Fra Fysikkens Verden

Nr. 1 – 2016
78. årgang

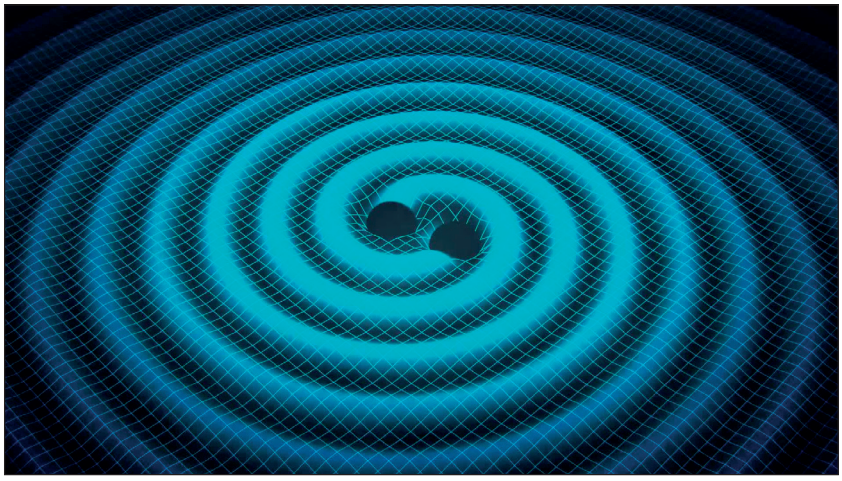
Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øyvind Grøn
Emil J. Samuelsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Moan, Juzeniene, Grigalavicius:
Aksjonsspektrokopi: Viktig metode i biologi og medisin 5
Emil J. Samuelsen:
Termoelektrisk effekt: Straum frå varme og kjøling med straum 12
Angell, Bungum, Bøe, Henriksen:
Relativitetsteori og kvantefysikk: Utvikling av et skoleprosjekt 21
Fra Redaktørene 2
Nytt fra NFS 2
Årsmøtet i 2016
Prisutdelinger 2016
Fysikknytt 3
Gravitasjonsbølger observert
Indeks 2015 15
Frå Fysikkens historie 25
Ei laserhistorie
Bokomtale 27
Hauge, Sand og Dyrhaug (red): Energi, teknologi og klima – Utfordringer og handlingsrom
Hva skjer 28
Crafoordprisen i astrofysikk 2016
Jubileumskonferanse 2016
Trim i FFV 30
Nye doktorer 31
PhD William Robb Naylor
PhD Siv Gundrosen Aalbergsjø



To svarte hull som beveger seg rundt hverandre sender ut gravitasjonsbølger
(Se artikkel)

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

Einstein forutsa for 100 år siden, i en artikkel publisert i juni 1916, eksistensen av gravitasjonsbølger som en konsekvens av den generelle relativitetsteorien. Den 11. februar 2016 annonserte LIGO-teamet at det for første gang var registrert signaler fra gravitasjonsbølger med en gravitasjonsbølgeantenne. Man er nå i gang med å bygge et nettverk av gravitasjonsbølgedetektorer som vil bli knyttet sammen slik at de kan fungere som et globalt gravitasjonsbølgeobservatorium. Dette vil åpne et nytt vindu til studier av kilder som sender ut gravitasjonsbølger, uansett hvor mye og hva slags materie kildene er skjult bak. For gravitasjonsbølger er deformasjoner av rommets geometri som beveger seg med lyshastighet gjennom alle typer materie. Dette er årsaken til at LIGO-resultatet oppfattes som en milepel, langt viktigere enn kun en ny test av den generelle relativitetsteorien.

Vi presenterer også en artikkel som forteller om viktige anvendelser av moderne fysikk i medisin. Norske forskere med Johan Moan i spissen, har vært pionérer i utviklingen av et betydningsfullt forskningsfelt kalt aksjonsspektroskopi.

Videre får vi en oppdatering av temaet termoelektrisk effekt – en effekt som har betydning både for å utnytte temperaturforskjeller til å lage elektrisk strøm og i utvikling av forskjellige typer måleutstyr og temperaturregulatorer.

God undervisning av fysikk i videregående skole er grunnlaget for at den oppvoksende generasjon skal få et solid grunnlag av fysikkforståelse. "ReleKvant" er et nytt prosjekt som sikter mot å gi fysikklærerne nye ressurser i undervisningen av den moderne fysikken – relativitetsteorien og kvantefysikken. Vi har bedt ildsjelene bak dette prosjektet å fortelle oss hva det går ut på, og har gleden av å videreformidle deres informasjon i dette nummeret av FFV.

Øyvind Grøn

∞

Nytt fra NFS

Årsmøtet 2016

Årsmøtet i NFS vil i år bli avholdt på Landskonferansen til Norsk Fysikklærerforening på Schæffergården i København, onsdag 10. august.

Dette er et årsmøte som vil avholde valg, slik som bestemt på årsmøtet i fjor. Det gjøres for at vi skal få harmonisert valgperiodene med de store fysikermøtene i årene mellom Nordic Physics Days, som neste gang arrangeres i 2017. Neste store fysikermøte blir avholdt i Tromsø i 2018.

Prisutdelinger 2016

Tycho Jægers pris i Elektrooptikk, (tidligere Vinghøgprisen i elektrooptikk)

Irma Salo Jæger og Tycho Jægers Stiftelse har gått inn som garantist for prisen, og den har følgelig fått navnet "Tycho Jægers pris i Elektrooptikk". Den utvalgte blant de nominerte kandidatene får tildelt et beløp på hele 100 000 kr!

Prisen skal fremme norsk forskning innenfor fagfeltet elektrooptikk med spesiell vekt på yngre forskere. Prisen gis for et norsk arbeid på fagområdet elektrooptikk eller et arbeid der elektrooptiske metoder er anvendt. Prisen skal gis som en belønning for et arbeid som er utført av en eller flere personer innenfor de fem siste år før utdeling av prisen. Arbeidet skal være av høy faglig kvalitet. Både grunnleggende og anvendt forskning kan tilgodesees med prisen.

Prisen deles ut hvert annet år, og deles ut første gang på Elektrooptikkmøtet på Voss 13-15. april, se *http://www.electrooptics.no/* Vi inviterer fagmiljøene til å nominere kandidater innen ny frist *31. mars.*

Norsk Fysisk Selskaps Undervisningspris på 15 000 kr deles ut til én eller flere som gjennom sitt arbeid har gitt et konkret bidrag til utvikling av fysikkundervisningen i skolen (grunnskole og videregående skole). Fristen er *15. april.*

Martin Landrøs pris for fremragende mastergradsoppgave i fysikk deles i år ut for en masteroppgave fra 2015. Prisen er på 5000 kr og deles ut på Norsk Fysisk Selskaps årsmøte. Veiledere og sensorer inviteres til å nominere kandidater innen *15. april.*

Alle nominasjoner sendes til Norsk Fysisk Selskap, *nfs.styret@gmail.com*, eller til undertegnede, *ashild.fredriksen@uit.no*.

Har du ikke fått medlemsbrev pr. email i 2015? Da har vi ikke emailadressen din. Send oss en mail til *nfs.styret@gmail.com*. Husk også å melde adresseendringer til *nfs.styret@gmail.com*.

Posten er streng med at både post- og veinummer må være riktig for at FFV skal komme fram.

Åshild Fredriksen

∞

Fysikknytt

Gravitasjonsbølger observert

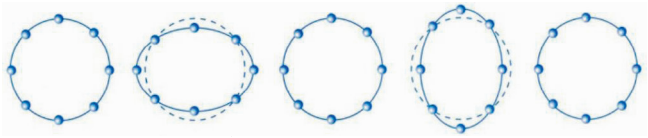
Den 11. februar annonserte det amerikanske LIGO-teamet at de registrerte et signal fra gravitasjonsbølger 14. september 2015. De identifiserte "senderen" som to svarte hull som beveget seg i spiralbaner mot hverandre, og så kolliderte.

Innledning

For 100 år siden, i en artikkel publisert i juni 1916, forutsa Einstein eksistensen av gravitasjonsbølger som en konsekvens av den generelle relativitetsteorien. Han viste at systemer som endrer fasong, og asymmetriske, roterende systemer sender ut gravitasjonsbølger.

En gravitasjonsbølge er at en deformering av rommet brer seg utover fra kilden med lyshastighet (se forsidefiguren). Gravitasjonsbølger er transverselle, dvs. at deformeringen er på tvers av bevegelsesretningen. Hvis bølgen beveger seg i z-retningen, er det f.eks. en utvidelse i x-retningen og en sammentrekking i y-retningen i en gitt posisjon og øyeblikk, og en sammentrekning i x-retningen og utvidelse i y-retningen i samme posisjon en halv periode senere (figur 1).

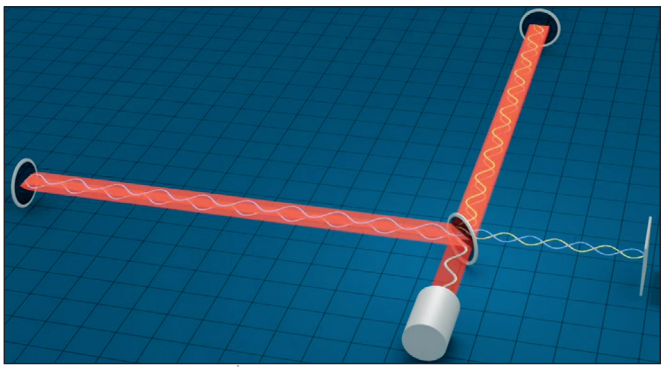
Kip Thorne, Rainer Weiss og Ronald Drever tok i 1980-årene initiativ til å få konstruert gravitasjonsdetektorer. I løpet av de neste 30 årene ble det bygget to *Laser Interferometer Gravitational-wave Observatorier* (LIGO) i USA. De befinner seg i Hanford i staten Washington og i Livingston i staten Louisiana. Avstanden mellom dem er 3000 km.



Figur 1. En gravitasjonsbølge som beveger seg inn i papirplanet deformerer rommet i papirplanet. Figuren viser tidsforløpet av deformeringen i løpet av en periode.

Gravitasjonsbølgedetektorene

LIGO-detektorene er som gigantiske michelson-interferometre, som illustrert i figur 2. Virkemåten er forklart i figurteksten.



Figur 2. Prinsippskisse for LIGO gravitasjonsbølgedetektoren. Lys fra laseren nederst. Det treffer et halvt gjennomtrengelig speil. En stråle beveger seg mot venstre og en rett frem og blir reflektert av speilene ved endene av armene. Speilene i endene av armene er hengt opp slik at de kan bevege seg fritt i armenes lengderetninger. De reflekterte strålene er normalt i motfase når de treffer speilet. Dermed blir det destruktiv interferens, og ingen stråling treffer lysmåleren til høyre. Men hvis det passerer gravitasjonsbølger forandres avstandene mellom speilene. Da vil fasene til de reflekterte strålene endres, og det kommer stråling frem til lysmåleren.

