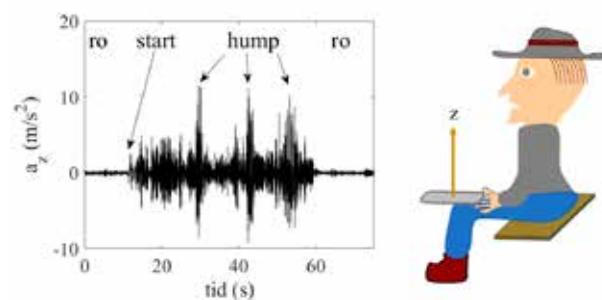
rasjon. Dette er derfor en nyttig påminnelse om at ved løping og hopping vil ikke beina være i kontakt med bakken, i motsetning til ved vanlig gange.

En busstur

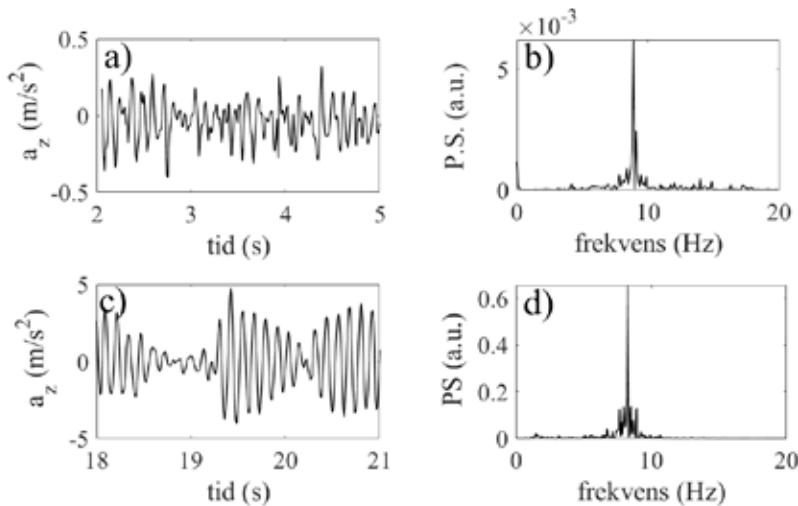
Akselerometeret i en smarttelefon kan brukes til å overvåke veikvaliteten som møter en buss, bil eller sykkel på tur [4]. Et eksempel på akselerasjonen målt på en kort busstur er vist i Figur 4.

Smarttelefonen ble plassert som vist i Figur 4, med z -aksen rett oppover. Til å begynne med er bussen i ro ved et busstopp, og begynner å kjøre etter omtrent 10 sekunder. Dette fører til at akselerasjonen i z -retningen (vinkelrett på kjøretretningen) begynner å fluktuere kraftig, og man begynner å lure på om dette er på grunn av bussen eller veien. Imidlertid kan man være sikker på at humper i veien er årsaken til de toppene i akselerasjon med amplitude større enn 10 m/s^2 man kan observere i Figur 4. Dersom de er store nok, vil slike humper sende observatør og smarttelefon ut i et kortvarig fritt fall. Jo flere slike store humper, dess verre oppleves veikvaliteten.

Figur 5 a) viser mer detaljer av data i Figur 4 mellom 2 og 5 sekunder, der motoren er på mens bussen står i ro. I Figur 5 c) er data mellom 18 og



Figur 4. Akselerometeret kan brukes til å undersøke veikvaliteten i løpet av en busstur.



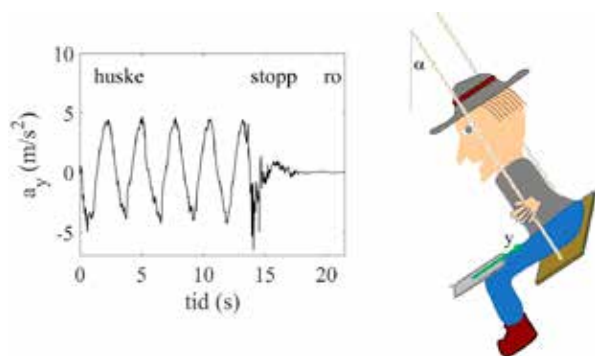
Figur 5. Detaljer i akselerasjonen fra Figur 4 er vist i a) og c). De tilsvarende effektspektrene (P.S. – power spectrum) er regnet ved å ta kvadratet av fouriertransformen av akselerometersignalene tatt mellom 2 og 10 sekunder (b) og 12 og 18 sekunder (d). Effektspektrene er oppgitt i vilkårlige enheter (arbitrary units, a.u.) siden det er bare frekvensen til toppene som er av interesse her.