Observasjonene begynte i 2002 og foregikk frem til 2010 uten at det ble registrert noen tegn til gravitasjonsbølger. De neste fire årene ble LIGO bygget om til *Advanced* LIGO med større følsomhet slik at de kunne søke etter gravitasjonsbølger 10 ganger lenger unna, dvs. fra et 1000 ganger større volum i universet. Observasjonene startet igjen i begynnelsen av september 2015.

Første registrering av gravitasjonsbølger

Den 14. september dukket det opp svært interessante signaler i begge detektorene (figur 3).[1] På

Figur 3. Lyssignalene som dukket opp med 7 ms mellomrom 14. september 2015 i LIGO gravitasjonsbølgedetektorene i Hanford i staten Washington og Livingston i staten Louisiana.

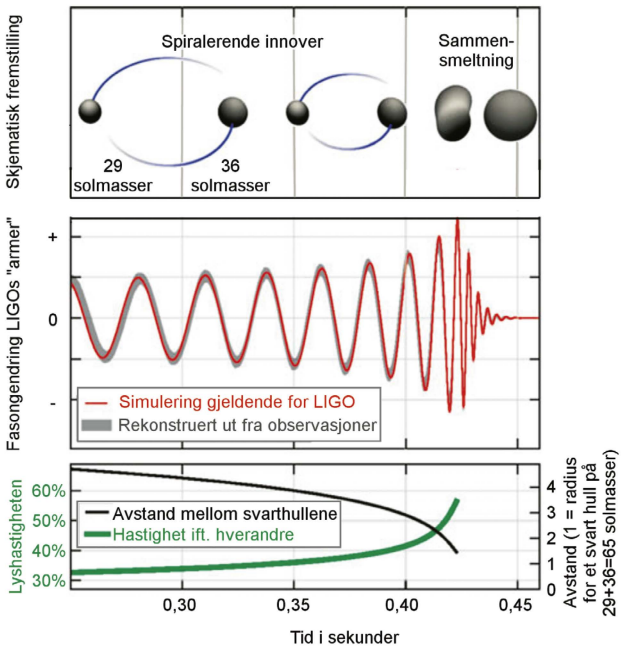
det sterkeste var signalet 24 ganger sterkere enn bakgrunnsstøyen. Simuleringer av signaler fra ulike typer kilder viste at det høyst sannsynlig dreide seg om gravitasjonsbølger sendt ut fra to kompakte legemer, nøytronstjerner eller svarte hull, som beveget seg i spiralbaner inn mot hverandre og så kolliderte (figur 4). Signalet ble kalt GW 150914. Dette er den første observasjon av gravitasjonsbølger med en gravitasjonsbølgeantenne.

Signalene varte i omtrent 0,2 s og frekvensen økte da fra 35 Hz til 250 Hz. Simuleringene passet best med at gravitasjonsbølgene kom fra et system av to svarte hull der det ene hadde 29 solmasser og det andre 36. Etter hvert som de nærmet seg hverandre, fikk de svarte hullene en vanvittig stor fart. Rett før de smeltet sammen beveget de seg rundt hverandre 125 ganger i sekundet med halvparten av lyshastigheten. For hver runde ble det sendt ut to gravitasjonsbølger.

Da de svarte hullene smeltet sammen oppsto den kraftigste eksplosjonen vi vet om, nest etter "big bang" ved universets begynnelse. Det dobbelte svarte hull-systemet sendte ut energien $5,4 \cdot 10^{47}$ J i form av gravitasjonsbølger. Dette svarer til at 3 solmasser ble gjort om til energi ($E = mc^2$), slik at det ble igjen et svart hull med 62 solmasser.

Den maksimale gravitasjonsbølge-intensiteten ble beregnet å være $3,6 \cdot 10^{49}$ W. Det er 10^{23} ganger solas luminositet, godt og vel den samlete luminositeten av alle stjernene i den observerbare delen av universet.

De kraftigste gammaglimtene har en intensitet på 10^{-6} W/m^2 og observeres lett. Den observerte intensiteten til gravitasjonsbølgene var 10 000 ganger større, og likevel er det utrolig mye vanskeligere å detektere gravitasjonsbølgene enn gammaglimt. Dette virker i første øyeblikk høyst merkelig. Det kommer av at gravitasjon er så mye svakere enn elektromagnetisme.



Figur 4. Det simulerte LIGO-signalet fra to svarte hull med 29 og 36 solmasser er vist med rødt i midten av figuren. Tallene på venstre y-akse i den nederste delen av figuren står for hastighet med lyshastigheten som enhet. Rett før de smeltet sammen beveget de svarte hullene seg med 60 % av lyshastigheten, og gikk da rundt hverandre 125 ganger i sekundet. Avstanden mellom de svarte hullene er gitt på høyre y-akse. Avstandsenheten er her radien til et svart hull med $29 + 36 = 65$ solmasser, dvs. 192 km.

For å detektere en bølge, enten det er en elektromagnetisk bølge eller en gravitasjonsbølge, må man lage en antenne som tapper bølgen for energi. Hvis bølgen bare passerer rett gjennom antennen uten å påvirke den og uten å bli påvirket av den, registreres ikke bølgen. Bølgen må avgi litt energi til antennen. Det har gravitasjonsbølger vanskelig for å gjøre. Derfor er de så utrolig vanskelige å fange opp at de nesten ikke er observerbare. Gravitasjonsbølgene endret lengden av armene med ca. 1/200 av radien til et proton.

De kolliderende svarte hullene sender ut omtrent like mye energi i alle retninger. Videre følger det fra energibevaring at intensiteten avtar som $1/r^2$, der r er avstanden. Ut fra den registrerte intensiteten i jordas posisjon og kjennskapet til den utstrålte energien, kunne man dermed regne ut avstanden til gravitasjonsbølgekilden med resultatet $1,3^{+0,5}_{-0,6} \cdot 10^9$

lysår fra jorda. På denne store avstanden fra kilden er bølgefrontene plane flater vinkelrett på bevegelsesretningen.

Detektoren i Louisiana oppdaget bølgene 7 ms før den i Washington. Denne tidsdifferansen avhenger av bølgefrontenes orientering og gravitasjonsbølgenes hastighet. Dermed kunne forskerne utlede at kilden var et sted over den sørlige halvkule, og at bølgene ikke hadde større hastighet enn 1,7 ganger lyshastigheten. Relativitetsteorien forutsier imidlertid at gravitasjonsbølgene beveger seg med lyshastigheten.

Fremtidsutsikter

I fremtiden kommer LIGO ikke bare til å fungere som en gravitasjonsbølgedetektor, men som et observatorium. Beregninger viser at man kan forvente å observere omtrent ti slike hendelser per år. Dette åpner for en ny måte å observere universet på. Gravitasjonsbølger kan passere gjennom nesten hva som helst siden det er selve rommet som deformeres når en slik bølge passerer. Ved hjelp av gravitasjonsbølger får vi derfor utsikt til kilder som tidligere har vært skjulte for oss.

Referanser

1. B.P. Abbott et al.: *Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger.* Physical Review Letters. **116,** DOI 061102 (2016)
2. V. Connaughton et al.: *Fermi GBM Observations of LIGO Gravitational Wave event GW150914.* ArXiv: 1602.03920 (2016)
3. J. Ellis, N. Mavromatos and D. Nanopoulos: *Comments on Graviton Propagation in Light of GW150914.* ArXiv: 1602.04764 (2016)

Øyvind Grøn

∞

Aksjonsspektroskopi: En viktig metode i biologi og medisin

Johan Moan, Asta Juzeniene ** og Mantas Grigalavicius ***

Aksjonsspektra angir effekten av stråling på biologiske prosesser som funksjon av bølgelengde. Artikkelen forklarer hva aksjonsspektra er, og belyser bruk av slike spektra for studium av solbruning, ulike typer hudkreft, virkning av sollys på immunsystemet og på danning av D-vitamin, og inaktivering av kreftceller med porfyrinbehandling og bestråling. Bruk av aksjonsspektra ved studier av syn og døgnrytmer hos mennesker blir også omtalt. *Ordforklaringer* **er gitt i liste bakerst i artikkelen.**

* Avdeling for strålingsbiologi, Det Nordke Radiumhospital, og Fysisk institutt, UiO.

** Avdeling for Strålingsbiologi, Det Norske Radiumhospital.

Innledning

Vi vil ta for oss noen eksempler fra medisinen hvor aksjonsspektroskopi er uunnværlig. Vi ønsker å vite hvilke molekyler i huden som tar mot den solstrålingen som gir oss hudkreft, gjør oss brune, eller tilfører oss D-vitaminer. Hvilke bølgelengder virker best? Siden solspektret varierer i form med breddegrad, dag- og årstid, og høyde over havet, er det viktig å finne ut når en gitt virkning er sterkest. Kanskje soling ved en viss solhøyde kan gi oss mye D-vitamin uten å være særlig kreftframkallende?

Fargestoffer kombinert med lysbestråling brukes i flere medisinske behandlingsmetoder. Stoffer som virker kjemisk under lysbestråling, sier vi er fotosensibiliserende. Slike stoffer har oftest forskjellige *absorpsjonsspektra* etter hvor i cellene de befinner seg, og om de er frie eller bundet. Hvor virker de best?

Vil binding øke eller redusere effekten? Svaret røper ofte de grunnleggende kjemiske reaksjonene som gir fotosensibiliseringen, og kan for eksempel nyttes til å velge den beste lyskilden til lysbehandling. Mange hudsykdommer kan behandles med fargestoffer og lys, f.ek. hudkreft.

Synet vårt er et mottakerapparat for lys. Hvor mange forskjellige mottakere finnes det i øyet? Hvilke molekyler er det som gir oss fargesyn og skumringssyn, og hvilken farge har det lyset som styrer døgnrytmene våre mest effektivt? Alt dette kan løses ved aksjonsspektroskopi, som vi trygt kan si er en av de aller viktigste fysikkmetodene i medisinsk og biologisk forskning. Enhver biologisk effekt har sitt eget aksjonsspektrum eller virkningsspektrum, som beskriver hvor effektivt stråling ved forskjellige bølgelengder gir en bestemt biologisk virkning.

Slik utføres aksjonsspektroskopi

Det stilles store krav til lyskilden vi må bruke til analysene: Den må være sterk nok, den må dekke det spektralområdet vi er interessert i, og vi må kunne isolere mange smale spektralområder ved hjelp av interferensfiltere eller monokromatorer. Xenonlamper og kvikksølvlamper blir ofte brukt. Lasere er imidlertid best siden de kan gi meget smale spektralbånd. For noen lasertyper kan en velge ønskede bølgelengder.

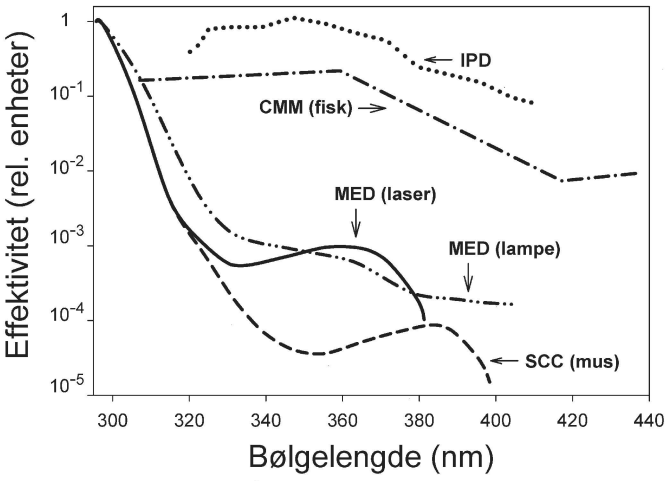
Tegner man en kurve med den relative effektiviteten langs y-aksen og bølgelengden langs x-aksen, får man et virkningsspektrum. Ved å sammenligne med absorpsjonsspekteret til forskjellige *pigmenter* (fargestoffer) kan vi bestemme hvilke pigmenter som sannsynligvis deltar i prosessen. Siden aksjonsspektre ofte er smale, er det nyttig med smale spektralbredder. For eksempel varierer spektret for solbrenthet med en faktor 100 over bare 10 nm, fra 300 til 310 nm.

Ved litt prøving og feiling finner man så hvilke doser man må bestråle med de forskjellige bølgelengdene for å få nøyaktig samme virkning. La oss si at man oppnår en ønsket effekt ved å gi lysdosen $n(\lambda)$ ved bølgelengden λ. Den relative høyden på aksjonsspektret ved λ er da $A(\lambda) = k/n(\lambda)$. Dette er enkelt i teorien, men krevende i praksis.

Aksjonsspektret for solbrenthet

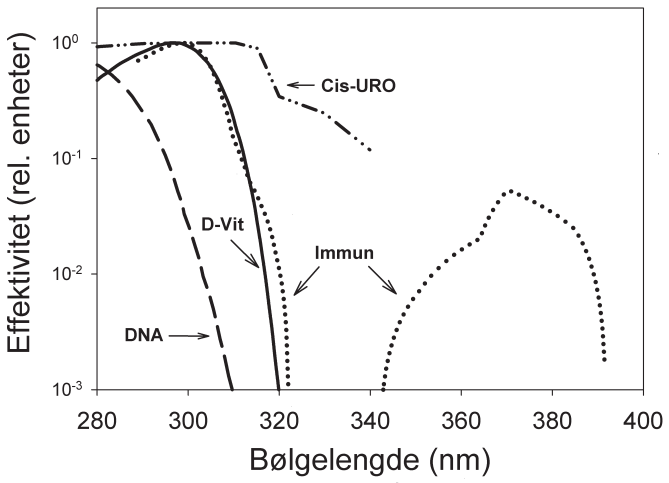
Risikoen for skadevirkninger på hud (*erytem*) av UV-stråling er sterkt avhengig av den spektrale energifordelingen. Når man skal finne erytemspektret, bestråler man like hudområder med lys eller UV-stråling slik at en svak rødfarge så vidt sees dagen etter. Rødfargingen kvantiseres ved refleksjonsspektroskopi ved 600 nm der det røde fargestoffet i blod (hem) absorberer. Denne dosen kalles en minimum erytemdose, *MED*.

Erytemspektret ble målt allerede i 1921 ved hjelp av en kvikksølvlampe med monokromator.[1,2] 60 år senere var lasere med regulerbar bølgelengde kommet, og et mer detaljert spektrum ble bestemt, slik figur 1 viser. I stedet for en topp ved 280–290 nm som lamper gir, viser laserspektret to topper, én ved 280–290 nm og én ved 360 nm (figur 1). (Kortbølgedelen av spektret er ikke vist, siden den er av mindre viktighet da solstrålingen under atmosfæren ikke inneholder disse bølgelengdene.)



Figur 1. En rekke normaliserte aksjonsspektre knyttet til hud. MED: Virkningsspektrene for solbrenthet eller erytemdannelse målt med lampe og monokromator, og med laser, IPD: umiddelbar pigmentmørkning, CMM: melanomdannelse i fisken Xiphophorus og SCC: annen hudkreft (plateepitelkreft) hos mus.

Det har vært mye diskusjon om hvilke stoffer spektraltoppene refererer seg til. Toppen ved 280–290 nm skyldes antakelig DNA (figur 2). Absorpsjonstoppen for DNA i løsning ligger rett nok ved 260 nm, men lysspredning i huden og absorpsjon i proteiner vil rødforskyve spektret. Spektraltoppen ved 360 nm er verre å forklare, men de fleste mener at den skyldes nedbrytningsprodukter av blod (protoporfyrin) eller folsyrederivater (B-vitaminliknende forbindelser). Begge disse molekyltypene har fotosensibiliserende virkning. Porfyriner virker ved lysindusert dannelse av singlett oksygen (okygen i grunntilstanden er i en triplett-tilstand). Effekten er altså en fotooksidasjon. Dette stemmer



Figur 2. En rekke normaliserte aksjonsspektre. D-Vit: Et eksperimentelt virkningspektrum for dannelse av forløperen til D-vitemin (previtamin D) i huden til mennesker. Cis-URO: Et virkningspektrum for isomerisering av urokansyre fra cis- til trans-formen. Immun: Et virkningspektrum for immunsvekkelse. DNA: Absorpsjonsspekteret til DNA.

med at effekten reduseres om man presser en kvartsplate mot huden under UV-bestrålingen. Kvartsplaten er transparent for UV, men reduserer oksygenkonsentrasjonen i huden, og dermed fotooksidasjonen.

Aksjonsspektret for brunhet

Aksjonsspektret for bruning av lyse hudtyper er likt MED-spektret på figur 1, men for litt mørkere hudtyper er toppen ved 360 nm noe høyere. Dette spektret måler man ved hjelp av refleksjonsspektroskopi ved 500 nm ca. én dag etter UV-bestrålingen. Personer med slike hudtyper har altså en liten fordel av å bestråle seg med UVA (ved 360 nm) i steden for med UVB (ved 280–290 nm) om de ønsker å få brunfarge uten å bli brent.

Det er to typer hudbruning.[3] Den vi hittil har beskrevet blir kalt permanent bruning. Den er maksimal etter ca. fem dager og varer i ukevis. Men vi har også en annen form for bruning som vi kaller umiddelbar bruning, IPD (*immediate pigment darkening*). Den varer bare en dag eller to. Ved IPD dannes ikke nytt fargestoff (melanin), men det fargestoffet som allerede finnes i huden blir mørkere ved en reversibel fotooksidasjon. Figur 1 viser at aksjonsspektret for IPD er mye høyere i UVA-området enn de andre spektrene. Derfor lager solarieprodusentene rør med relativt mye UVA. Som vi skal se, kan dette være uheldig med tanke på føflekk-svulster (melanomer).

Aksjonsspektret for hudkreft

Ingen kan måle spektret for hudkreftdannelse hos mennesker. Derfor må man ty til dyreforsøk. Spektret for føflekk-kreft (melanom, eller på engelsk, *cutaneous malignant melanoma*, CMM) hos en bitte liten fisk, ble målt av biofysikeren Setlow.[4] Fordi fisken var så liten, hadde han nok stråling til å dekke flere fisker i en vanlig prøveholder, og kunne dermed bestemme spektret nokså nøyaktig. Fiskene får melanomer etter bestråling som ikke er ulik de melanomene mennesker får. Som vi ser av figur 1, er CMM-spektret i UVA-området (> 320 nm). Forfatterne av denne artikkelen har betydelig tillit til at dette spektret er gyldig også for mennesker. Man kan nemlig påføre *transgene mus* melanomer ved å utsette dem for UVA-stråling. Vanlige mus og rotter får ikke melanomer i det hele tatt. Epidemiologiske studier støtter Setlows CMM-spektrum.[5–7]

Nord–sør-variasjonen av UVA er nemlig mye mindre enn nord–sør-variasjonen av UVB. Dette skyldes ozonabsorpsjon og lysspredning i atmosfæren. Sammenlikner vi Norge (60–70 grader nord) med Australia (30–40 grader sør) er melanomhyppigheten per 100 000 innbyggere av hvithudede personer, bare dobbelt så stor i Australia som i Norge, mens den for annen hudkreft er 20–30 ganger større. Annen hudkreft (plateepitelkreft, SCC, og basalcellekreft, BCC) forårsakes først og fremst av UVB-stråling, figur 1. Dette er sikkert for plateepitelkreft hos mus, slik aksjonsspektret viser. De fleste forskere antar at det samme spektret også gjelder for BCC.

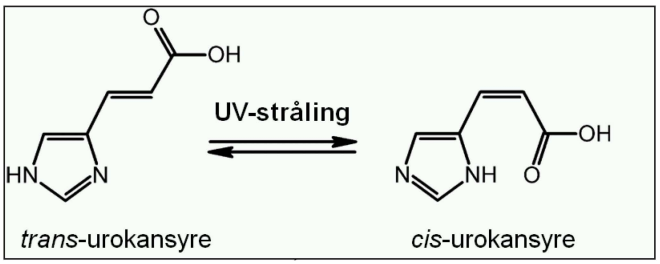
Hvilke molekyler er det som absorberer den strålingen som gir hudkreft? For SCC antyder spektret på figur 1 at det er DNA (figur 2), og vi har grunn til å tro at dette også gjelder BCC. (Det er ikke plass til å gjennomføre denne argumentasjonen her.) Men hva med melanomene som jo er mye farligere? Vi tror det i første omgang kan være det rødaktige melaninet i huden som absorberer den strålingen som gir melanomer. Dette stoffet inneholder svovel, og kalles *feomelanin*. Det har et absorpsjonsspektrum som likner CMM-spektret. Albino-afrikanere, som ikke har farget feomelanin i huden, får meget sjelden melanomer.

UV-effekt på immunsystemet

Solstråling og annen UV-eksponering, påvirker immunapparatet i huden. Dette øker hudkreftrisikoen, men har også positive virkninger, først og fremst

reduksjon av risikoen for autoimmune sykdommer. Spektret for immunsvekkelse hos mennesker tyder på at effekten er størst i UVB-området, og er svakere i UVA-området (figur 2).[8] Aksjonsspektret for immunsvekkelse er nokså likt aksjonsspektret for erytem, men strekker seg lenger ut i UVA-området. UVA-stråling er derfor mer immunsvekkende enn erytemdanende. En hypotese går ut på at UVB-induserte DNA-skader i keratinocyttene

fører til dannelse av produkter som i sin tur modifiserer immunsystemet. Men sannheten kan være mer komplisert. Cis-*urokansyre* har nemlig et liknende absorpsjonsspektrum som DNA (figur 2), og isomerisering av urokansyre fra cis- til trans-formen (figur 3) har i andre forsøk vist å påvirke immunapparatet.[2]

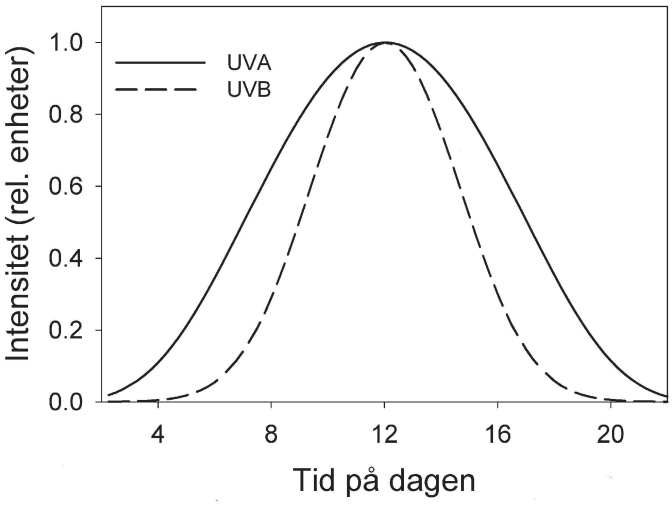


Figur 3. Fotoisomerisering av urokansyre fra cis- til trans-formen. En type cis-transisomere forbindelser har forskjellig plassering av atomgruppene på begge sider av en dobbeltbinding. Når to like grupper står på samme side av en dobbeltbinding, kalles forbindelsen cis. Når de står på forskjellige sider, kalles forbindelsen trans.