21 sekunder vist, og her kan man tydelig se svingninger i akselerasjonen med periode på omtrent 0,1 sekunder. Ved å fouriertransformere disse dataene kan man få mer informasjon om svingekomponentene. Appen phypox har sin egen funksjon ved navn «acceleration spectrum» som gir brukeren mulighet til å gjøre en slik fouriertransform uten å måtte importere data videre. Dette kan være nyttig dersom man er utendørs, men jeg fant det enklere å bruke funksjonen «Acceleration (without g)», og deretter importere data i MatLab for videre fouriertransformasjon og presentasjon i en graf som vist i Figur 5.

Effektspekteret (P.S.), som er den kvadrerte av fouriertransformen, ble beregnet i MatLab og vist i Figur 5 b) og 5 d) for de to datasettene i Figur 5 a) og 5 c). Man kan se at begge datasettene gir skarpe topper for frekvenser nær 10 Hz. Dette betyr at begge signalene i Figur 5 a) og 5 b) har essensielle svingekomponenter med periode omtrent 0,1 sekund som er forårsaket av den vibrerende bussmotoren.

En husketur

Til slutt skal jeg beskrive et enkelt eksperiment man kan gjøre på lekeplassen ved hjelp av en huske



Figur 6. Akselerometeret kan brukes til å undersøke svingebevegelse.

som beveger seg frem og tilbake slik som vist i Figur 6. Bruker man Newtons 2. lov og ser bort fra friksjon og luftmotstand, finner man at den maksimale akselerasjonen i en svingebevegelse som vist i Figur 6 teoretisk er $a_y = g \sin \alpha$, der $g \approx -9,8 \text{ m/s}^2$.

Her må man finne vinkelen α enten før eller etter eksperimentet. Dette kan gjøres ved å bruke funksjonen «inclinometer» i appen Physics Toolbox Suite eller en annen tilgjengelig app som bruker smarttelefonens akselerometer eller magnetometer til å måle vinkel. Alternativt kan man gjøre dette på gamlemåten ved å for eksempel måle lengden på huskens kjetting/tau i tillegg til det horisontale utslaget, og deretter bruke trigonometri for å finne vinkelen.

Akselerasjonsmålingen kan gjøres ved å plassere smarttelefonen på fanget med y-aksen som vist i Figur 6. Man finner av de målte verdiene i Figur 6 at $a_y = 0 \text{ m/s}^2$ når $\alpha = 0^\circ$ på det laveste punktet i banen og $a_y \approx -5 \text{ m/s}^2$ når $\alpha = 30^\circ$ på det høyeste punktet i banen. Dette stemmer bra med den teoretiske verdien regnet fra $a_y = -g \sin \alpha$. En mer vågal eksperimentator vil kanskje prøve $\alpha = 90^\circ$. ■

Referanser

- [1] L.E. Helseth. «Smarttelefonen som utendørs redskap». Naturen, 1, 2022 (<https://doi.org/10.18261/naturen.146.1.4>).
- [2] <http://phypox.org>
- [3] L.E. Helseth. https://snl.no/Reynolds'_tall
- [4] S. Sattar, S. Li og M. Chapman. «Road surface monitoring using smartphone sensors: a review». Sensors, 18, 2018, 3845. www.mdpi.com/1424-8220/18/11/3845

Husk å melde adresseendring til
nfs.styret@gmail.com



Emil J. Samuelsen

85 år

Professor Emil Johannes Samuelsen var ansatt ved Institutt for fysikk, NTH, senere NTNU, fra 1976 til 2007. Samuelsen ble født i Lyngen i Troms 11. januar 1937. Han er utdannet sivilingeniør i fysikalsk kjemi fra NTH i 1960 og dr. philos. i fysikk ved Universitetet i Oslo i 1971. Doktorarbeidet handlet om faseoverganger i magnetiske materialer studert ved hjelp av uelastisk nøytronspredning, utført i Brookhaven National Laboratory og ved reaktoren på Kjeller. Spektroskopi og diffraksjonsteknikker basert på synlig lys, røntgen- og nøytronstråling var hans viktigste forskningsverktøy gjennom hele karrieren, anvendt på ulike lav-dimensjonale systemer.