Aksjonsspektret for D-vitamin

Solen er vår viktigste D-vitaminkilde.[9] UVB-stråling (280–320 nm) omdanner *7-dehydrokolesterol* i huden til previtamin D som i løpet av noen timer isomeriserer til D-vitamin. UVA (320–400 nm) danner ikke D-vitamin. Aksjonsspekteret for dannelse av previtamin D er nær likt absorpsjonsspekteret for 7-dehydrocholesterol og har en topp ved ca. 295 nm (figur 2). Previtaminet er selv fotolabilt og danner de inaktive produktene lumisterol og tachysterol under bestråling. Bestrålingsbølgelengden bestemmer hvor mye som dannes av de enkelte produktene. Ved 295 nm får man en likevektsblanding med 60–70 % previtamin D_3, mens solstråling gir maksimalt 15-20 % previtamin D_3 uansett hvor lenge man er i solen. Allerede etter 10-15 minutters ekvatorsol er maksimalnivået nådd. Deretter dannes bare lumisterol. Lumisterol produseres helt til det meste av 7-dehydrokolesterollageret i huden er brukt opp. Sol er altså ikke den beste strålingskilden. Av dette kan vi slutte at et ideelt solarium for D-vitamindannelse burde ha maksimal emisjon i området rundt 295 nm.

Siden UVB avtar raskt etter største solhøyde (som vi kan sette til kl 12.00), og er halvert ca. kl 15, mens UVA ikke blir halvert før kl 18 (figur 4), vil det være smart å sole seg litt midt på dagen og ikke utover ettermiddagen, om man ønsker å få mest mulig D-vitamin og samtidig utsette seg for minst mulig melanomfare.

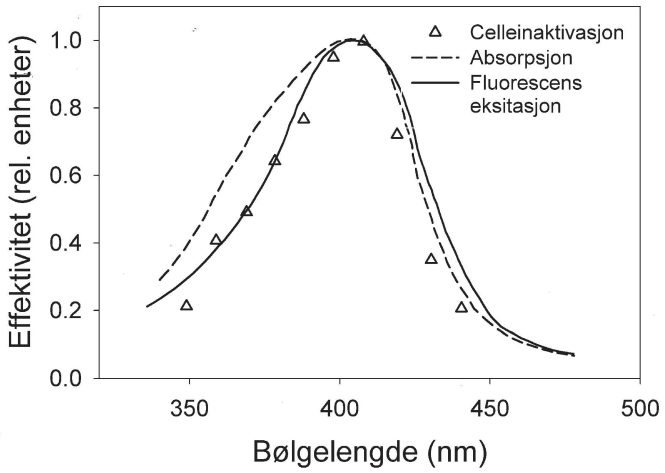


Figur 4. Døgnvariasjon av solstråling midtsommers i Trondheim (63 grader nord) for UVB- og UVA-stråling.

Aksjonsspektret for inaktivering av celler med porfyriner og lys

I en lang periode (1976–1990) var hovedområdet for forskningen i vår gruppe fotodynamisk behandling av hudkreft.[8] Behandlingen går ut på at vi tilfører kreftcellene et fotodynamisk aktivt stoff, og så belyser med en sterk lyskilde.

Vi prøvde oss fram med mange porfyriner, mer eller mindre vannløselige. Noen befant seg utenpå cellene i vannfasen, mens andre bandt seg til cellemembranene. Bindingen viste seg ved at spektret forandret seg og ble bredere. Spektret av *monomere stoffer* var også smalere enn spektret av dimerer, oligomerer og aggregater av stoffene. Vi spurte oss om det var bundne eller frie porfyriner, monomerer eller aggregerte stoffer (*dimerer* og *oligomerer*) som virket best. Det var viktig å vite dette i utprøvingen av nye porfyriner. Et av våre viktige resultater er vist på figur 5: Vi ser at aksjonsspektret for celleinaktivering (opphør av celledeling) følger nøyaktig fluorescens-eksitasjonsspektret som vi fra



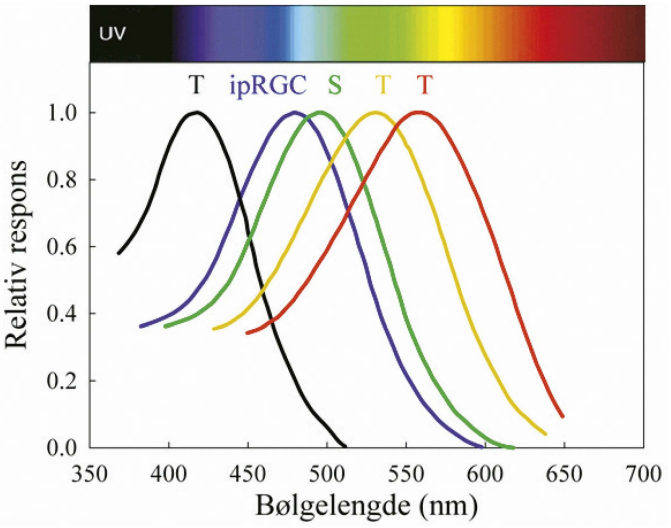
Figur 5. Spektre for porfyriner i celler. Stiplet linje er absorpsjonsspektret, heltrukket linje er fluorescens-eksitasjonsspektret (bare monomere porfyriner fluorescerer), trekantene viser aksjonsspektret for fotodynamisk celleinaktivering (celledrap).

andre forsøk vet er likt absorpsjonsspektret for frie monomerer.[10] Dermed ga aksjonsspektroskopien oss viktig informasjon for den videre letingen etter de beste fotosensibiliserende stoffene og lyskilder som skulle brukes.

Aksjonsspektrene for syn, og justering av døgnrytmen

Til slutt skal vi se på aksjonsspektrene for fotoreseptorene (også kalt sansecellene eller kromoforene) som vi har inne i øynene.[11,12] Sansecellene i netthinnen (retina) er en del av øyet og registrerer lys og farge. Disse cellene kalles staver (som gir svart-hvitt-syn og syn i mørke) og tapper (som gir fargesyn og skarpt syn). Netthinnen er dekket av omtrent 6 millioner tapp-celler og 130 millioner stav-celler. Disse reseptorene er det så mange av at man kan ekstrahere de forskjellige reseptormolekylene og måle absorpsjonsspektrene deres (figur 6). Absorpsjonsspektrene for staver og tapper er like aksjonsspektrene deres. Det finnes tre forskjellige typer tapper (figur 6) som kan kalles blå-følsomme (topp ved 420 nm), grønn-følsomme (topp ved 534 nm)) og rød-følsomme (topp ved 564 nm). Tappene har tre typer fargestoffer, kalt opsiner. Stavene inneholder fargestoffet "synspurpur" (rhodopsin) som absorberer lys (maksimum ved 498 nm).

I 2002 oppdaget forskerne en tredje type fotokjemiske lyssensorer i netthinnen hos mennesker, melanopsin-sensorene. Cellene som inneholder disse reseptorene ligger lengre framme i øyet enn stavene



Figur 6. Sammenligning av aksjonsspektrene for fotoreseptorer (sanseceller) i den menneskelige netthinnen. T: tappene, S: stavene og ipRGC: de intrinsikt fotosensitive retinogangliecellene.

og tappene, og kalles intrinsikt fotosenssitive retinogangliecceller, ipRGC.[11,12] Disse cellene er med på å styre organismens døgnrytmer (cirkadianske rytmer).

Det å måle aksjonsspektret for disse detektorene er vanskelig. Det er bare 1–2 % av gangliecellene i netthinnen som inneholder det lysfølsomme pigmentet melanopsin. Melanopsin i ipRGC er mest følsomt for blått lys (topp ved 480 nm, figur 6). Disse lyssensorene har ikke med synet å gjøre, men de sender informasjon om lys til de *suprachiasmatiske* kjernene, kroppens hovedklokke, som ligger i hjernens hypotalamus, like over synsnervekrysningen, og regulerer døgnrytmene. Disse lyssensorene fungerer selv hos blinde. Fra de suprachiasmatiske kjernene sendes det signaler til en annen hjerneregion, den paraventrikulære kjerne. Når denne får beskjed fra de suprachiasmatiske kjernene om at det er mørkt, videreformidler den denne beskjeden via en omvei, ned i øvre del av ryggmargen, til en annen kjertel i hjernen, epifysen. Vi kaller den oftest konglekjertelen eller pinealorganet. Hormonet melatonin (ofte kalt "mørkets hormon") produseres i epifysen når vi sover og det er mørkt, produksjonen hemmes av lys. Melatoninet synkroniserer de biologiske rytmene slik at disse tilpasses lys og mørke i det geofysiske døgnet. De suprachiasmatiske kjernene har en rytme på rundt 25 timer, altså noe lengre enn et døgn, og må derfor stilles litt tilbake hver dag for å tilpasses 24-timersrytmen. Den viktigste døgnrytme-modulatoren er dagslys, som kan stille "klokken" begge veier, avhengig av

når på døgnet øyet belyses.

Signalene fra ipRGC-ene virker også på pupilldiameteren i øyet. Dette benyttes i aksjonsspektroskopien fordi pupillene reagerer raskt på lyspulser ved å avta i diameter. Aksjonsspektret, som man på denne måten fant for ipRGC-responsen, har et maksimum rundt 480 nm, i det blå spektralområdet (figur 6).[11,12]

Mange av kroppens funksjoner har døgnrytmer, såkalte cirkadianske rytmer. Aksjonsspekteret for ipRGC-responsen har stor betydning når lyskilder til behandling av døgnrytmeforstyrrelser (forsinket søvnfasesyndrom, fremskyndet søvnfasesyndrom, irregulær søvnvåkenhetsrytme, frittløpende døgnrytme, jet-lag og skiftarbeidslidelse) eller vinterdepresjoner, skal konstrueres. Vinterdepresjon, eller sesongavhengig affektiv lidelse, er en type depresjon som spesielt opptrer i mørketiden. Mangel på lys kan utløse vinterdepresjon. De fleste med vinterdepresjoner har en forskyvning av døgnrytmen (de sover lenger om morgenen), og vil derfor respondere positivt på lysbehandling til riktig tidspunkt.

Drøfting og konklusjon

For de fleste biologiske effekter eller skader er det mulig å finne et virkningsspektrum. Både evnen til å fremkalle erytem, brunning, produksjon av D-vitamin og kreft i huden, varierer med bølgelengden til strålingen, og man har derfor ulike aksjonsspektre. Kunnskap om disse spektrene er viktig når vi lager solkremer og solbriller for å hindre akutte hud- og øyeskader. Virkningsspektrene har også betydning for UV-stråling som kan indusere forskjellige typer av hudkreft eller produsere D-vitamin. Aksjonsspekteret for solbrenthet lå til grunn for forskrifter for solarier ifra 1983. Oppdagelsen av melanopsin-reseptorer, ipRGC, og aksjonsspekteret for ipRGC-responsen har revolusjonert vår forståelse av betydningen av lys, og ved dette måten vi forstår virkning av både dagslys og kunstig lys for vår helse på. Døgnrytmeforstyrrelser som jet-lag og søvnfaseforstyrrelser kan behandles med lysterapi med blått lys. Aksjonsspektrene til porfyriner hjelper oss å finne de optimale fotosensibiliserende stoffene og lyskildene til fotodynamisk kreftbehandling.

Ordforklaringer

- *Absorpsjonsspektrum:*
  Spektrum av lys absorbert i materialer som funksjon av bølgelengde.
- *Aksjonsspektrum, virkningsspektrum:*
  Biologisk effekt av stråling vs. bølgelengde.
- *Basalcellekreft:*
  Hudkreft i basalcellelaget i overhuden.
- *Erytem:*
  Solforbrenthet av UV-stråling.
- *Fotodynamisk behandling,* PDT:
  Ny behandlingsform for hudkreft, basert på at porfyriner blir tatt opp i svulster og blir giftige for kreftceller ved spesiell belysning.
- *Fotoisomerisering:*
  Endring i isomere former av molekyl med lys.
- *Fotooksidasjon:*
  Kjemisk reaksjon eksitert av lys.
- *Isomerer:*
  Kjemiske forbindelser med samme molekylformler, men med ulike strukturer.
- *Kolesterol:*
  Viktig lipid for mange funksjoner i mammalske celler, og en viktig del av cellemembranene. Mange hormoner er avledet av kolesterol.
- *MED* (*Minimal Erytem Dose*):
  Minste stråledose for å skape erytem i hud.
- *Melanom:*
  Føflekkreft, alvorligste form for hudkreft. Starter i hudceller kalt melanocytter.
- *Monomerer:*
  Enkle molekyler med evne til å binde seg sammen. To sammen er en *dimer*, tre er en *trimer*, noen få sammen kalles *oligomer*, og mange sammen er en *polymer*.
- *Plateepitelkreft:*
  Vanlig form for hudkreft i områder som er utsatt for mye sol. Starter i overhudceller.
- *Pigment:*
  Ulike typer molekyl som forårsaker farge.
- *Porfyriner:*
  Organiske substanser med molekyler av samme grunnskjelett. Blir brukte ved PDT-behandling.
- *Suprachiasmatiske kjerner:*
  Finnes i hypotalamus i hjernen, og regulerer døgnrytmer.

- *Transgene mus:*
  Laboratoriemus som får innsatt RNA eller DNA slik at disse blir nedarves som dyrets egne gen. Dette stimulerer kroppen til å lage nye proteiner som gjør det mulig å undersøke geners betydning for sykdom.
- *Urokansyre:*
  Fins i hud hos mennesker og absorberer UV-stråling. Blir til cis-urokansyre ved bestråling, og påvirker immunsystemet.

Referanser

1. A.W. Schmalwieser, S. Wallisch, B. Diffey: *A library of action spectra for erythema and pigmentation.* Photochem. Photobiol. Sci. **11,** 251-268 (2012)

2. L.R. Sklar, F. Almutawa, H.W. Lim, I. Hamzavi: *Effects of ultraviolet radiation, visible light, and infrared radiation on erythema and pigmentation: A review.* Photochem. Photobiol. Sci. **12,** 54–64 (2013)

3. A. Juzeniene, P. Brekke, A. Dahlback, S. Andersson-Engels, J. Reichrath, K. Moan, M.F. Holick, W.B. Grant, J. Moan: *Solar radiation and human health.* Rep. Prog. Phys. **74,** [066701-(066756pp) (2011)]

4. R.B. Setlow, E. Grist, K. Thompson, A.D. Woodhead: *Wavelengths effective in induction of malignant melanoma.* Proc. Natl. Acad. Sci., USA, **90,** 6666-6670 (1993)

5. J. Moan, A. Dahlback, R.B. Setlow: *Epidemiological support for an hypothesis for melanoma induction indicating a role for UVA radiation.* Photochem. Photobiol. **70,** 243–247 (1999)

6. J. Moan, A.C. Porojnicu, A. Dahlback: *Ultraviolet radiation and malignant melanoma.* Adv. Exp. Med. Biol. **624,** 104–116 (2008)

7. J. Moan, Z. Baturaite, A.C. Porojnicu, A. Dahlback, A. Juzeniene: *UVA, UVB and incidence of cutaneous malignant melanoma in Norway and Sweden.* Photochem. Photobiol. Sci. **11,** 191–198 (2012)

8. D.L. Damian, Y.J. Matthews, T.A. Phan, G.M. Halliday: *An action spectrum for ultraviolet radiation-induced immunosuppression in humans.* Br. J. Dermatol. **164,** 657–659 (2011)

9. J. Moan, A.C. Porojnicu: *The photobiology of vitamin D–a topic of renewed focus* Tidsskr. Nor. Laegeforen. **126,** 1048–1052 (2006)

10. J. Moan, S. Sommer: *Action spectra for hematoporphyrin derivative and Photofrin II with respect to sensitization of human cells in vitro to photoinactivation.* Photochem. Photobiol. **40,** 631–634 (1984)

11. H.J. Bailes, R.J. Lucas: *Melanopsin and inner retinal photoreception.* Cell. Mol. Life Sci. **67,** 99–111 (2010)

12. M. Hatori, S. Panda: *The emerging roles of melanopsin in behavioral adaptation to light.* Trends Mol. Med. **16,** 435–446 (2010)

∞

Husk å melde adresseforandring til sekretæren i NFS!

Termoelektrisk effekt: Straum frå varme og kjøling med straum

Emil J. Samuelsen *

Elektrisk straum kan generererast direkte frå varme ved termoelektrisk effekt. Dette har vore kjent i snart 200 år. No er det ein betydeleg interesse for å nytte denne effekten til å omforme spillvarme frå maskiner og industriprosessar til å produsere elektrisk energi. Også termoelektrisk kjøling har mange fordelar og blir brukt til spesielle formål. Artikkelen beskriv termoelektriske effektar og drøfter grunnlaget for dei, og forklarar verkemåten for generatorar og kjølarar.

Innleiing

Funksjonelle materiale er materiale som har eigenskapar som kan utnyttast teknisk eller vitskapeleg, slik som metall for elektriske leidningar eller kvarts for optiske linser og polarisatorar.

Termoelektrisitet er eit eksempel på ein funksjonell materialeigenskap knytt til metall og halvleiarar, og beskriv samanhengar mellom varmetoningar ($\dot{w}$) eller temperaturforskjellar (ΔT), og elektrisk spenning (V, U) eller straum (I, J). Dette kjem til uttrykk i tre ulike, beslekta former, kalla *seebeckeffekt*, *peltiereffekt* og *thomsoneffekt*. Det blir gitt korte omtalar av desse nedanfor.

Termoelektrisitet er eit emne som ikkje har nokon brei plass i dagens fysikkbøker, og der emnet blir tatt opp, førekjem det skuffande ofte feilaktige forklaringar av opphavet til effektane, ifølgje referanse (1). Ei god, men nokså matematisk innføring i den teoretiske bakgrunnen, er gitt i referanse (2).

Termoelektrisitet har enkelte betydelege bruksområde, som temperaturmåling med termoelement, elektrisk kjøling og energigjenvinning. Interessa for dette fagfeltet er aukande fordi det har potensiale som reiskap i samanheng med energisparing. Eit anna potensielt bruksområde er å nytte kroppsvarme på ekspedisjonar og utfluktar i fjell og villmark, til å generere straum for overvåkingssensorar og instrument som GPS og mobiltelefonar.[3]

* Institutt for fysikk, NTNU, Trondheim.

Termoelektrisitet

Dei termoelektriske effektane blei oppdaga alt i første halvdel av 1800-talet, og tilhører såleis den klassiske fysikken. Effektane kan beskrivast termodynamisk, mens atomistisk tolking må ty til kvantemekanikk.

Estland-tyskaren Thomas Johann Seebeck (1770–1831) oppdaga det som no vert kalla *seebeckeffekten* i 1821. Han la merke til at når endane av to samankopla trådar av ulike metall vart haldne ved ulike temperaturar, blei det utslag på ei magnetisk kompassnål som var halden like ved. Seinare blei det klargjort at utslaget skyldest elektrisk straum mellom dei to endane, og denne straumen set opp eit magnetfelt kring leidningane, som gir kompassutslaget. Denne såkalla seebeckspenninga som blir skapt mellom dei to kontaktpunkta, er proporsjonal med temperaturdifferansen, ΔT:

$$V = S \cdot \Delta T \tag{1}$$

S blir kalla *seebeckkoeffisienten*, og er oftast gitt med eininga μV/K. S er avhengig av kva slag metall trådane er laga av, og kan variere mykje med temperaturen. Også dopa halvleiarar gir seebeckeffekt. Koeffisientane kan tilordnast dei individuelle materiala, men opptrer oftast som differansar i koplingar.

Straum gjennom metalliske leidningar gir varmeutvikling på grunn av ohmsk motstand. Men i 1834 fann franskmannen Jean Charles Athanase Peltier (1785–1845) at elektrisk likestraum sendt gjennom kontaktpunkt mellom ulike metall, gav opphav til varmeutvikling i kontakten i tillegg til ohmsk varme. Straum sendt i motsett retning viste seg å gi kjøleeffekt i kontaktpunktet! Dette kallast no *peltiereffekten*, og varmetoningsraten

(dvs. varmeutviklinga eller nedkjølinga, $\dot{w}$) er proporsjonal med straumstyrken, I:

$$\dot{w} = \Pi \cdot I \tag{2}$$

der Π blir kalla *peltierkoeffisienten.* Han er både materialavhengig og temperaturavhengig som seebeckkoeffisienten. Faktisk er dei to koeffisientane proporsjonale. Britiske William Thomson (1824–1905), seinare kjent som lord Kelvin, viste i 1854 at relasjonen mellom dei er

$$\Pi = S \cdot T \tag{3}$$

der T er absolutt-temperaturen. Den same Thomson lanserte den tredje termoelektriske effekten, som no er kalla *thomsoneffekten*: Alle temperaturgradientar i alle elektriske likestraumsleidningar gir opphav til varmetoning i leidningane, oppvarming eller avkjøling, avhengig av straumretninga. Denne effekten er av betydning for tilfelle der seebeckkoeffisienten er sterkt temperaturavhengig, men blir ikkje omtalt vidare i denne artikkelen.