Samuelsen er kanskje best kjent internasjonalt for å være den første som eksperimentelt demonstrerte Lars Onsagers teoretiske løsning av den to-dimensjonale Ising-modellen. Han siteres også fortsatt hyppig for sine arbeider på filmer av organiske halvledere, hvor han var blant de første til å bruke synkrotronstråling til å avklare svakt ordnede krystallinske strukturer tidlig på 1990-tallet. Samuelsen hadde i mange år en viktig rolle som norsk representant opp mot synkrotronen ESRF i Grenoble, hvor Norge fortsatt er aktivt medlem. Samuelsen har utdannet om lag ti doktorgradsstudenter, deriblant to av undertegnede. Han er medlem av Det Kongelige Norske Videnskabers

Selskab (DKNVS) og Norges Tekniske Vitenskapsakademi (NTVA) og har hatt en rekke akademiske verv, blant annet som dekan ved Fakultet for fysikk og matematikk. Samuelsen har også vært gjesteforsker ved flere utenlandske institusjoner.

De senere årene som emeritus har Emil fortsatt å være til berikelse for miljøet ved Institutt for fysikk, også som sensor for studentoppgaver og eksamensbesvarelser. Siden 2013 har han vært medredaktør for *Fra Fysikkens Verden*, hvor han også har bidratt med en lang rekke populærvitenskapelige artikler, først og fremst innen fagområdet materialfysikk. Vi setter stor pris på det gode og konstruktive samarbeidet med Emil, samt mange hyggelige lunsjsamtaler.

I tillegg til en omfattende vitenskapelig produksjon har Emil en rekke andre interesser, ikke minst innen språk og lokalhistorie. Han har vært meget interessert i, og god til, å løpe orientering og er tidligere leder for Sør-Trøndelag orienteringskrets. Emil er gift med Brit, og sammen har de to barn og tre barnebarn.

Vi gratulerer Emil J. Samuelsen med 85-årsdagen og ønsker ham mange gode og aktive år framover!

*På vegne av Gruppe for Røntgenfysikk ved NTNU,
Knut Aasmundtveit, Dag W. Breiby,
Basab Chattopadhyay og Ragnvald Mathiesen*



Per Christian Hemmer

(1933–2022)

Professor Per Christian Hemmer, født 14.05.1933, døde 05.02.2022 med sine nærmeste rundt seg.

Per Christian Hemmer har vært en klippe i norsk fysikk de siste 60 årene, med en imponerende innsats som forsker, lærer og administrator. Han har hovedæren for at fagfeltet statistisk fysikk har stått sterkt ved NTH/NTNU de siste 60 årene.

Per Chr. Hemmer ble født i Arendal og ble sivilingeniør ved Linjen for teknisk fysikk på NTH i 1956. I 1959 fikk han dr.techn.-graden på et elegant arbeid om harmoniske kjeder, der han blant annet viste at en tung partikkel i en kjede av lette (i en passende grense) adlyder diffusjonligningen. Etter et kort kjernefysisk intermesso i Nordita dro han til Rockefeller University i New York i 1961. Sammen med George Uhlenbeck og Mark Kac studerte han tilstandsligningen til en endimensjonal modell der partikler vekselvirker med sterk frastøtning av kort rekkevidde og med svak, langtrekkende tiltrekning. Forfatterne viste at tilstandsligningen til systemet er nettopp den foreslått av van der Waals. Arbeidet vakte stor interesse og ble starten på et helt fagfelt der fluide systemers egenskaper, både i likevekt og ikke-likevekt, ble studert i perturbasjonsutviklinger med den tredimensjonale versjonen av van der Waals-ligningen som nulte orden.

Etter en stipendiatperiode ble Hemmer dosent ved NTH i 1966 og professor i teoretisk fysikk i 1969. Han har vært gjesteprofessor ved Rockefeller University, Universitetet i Nijmegen, Universidad Autonoma, Madrid, og State University of New York, Stony Brook.

Opp gjennom årene har Per Hemmer interessert seg for en lang rekke forskjellige problemer innen statistisk fysikk, romslig definert: tilstandsligninger for klassiske og kvantemekaniske systemer, renormaliseringsteori, Markov-prosesser, køteori,

solitoner, effektiv masse og fiberbunter.

En betydelig del av forskningen skjedde i inspirert og inspirerende samspill med en lang rekke doktorstuderende, som er samstemte om at han var en storartet veileder. Det kan jeg selv skrive under på. Jeg var hans aller første doktorstudent, årevis før begrepet «doktorstudent» ble institusjonalisert. Per hadde nettopp kommet tilbake fra New York og det berømte arbeidet med Kac og Uhlenbeck. Jeg var en uvitende sprett. Per, vennlig og tydelig, hjalp meg å etablere grunnlaget for eget forskerliv. Og hans åpenheten og varme satte en standard for fruktbart forskersamarbeid som jeg, i likhet med alle hans senere doktorstuderende, er dypt takknemlig for.

Men Per Hemmer var ikke bare en storartet veileder for sine mange doktorstuderende. Han tok også grunnundervisningen på alvor. Det vitner en hel liten serie med førsteklases lærebøker om: i termisk fysikk, i statistisk mekanikk, i kvantemekanikk, i faste stoffers fysikk. Alle på norsk.

I tillegg til en imponerende innsats som forsker og universitetslærer, har Per også gjort en stor administrativ innsats. Han har blant annet vært instituttleder og avdelingsformann (dekan) lokalt, og hatt tunge tillitsverv i NAVF. Og internasjonalt har han, foruten en periode som nestformann i Norditas styre, vært sentral i International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP) i en årrekke, i perioden 1984–1990 som visepresident.

Per var glad i å løse problemer, og leserne av *Fra Fysikkens Verden* har i årevis kunnet glede seg over hans utfordrende trimoppgaver.

Norsk fysikk har mye å takke ham for.

Vi lyser fred over Per Christian Hemmers minne: En stor norsk fysiker, en konstruktiv samarbeidspartner, og en varm venn.

Eivind Hiis Hauge



Torleif Abell Sten

(1932–2021)

Tidligere overingeniør ved Fysisk institutt Universitetet i Oslo, Torleif Abell Sten, døde 9. november 2021, 89 år gammel. I hans 34 aktive år ved Romforskningsgruppen, har Sten satt markerte og varige spor etter seg.

Torleif A. Sten, utdannet elektronikingeniør og cand.mag. fra UiO, ble i 1965 ansatt som ingeniør ved Oslo-avdelingen av Det norske institutt for kosmisk fysikk (NIKF-Oslo), en stilling han beholdt til han ble pensjonert i 1999. NIKF var et lite, frittstående forskningsinstitutt som var etablert for å drive forskning på nordlys og den polare øvre atmosfære. NIKF-Oslo ble i 1977 innlemmet i Fysisk institutt ved UiO.

Romalderen åpnet muligheter til å gjøre helt nye typer observasjoner av nordlys og den øvre atmosfære. Med instrumenterte raketter kunne en gjøre målinger inne i selve nordlyset. Satellitter i polar bane gjorde det mulig å måle partikler som kommer ned i atmosfæren samtidig som man registrere nordlysemisjonene som partiklene genererer.

Det første nordlysfotometret som i 1962 ble skutt opp fra Andøya Raketttskytefelt (ARS), var bygget av NIKF i samarbeid med Sentralinstitutt for industriell forskning. I de etterfølgende årene ble det skutt opp flere raketter fra ARS med nordlysfotometre.

På denne tiden ble det bestemt at Den europeiske romforskningsorganisasjon (ESRO) skulle sende opp sin første satellitt. Studier av nordlys skulle være den sentrale oppgaven. Satellitten fikk navnet Aurora. Selv om Norge ikke var medlem i ESRO, ble gruppen ved NIKF-Oslo invitert til å delta fordi det var den eneste forskningsgruppen i Europa som hadde utført vellykkede optiske målinger av nordlys fra raketter.

Utvikling og bygging av elektronikken i nordlysinstrumentet for Aurora ble Torleifs hovedoppgave. Instrumentpakken besto av to fotometre som skulle måle intensiteten av to emisjoner i nordlysspekteret. Fotometrene måtte være driftssikre, bruke lite strøm, veie lite og ta liten plass. Elektronikken ble bygget ved gruppens laboratorium. Samlet testing og integrering av instrumentet i satellitten foregikk ved ESTEC, som er ESROs tekniske senter i Nederland. Aurora ble skutt opp i polar bane med amerikansk bærerakett i oktober 1968. Alt virket perfekt.

Fotometrene var meget vellykkede, og Torleif bygget gjennom årene mange lignende instrumenter. De fleste ble skutt opp fra ARS, men de ble også brukt i raketter fra skytefeltet ESRANGE ved Kiruna og Ny-Ålesund på Svalbard.

Torleif deltok også i utvikling av nye instrumen-

ter som fotometre og kameraer for nordlysstudier fra bakken. Vi vil spesielt nevne et firekanals sveipende fotometer som ble brukt i kartlegging av forekomsten av nordlys. Dette har i flere tiår vært gruppens arbeidshest for nordlysmålinger i Nord-Norge og på Svalbard.