Mekanisme for termoelektrisitet

Termoelektrisk effekt i metall og halvleiarar kan beskrivast kvalitativt med ein modell der ladningsberarane (negative ladningar ved elektrona i metall og n-dopa halvleiarar, positive ladningar ved "hol" i p-dopa halvleiarar) som er ansvarlege for straumtransporten, kan betraktast som mobile partiklar i leidningar, på ein måte tilsvarande atom og molekyl i gassar. Denne modellen er forenkla ved at atomvibrasjonar, defektar og forureiningar kan modifisere effektane betrakteleg. Hovudpoenget er at varmerørslene til ladningane blir livlegare i den enden av leidninga som er varmast, og ladningsberarane vil diffundere snøggare der. Når likevekt er innstilt, vil det derfor vere færre ladningar i den varme enden enn i den kalde. Det betyr at den kalde enden blir negativt ladd, og den varme blir positivt ladd i metall og n-dopa halvleiarar. Det blir omvendt polaritet for p-dopa halvleiarar.

La oss tenke oss ei straumførande leidning som ikkje nødvendigvis er homogen eller har same temperatur overalt i lengderetninga, z. Elektrisk potensial over leidninga vil ha eit ohmsk bidrag, eit seebergbidrag og eit bidrag frå *(elektro-)kjemisk potensial*, μ.

I staden for straumstyrke og spenning er det vanleg å uttrykke seg ved hjelp av tilsvarande straumtettleik, J, og posisjonsavhengig elektrisk felt, E. Feltstyrke kan uttrykkast gjennom den posisjonsderiverte av potensialet. Det gir følgjande uttrykk for feltstyrken:[1,2]

$$E = \rho J + S(dT/dz) - (d\mu/dz)/e. \tag{4}$$

Her er ρ elektrisk resistivitet og $-e$ er elektronladninga, $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C. Kjemisk potensial blir kalla *ferminivå*, μ, i materialfysikken. Eininga er *energi*, som gir rett eining i (4) ved å dividere med e. μ uttrykker midlere energi for partiklane som står for ladningstransporten. For elektron markerer det skiljet i energinivå mellom dei "lokaliserte" og dei "mobile" elektrona, som har høgre energi. Ferminivået er temperaturavhengig. Verdien ved temperaturen $T = 0$ kallar vi *fermienergien*, ε_{F0}.

Å utleie uttrykk for dei termoelektriske koeffisientane utifrå modellar for elektriske og mikrostrukturelle materialparametrar, er i prinsippet muleg, men dei teoretiske resultata er i praksis berre av kvalitativ karakter, fordi oppgåva er så kompleks. Eitt resultat er $S = -\pi^2 k_B^2 T/(2e\varepsilon_{F0})$, altså at S er proporsjonal med absolutt-temperatur, som sjeldan er oppfylt (k_B er boltzmannkonstanten). Referanse (2) gir ein smakebit av teorien.

Kontaktpotensial

Ser vi på tilfellet at der er kontakt mellom to metall, A og B, og der ikkje er temperaturforskjellar og ikkje går straum, vil dei to første ledda i (4) vere lik null, og vi står att med spenningsfall over kontaktpunktet

$$V_{AB}^K = \int_A^B E dz = (\mu(A) - \mu(B))/e \tag{5}$$

som er *kontaktpotensialet* mellom A og B. (I mange lærebøker blir kontaktpotensialet utleidd frå "arbeidsfunksjonane" til elektrona i dei to metalla, som er energien for å frigjere elektrona frå overflatene, men det er ikkje heilt det same som (5) viser, for "arbeidsfunksjonane" gjeld for frigjering av elektrona frå *overflater*). Kontaktpotensialet har som resultat at det blir danna eit elektrisk dobbeltsjikt på grensa mellom metalla, positiv ladning på ei side og negativ ladning på den andre. Men dette potensialet er ikkje opphavet til dei termoelektriske effektane, og det lar seg ikkje måle eller utnytte, for ved tilkoplingspunkt for eventuelle leidningar for å utnytte eller måle spenninga, oppstår det tilsvarande motpotensial som akkurat balanserer kontaktpotensialet AB, som vist nedanfor.

Termospenning langs leidningstråd

La oss sjå på tilfellet at ei enkelt leidning blir halden ved temperatur T_1 i den eine enden, og temperatur T_2 i den andre. Når likevekt er innstilt og det ikkje lenger går straum, vil det etter (4) vere eit E-felt langs tråden på grunn av termodiffusjon av elektrona

$$E = S(dT/dz) - (d\mu/dz)/e = [S - (d\mu/dT)/e]\, dT/dz \tag{6}$$

Potensialet langs tråden kan ein få fram ved å integrere

$$V_{T_1-T_2} = \int_{z_1}^{z_2} E dz = S(T_2 - T_1) - (\mu(T_2) - \mu(T_1))/e). \tag{7}$$

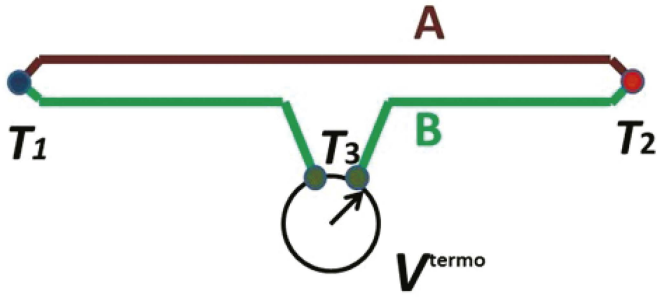
S er her antatt å vere lite temperaturavhengig, eller kan betraktast som ein middelverdi for det aktuelle temperaturområdet.

To leidningar kopla saman i endane

Vil ein måle spenninga langs leidninga som er av materiale vi kan kalle A, nyttar vi eit voltmeter med stor indre resistans ved ein vilkårleg temperatur T_3, og tilkoplingsleidningar av materiale B, som vist på figur 1. Stor indre resistans vil sikre at der går lite straum i kretsen. Om vi summerer spenningsbidraga rundt heile kretsen, inkludert kontaktpotensiala, og tar omsyn til at $V^K_{AB} = -V^K_{BA}$ ved alle kontaktane, vil vi finne at sisteledda i (7) vil kompensere kontaktpotensialledda i (5), og målt spenning blir

$$V^{termo}_{AB} = (S_B - S_A) \cdot (T_2 - T_1) \tag{8}$$

Dette er *seebeckeffekten* etter likning (1). Kontaktpotensial inngår ikkje. Koeffisienten i (8) er differansen mellom seebeckkoeffisientane for dei to materiala. Seebeckkoeffisientar blir ofte oppgitt som verdiar med platina som referanse sett til null. Nokre typiske verdiar for metall og halvleiarar ved 0 °C er gitt i Tabell 1 (siste avsnitt).



Figur 1. Termoelement. Leidningar av materiala A og B kopla saman i endane, som blir haldne ved to ulike temperaturar. Koplingspunkta er markerte som blåe ved låg temperatur, raude ved høgtemperatur, og grøne ved voltmetret sin temperatur.

Generelt har halvleiarar høgre seebeckeffekt enn metall. Selén har ca. 140 gongar større seebeckkoeffisient enn koppar, som vi ser av tabellen.

Termoelement

Likning (8) beskriv hovudpoenget for temperaturmålingar med *termoelement*. Ved å halde den eine koplinga ved ein kjent temperatur, t.d. i termostat eller isbad, kan ein bestemme temperaturen i den andre enden frå den målte spenninga. Tabell 1 viser at 10 gradars temperaturforskjell med eit kopparkonstantan-termoelement ved 0 °C, vil gi ut ei spenning på 0,415 mV.

Peltiereffekt

Denne effekten inneber at likestraum som blir sendt gjennom eit kontaktpunkt mellom to ulike, leiande materiale, gir ei ekstra varmetoning i kontakten (i tillegg til ohmsk varmeutvikling i leidningane), oppvarming eller avkjøling, avhengig av straumretninga. Bakgrunnen for denne litt merkelege effekten er at forflytting av ladningsberarane i straumen, I, har med seg eit *drag* av varmetransport, $\dot{w}$, (i termodynamisk terminologi svarar det til ein *entropistraum*), der $\dot{w} = \Pi \cdot I$. Koeffisienten Π, som er peltierkoeffisienten i likning (2), er materialavhengig. Dersom t.d. $\Pi_A > \Pi_B$, vil ein elektrisk straum frå A-sida inn mot kontaktpunktet føre meir varme til kontaktpunktet enn straumen på B-sida vil føre bort, og kontakten blir oppvarma. Når straumen går i motsett retning, vil derimot A-sida føre bort meir varme enn B-sida bringer inn, og ein får avkjøling. Peltiereffekten blir brukt både til kjøling og oppvarmingsformål.

Termoelektrisk straumgenerator

Generert termospenning frå temperaturdifferansar som i (8), kan nyttast til å produsere elektrisitet, og har såleis ei viss interesse i energi- og miljøsamanheng. Figur 2 viser prinsippet for ein slik generator, basert på bruk av dopa halvleiarar i serie. Varme blir tilført den øvre delen av elementet, og nyttbar spenning blir generert i den nedre delen.

Ladningsberarane i den n-dopa halvleiaren er

Fra Fysikkens Verden

76
~~75~~. årgang
2016 4

Norsk Fysisk Selskap
Oslo 2016 4

ISSN-0015-9247

Innhold FFV 2015

Nr. 1:

Fra Redaktørene 2
Øyvind Grøn
Nytt fra NFS 2
Fysikermøtet 2015, og Nordic Physics Days 2015
Åshild Fredriksen
Optisk overvåking av vann
Lars Egil Helseth 3
Effektive solceller for hydrogen frå vatn
Emil J. Samuelsen 8
Fasekonjugert ultralyd – fascinerande fysikk
Kristian Fossheim 12
Indeks FFV 2014 15
Eksperimentet som aldri ble utført
Jonas Persson 22
Bokomtale 26
I. Olovsson, A. Liljas og S. Lidin (red.):
From a Grain of Salt to the Ribsome.
Series in Structural Biology - Vol 4.
World Scientific Publishing, 2015.
Bjørn Pedersen
Fysikknytt 28
Annonserte spor etter "gravitasjonsbølger
fra universitetets begynnelse"
kom trolig fra galaktisk støv
Øyvind Grøn
Kommentar 30
Lungenes rensesystem og radon
Bjarne Stugu
Trim i FFV 31

Nr. 2:

Frå Redaktørane 34
Emil J. Samuelsen
Nytt fra NFS 35
Nordic Physics Days
Åshild Fredriksen
Frå Fysikkens Verden på nett
Are Raklev
FFV Gratulerer 36
Olav Thon-stiftelsens pris
til Anders Malthe-Sørenssen
Hilde Lynnebakken
Lysleiande fibrar: Det som skapte Internett 37
Aasmund Sudbø
Ny felleseuropeisk nøytronkilde ESS
under bygging i Lund 43
Kenneth D. Knudsen
Nye, gigantiske observatorier for gammastråling 49
Trygve Buanes
Fysikknytt 53
Nyoppdaga nano-is med kvadratisk struktur
Emil J. Samuelsen
Bokomtale 55
Øyvind G. Grøn:
Termodynamikk for høgskole og universitet
Cappelen Damm Akademisk, 2015
Eivind Hiis Hauge
Kommentar 56
Informasjon om boka fra forfatteren
Øyvind Grøn
Frå Fysikkens Historie 56
Tankar om nordlyset i 1787
Karl Måseide
Kva skjer 57
NFS og European Physics Journal
Per Osland
Nye Doktorer 58
PhD Nora H. Stray
Trim i FFV 58

Nr. 3:

FFV-Leserundersøkelsen 2015 62
Fra Redaktørene 63
Øyvind Grøn
Nytt fra NFS 63
Ingerid Hiis Helstrup æresmedlem i NFS
Åshild Fredriksen
FFV Gratulerer 64
Martin Landrøs pris til Live Furnes Øyen og Annet Eva Zawedde
Are Raklev
Vinghøgprisen i elektrooptikk til Martin Møller Greve
Åshild Fredriksen
NFS undervisningspris til Inga Hanne Dokka
Morten Trudeng
EU-forskningsstønad til Arne Brataas
Emil J. Samuelsen
Kåre Olaussen 70 år
Eivind Hiis Hauge
Den generelle relativitetsteorien 100 år, Del I: Tid, rom, gravitasjon og lys
Øyvind Grøn 67
Thorium for lettvannsrektorer
Øyvind Berg og Wolfgang Wiesenack 73
Kelvin hekkbølger
Eirik Grude Flekkøy 80
Fysikknytt 82
CERN annonserer sikre funn av pentakvarkar
Hallstein Høgåsen
Supraleiing ved temperaturar over 200 K?
Emil J. Samuelsen
Hva skjer 86
"Nordic Physics Days" 2015
Åshild Fredriksen
Inntrykk frå Nordiske fysikkdagar 2015
Emil J. Samuelsen
Fysikkolympiaden 2015
Thomas Frågåt
Jubileumskonferanse 2016
Morten Trudeng
Trim i FFV 90

Nr. 4:

Frå Redaktørane 94
Emil J. Samuelsen
Nytt fra NFS 94
Yaras Birkelandpris i fysikk og kjem 2016
Åshild Fredriksen
Nobelprisen i fysikk 2015: Oscillerende massive nøytrinoer
Øystein Elgarøy 95
Den generelle relativitetsteorien 100 år, Del II: Treg draeffekt, rotasjon og frastøtende gravitasjon
Øyvind Grøn 98
Topologiske isolatorar – overflateleiande materiale
Emil J. Samuelsen 103
Maglev: Det flygande toget
Kristian Fossheim 109
Belysningsteknologiens rivende utvikling
Robert G. Berntsen og Øyvind G. Grøn 114
Bokomtale 119
Jostein Riiser Kristiansen: Det usynlige universet – Verdensrommets mørke hemmeligheter Humanist forlag, 2015
Henning Knutsen
Trim i FFV 121

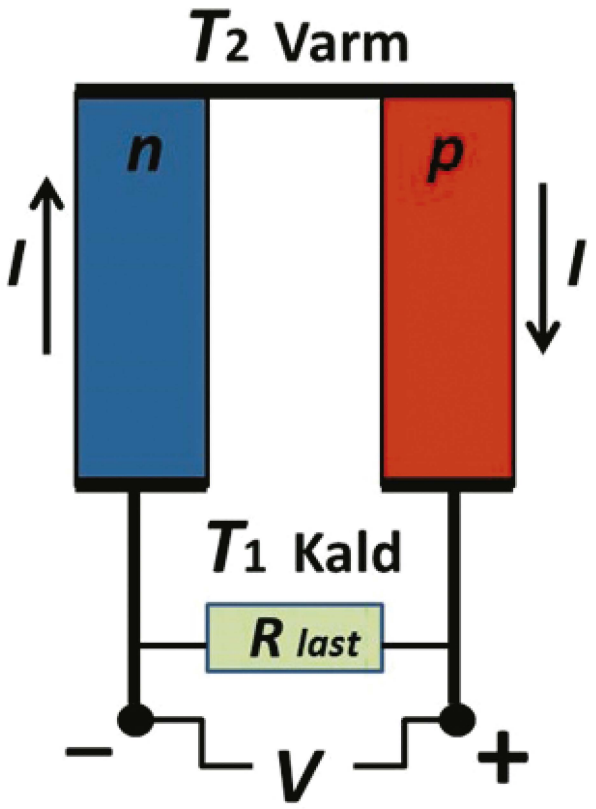
∞

Forfatterregister 2015

Berg, Øivind og Wolfgang Wisenach:
Thorium for lettvnnsreaktorer 73
Berntsen, Robert G. og Øyvind G. Grøn:
Belysningsteknologiens rivende utvikling 114
Buanes, Trygve:
Nye, gigantiske observatorier for gammastråling 49
Elgarøy, Øystein:
Nobelprisen i fysikk 2015:
Oscillerende, masseløse nøytrinoer 95
Flekkøy, Eirik Grude:
Kelvins hekkbølger 80
Fossheim, Kristian:
Fasekonjugert ultralyd - Fascinerande fysikk 12
Fossheim, Kristian:
Maglev; Det flygande toget 109
Fredriksen, Åshild:
Nytt fra NFS: Fysikermøtet 2015
Nytt fra NFS: Nordic Physics Days 35
Fredriksen, Åshild:
Nytt fra NFS: Ingerid Hiis Helstrup æresmedlem 63
Fredriksen, Åshild:
FFV Gratulerer: Vinhøgprisen i elektrooptikk
til Martin Møller Greve 65
Fredriksen, Åshild:
Hva skjer: Nordic Physics Days 86
Fredriksen, Åshild:
Nytt fra NFS: Yaras Birkelandpris i fysikk 2016 94
Frågåt, Thomas:
Hva skjer: Fysikkolympiaden 2015 89
Grøn, Øyvind:
Fra Redaktørene 2
Grøn, Øyvind:
Fysikknytt: Annonserte spor etter "gravitasjonsbølger
fra universets begynnelse" trolig fra galaktisk støv . 28
Grøn, Øyvind:
Kommentar: Informasjon om boka fra forfatteren 56
Grøn, Øyvind:
Fra Redaktørene 63
Grøn, Øyvind:
Den generelle relativitetsteorien 100 år - Del I
Tid, rom, gravitasjon og lys 67
Grøn, Øyvind:
Den generelle relativitetsteorien 100 år - Del II
Treg draeffekt, rotasjon og frastøtende gravitasjon . 98
Hauge, Eivind Hiis:
Bokomtale: Øystein G. Grøn:
Termodynamikk for høgskole og universitet.
Cappelen Damm Akademisk, 2015 55
Hauge, Eivind Hiis:
FFV Gratulerer: Kåre Olaussen 70 år 66
Helseth, Lars Egil:
Optisk overvåking av vann 3
Høgåsen, Hallstein:
Fysikknytt: CERN annonserer funn av pentakvarkar . 82
Knudsen, Kenneth:
Ny felleseuropeisk nøytronkilde ESS under bygging ... 43
Knutsen, Henning:
Bokomtale: Jostein Riiser Kristiansen:
Det usynlige universet.
Verdensrommets mørke hemmeligheter.
Humanist Forlag, 2015 119
Lynnebakken, Hilde:
FFV Gratulerer: Olav Thon-stiftelsens pris
til Anders malthe-Sørenssen 36
Måseide, Karl:
Frå Fysikkens Historie:
Tankar om nordlyset i 1787 56
Osland, Per:
Hva skjer: NFS og European Physics Journal 57
Pedersen, Bjørn:
Bokomtale: I. Olovsson, A. Liljas og S. Lidin (red.):
From a Grain of Salt to the Ribsome.
The History of Crystallography ...
World Scientific Publishing, 2015 26
Persson, Jonas:
Eksperimentet som aldri ble utført 22
Raklev, Are:
Nytt fra NFS: Fra Fysikkens Verden på nett 35
Raklev, Are:
FFV Gratulerer: Martin Landrøs pris til
Live Furnes Øyen og Annet Eva Zawedde 64
Samuelsen, Emil J.:
Effektive solceller for hydrogen frå vatn 8
Samuelsen, Emil J.:
Frå redactørane 34
Samuelsen, Emil J.:
Fysikknytt: Nyoppdaga nano-is
med kvadratisk struktur 53
Samuelsen, Emil J.:
FFV Gratulerer: Prestisjetung EU-forskningstønad
til Arne Bratås 66
Samuelsen, Emil J.:
Fysikknytt: Supraleiing ved temperaturar over 200 K 84
Samuelsen, Emil J.:
Kva skjer: Inntrykk frå Nordiske fysikkdagar 2015 ... 87
Samuelsen, Emil J.:
Frå Redaktørane 94
Samuelsen, Emil J.:
Topologiske isolatorar - overflateleiande materiale ... 103
Stugu, Bjarne:
Kommentar: Lungenes rensesystem og radon 30
Sudbø, Aasmund:
Lysleiande fibrar: Det som skapte Internett 37
Trudeng, Morten:
FFV Gratulerer: NFS undervisningspris
til Inga Hanne Dokka 65
Trudeng, Morten:
Hva skjer: Jubileumskonferanse 2016 90

∞

elektron som diffunderer mot kald del, og gjer venstre side av kald ende negativ, mens ladningsberarane i p-dopa del er "positive hol", som også diffunderer mot kald del, slik at høgre side av kald ende blir positiv, og der er oppstått ei elektromotorisk spenning, V.



Figur 2. Samankopla n- og p-halvleiarar mot varmekjelda, temperatur T_2, genererer elektrisk straum I (retning for positiv ladning) og utnyttbar elektromotorisk spenning V ved den kalde enden, temperatur T_1.

Men ikkje berre ladningsberarane vil diffundere frå varmt mot kaldt. Det vil også gå ein varmestraum den vegen ved *varmeleiing*. Skal temperaturdifferansen $\Delta T = T_2 - T_1$ oppretthaldast, må varmetransporten avgrensast, og derfor må varmeleiingsevna, κ, i halvleiarane vere så lita som råd er, samtidig som den elektriske leiingsevna, $\sigma = 1/\rho$, må vere størst muleg for ikkje å tape for mykje elektrisk energi som ohmsk varmeutvikling. Det hører også med i bildet at dei diffunderande partiklane også vil bere ein varmestraum med seg, av den same natur som det som er opphavet til peltiereffekten.