Da Norge i 1987 ble medlem av Den europeiske romorganisasjonen (ESA), fikk vi anledning til å konkurrere om å delta i ESAs satellittprogram. Dette førte til at vi kom med i en internasjonal forskergruppe som samarbeidet om et eksperiment i satellittprosjektet Cluster for måling av elektriske bølger og felt i det nære verdensrom. Siden Torleif var den som hadde størst erfaring med satellittinstrumentering, var det naturlig at han fikk rollen som teknisk leder for vår del av Clusterprosjekt. Konsortiet manglet kompetanse på instrumenter og dataprogram for styring, testing og kalibrering av eksperimentet (Electronic Ground Support Equipment, EGSE). Vår gruppe ble gitt ansvar for å utvikle dette. Torleif ledet arbeidet. Det ble så vellykket at også ledere av andre eksperimenter i Clustersatellitene ba om å få tilpasset vår EGSE til deres eksperiment. Kompetanseoppbyggingen med Cluster førte til at vår gruppe ble invitert til å være med i flere satellittprosjekter.

Torleif var en positiv og dyktig fagmann som også deltok i veiledning av hovedfags- og doktorgradsstudenter innenfor eksperimentell romfysikk.

Torleif samarbeidet godt med romforskningsgrupper i inn- og utland, og holdt forelesninger i digital elektronikk. Han deltok med innlegg på internasjonale tekniske møter og var medarrangør av konferanser i optisk nordlysforskning.

Torleif var også engasjert i administrasjonen av gruppen. Han var lett å samarbeide med. Etter at han gikk av med pensjon var han ofte på besøk og stilte alltid opp når han ble kontaktet.

Torleif hadde malerkunst som hobby, og i de senere årene ble dette hans hovedinteresse utenom jobben. Han tok flere kurs i maleteknikk og komposisjon. Hans favorittmotiv var natur, med og uten nordlys. Torleifs arbeider ble etter hvert kjent, og han hadde egne utstillinger av sine bilder. Flere ved Instituttet er glad for å ha hans malerier i sitt hjem. Ved Andøya Raketttskytefelt henger også ett av Torleifs nordlysmalerier.

Torleif Abell Sten vil bli husket i forskningsmiljøet for sin store og verdifulle innsats og for sin personlighet. Vi hedrer hans gode minne.

*Alv Egeland, Jan Holtet, Karl Måseide,
Bjørn Lybekk og Espen Trondsen*

RETURADRESSE:
FRA FYSIKKENS VERDEN
FYSISK INSTITUTT, UNIVERSITETET I OSLO
BOKS 1048 BLINDERN
0316 OSLO
NORGE

ISSN-0015-9247

Styret i Norsk Fysisk Selskap

President

Professor Sunniva Siem, Fysisk institutt, UiO, Kjerne- og energifysikk
E-post: sunniva.siem@fys.uio.no

Visepresident

Forsker Hilde Nesse Tyssøy, Institutt for fysikk og teknologi, UiB,
Birkelandsenteret for romforskning
E-post: hilde.nesse@uib.no

Styremedlemmer

Rom-, plasma- og klimafysikk: Førsteamanuensis Audun Theodorsen, Institutt for fysikk og teknologi, UiT
Subatomær fysikk og astrofysikk: Professor Håvard Helstrup, Institutt for datateknologi,
elektroteknologi og realfag, HVL

Industri- og energifysikk: Professor Jon Samseth, Institutt for produktdesign, OsloMet

Akustikk og optikk: Professor Astrid Aksnes, Institutt for elektroniske systemer, NTNU

Biofysikk og medisinsk fysikk: Professor Pawel Sikorski, Institutt for fysikk, NTNU

Kondenserte fasers fysikk med atomfysikk: Forsker Kristian Stølevik Olsen, Nordita

Leder av Norsk Fysikklærerforening: Lektor Kaja Nordby, Kongsbakken vgs.

Vara

Professor Magnus Borstad Lilledahl, Institutt for fysikk, NTNU

Adresse

Norsk Fysisk Selskap
Fysisk institutt, UiO
Boks 1048 Blindern
0316 Oslo

Sekretær

Stipendiat Andreas Halkjelsvik Mjøs, Fysisk institutt, UiO
E-post: nfs.styret@gmail.com
Bankgiro: 7878.06.03258
Org.nr.: 940 340 829

Nettside: www.norskfysisk.no

Bedriftsmedlemmer

Vi takker for støtten fra
våre bedriftsmedlemmer:



UNIVERSITETET
I OSLO



UNIVERSITETET I BERGEN



UiT Norges
arktiske universitet