I den termoelektriske straumgeneratoren er det altså fleire effektar til stades samtidig, som dels motverkar kvarandre. Det er derfor vanleg å kombinere materialeigenskapane i ein eigen "effektivitetsparameter" kalla zT (*figure of merit* på engelsk):

$$zT = S^2 \cdot T\sigma/\kappa \tag{9}$$

Ein ser at høg seebeckeffekt og stor elektrisk leiingsevne kombinert med dårleg varmeleiingsevne, gir høge zT-verdiar. Typiske verdiar ligg i praksis i området mellom 0,1 og 2,0, jamvel om det ikkje er noko øvre teoretisk grense. For tokomponentsystem blir same uttrykket nytta, med S erstatta av $(S_B - S_A)$, og T, σ og κ erstatta av middelverdiar.

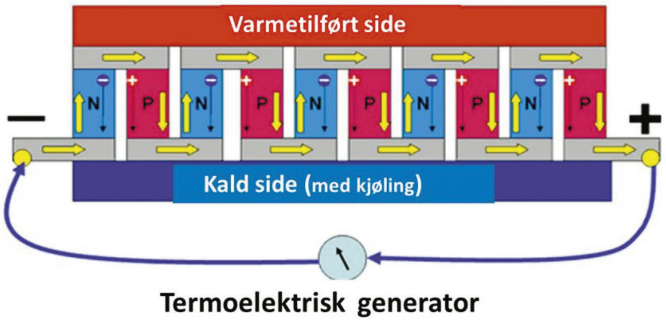
Når koplinga i figur 2 skal nyttast som elektrisk generator, blir varme frå varmekjelda tilført til den varme enden, mens den kalde enden må ha ei viss kjøling for å ta bort den delen av tilført (varme-)energi som ikkje blir overført til elektrisk energi.

Virkningsgrad

Virkningsgraden for produksjon av elektrisk energi er sterkt materialavhengig, men varierer også med straumstyrken frå generatoren. Ei teoretisk absolutt øvre grense for alle varmekraftmaskinar er den termodynamiske *carnotverdien* $(T_2 - T_1)/T_2$, der T_2 er temperaturen til varmekjelda. Eit uttrykk for maksimal muleg virkningsgrad er

$$\eta_{max} = (T_2 - T_1)/T_2 \cdot [(1+zT)^{1/2} - 1]/[(1+zT)^{1/2} + 1]. \tag{10}$$

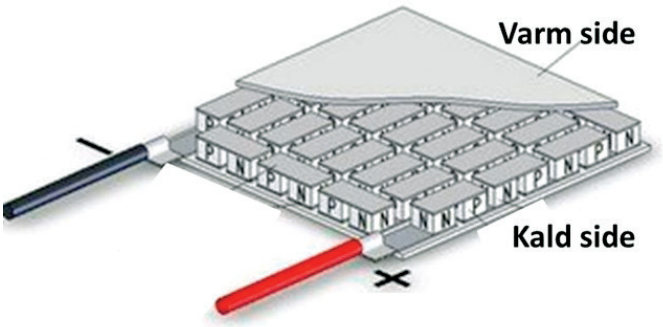
For zT-verdi på 1,0 og temperaturskilnad på 100 K ved $T_2 = 400$ K, blir $\eta_{max} = 4,3\,\%$. Fordobling av både zT og T_2 gir til samanlikning $\eta_{max} = 16,7\,\%$. Effektiviteten av termoelektrisk generering av elektrisitet frå varme, er altså ikkje oppsiktsvekkande høg. Ved å seriekople element, som i figur 2, til større modular, kan utbyttet aukast, som i figur 3 og figur 4. For energigjenvinning frå spillvarmen i eksosgassar frå kjøretøy, blir virkningsgradar i området 5–8 %.



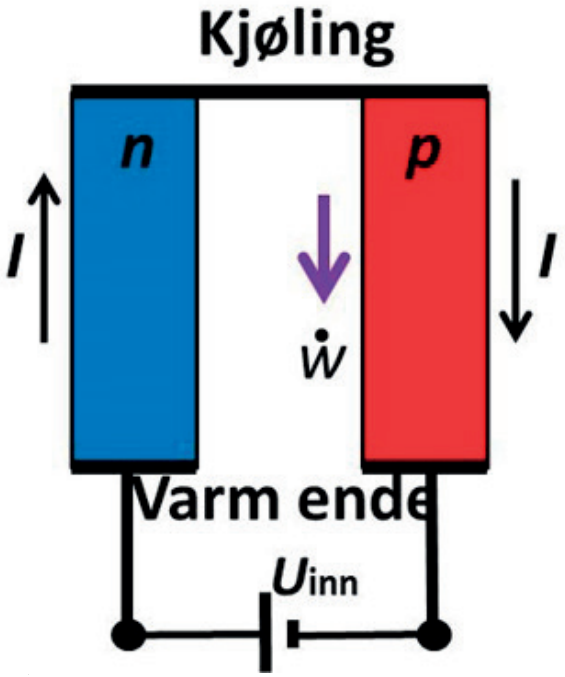
Figur 3. Generatorelement sett saman til modul.

Termoelektrisk kjøling

Elementet vist i figur 2 er også basis for termoelektriske kjølarsystem, vist i figur 5. Her vil



Figur 4. Delvis avdekt todimensjonal multielementmodul.



Figur 5. Termoelektrisk kjøling med påtrykt spenning U_{inn}, kjøling med peltiereffekt i kontaktområdet for n- og p-halvleiardelane. Varme frå den nedre enden må leiast bort, t.d. med ribber eller kjølevatn.

straumen gjennom $n-p$-kontakten (øvre del) gi peltierkjølingseffekt. Ohmsk varmeutvikling må minimaliserast ved best muleg ohmsk leiingsevne i begge greinene. I den koplinga som er vist, går ladningsberarane frå øvre delen og nedover, både elektrona i n-greina til venstre, og "hola" i p-greina til høgre, og dreg varme med seg. Det er om å gjere at varmen som blir transportert nedover, i minst muleg grad blir leidd tilbake mot kjøleenden, så varmeleiingsevna må haldast nede, og nedre delen må vere forsynt med kjøleribber eller bli kjølt med t.d. vatn.

Kommersielle kjøleelement føreligg som modular av enkeltelement som i figur 5. Typiske verdiar for ytinga av små element i cm-dimensjonar er 5–10 W kjøleeffekt, med nokre volt påtrykte spenningar, og straumstyrkar på nokre få ampère.

Fordelen med termoelektrisk kjøling er at der ikkje er roterande delar. Materiale til kjøleelement er av liknande slag som til generatorar. Termoelektrisk kjøling blir nytta til regulering av temperatur i datamaskinar og anna elektronisk utstyr, og til presis temperaturkontroll for laboratorieformål, m.a. i romsonder, og blir også i eit visst mon brukt til kjøleboksar i bilar og campingvogner.

Termoelektriske materiale

Den viktigaste nøkkelen til godt utbytte for straumgenerering og kjøling er å finne fram til (halvleiar-)materiale med høgst mulege zT-verdiar. Sterkt dopa vismut-tellurid og -selenid, Bi_2Te_3 og Bi_2Se_3, reknast som lovande materiale, med rapporterte verdiar $> 2,0$ kring romtemperatur. For temperaturar 500–700 K er dopa SiGe brukbart. Legeringar som $YbAl_3$ kan dekke breiare temperaturområde. Det føregår ein betydeleg forskingsinnsats i søk etter materialkandidatar, sånn som legeringar, metalloksid og halvleiande organiske polymerer. Lovande framsteg er blitt gjort med nanostrukturerte materiale for å redusere den *termiske* leiingsevna utan å skusle bort den elektriske. Grafén-baserte materiale er også prøvd og har høge zT-verdi, men er ikkje utvikla til element i større skala.

Ei materialgruppe kalla *skutterudittar* (etter mineralet skutteruditt, koboltarsenat $CoAs_3$, oppkalla etter første funnstaden Skuterud ved Drammen), er mykje forska på, for dei har ein spesiell krystallstruktur som gir låg varmeleiingevne. Ein sterkt dopa halvleiande polymer, kalla PEDOT (poly-etylen-dioksy-tiofen) er eit anna interessant materiale med høg stabilitet, og med låg termisk og

Tabell 1 Seebeck-koeffisientar for enkelte metall og halvleiarar ved 0 °C i V/K, relativ til platina. (Absoluttverdiar får ein ved å legge til *5*, som er absoluttverdien for platina.)

Stoff ***halvmet***all, ***leg***ering, ***met***all	Kjemisk symbol	*S*/ V/K	Stoff ***met***all, ***leg***ering, ***halvmet***all, ***halvlei***ar	Kjemisk symbol	*S*/ V/K
Vismut *halvmet*	Bi	-72	Koppar *met*	Cu	6,5
Konstantan *leg*	Cu-Ni-(Mn)	-35	Gull *met*	Au	6,5
Nikkel *met*	Ni	-15	Sølv *met*	Ag	6,5
Natrium *met*	Na	-2,0	Jern *met*	Fe	19
Platina *met*	Pt	0 (ref); 5 (abs)	Nichrome *leg*	Ni-Cr	25
Kvikksølv *met*	Hg	0,6	Antimon *halvmet*	Sb	47
Karbon *halvmet*	C	3	Germanium *halvlei*	Ge	300
Aluminium *met*	Al	3,5	Silisium *halvlei*	Si	440
Bly *met*	Pb	4,0	Tellúr *halvlei*	Te	500
Rhodium *met*	Rh	6	Selén *halvlei*	Se	900
Vismuttellurid *halvlei*	*n*-Bi_2Te_3	-230	Vismut(antimon) tellurid *halvlei*	*p*-$Bi_2(Sb)Te_3$	300

Tabell 1. Seebeckkoeffisientar for enkelte metall og halvleiarar ved 0 °C i μV/K, relativ til platina. (Absoluttverdiar får ein ved å legge til 5, som er absoluttverdien for platina.)

god elektrisk leiingsevne. PEDOT blir av mange rekna som ein sterk kandidat for termoelektrisk straumgenerering frå kroppsvarme for personlege småinnretningar som kroppssensorar, og for GPS og mobiltelefonar.

Referansar

1. R. Pelster, R. Pieper, I. Hüttl: *Thermospannungen - viel genutzt und fast immer falsch erklärt.* Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, PhyDid 1/4, 10–22 (2005)
2. N.W. Ashcroft, N.D. Mermin: *Solid State Physics.* CBS Publishing Asia Ltd (Bok førsteutgave), 253–258 (1976)
3. V. Leonov: *Thermoelectric Energy Harvesting of Human Body Heat for Wearable Sensors.* IEEE Sensor Journal, **13**, No 6, 2284–2291 (2013)

∞

Relativitetsteori og kvantefysikk i vgs: Forskning og utvikling av et skoleprosjekt

*C. Angell *, B. Bungum **, M.V. Bøe *** og E.K. Henriksen **

Generell relativitetsteori og kvantefysikk er tema som fysikkelever i videregående skole finner spennende, men som kan være utfordrende for lærere å undervise i. For å bidra til god undervisning og elevenes forståelse og motivasjon, utvikler vi i prosjektet "ReleKvant", nettbaserte læringsressurser. Utviklingen er et samarbeid mellom forskere, lærere og lektorstudenter, og innebærer flere runder med utprøving i noen utvalgte fysikklasser.

Læreplanen i fysikk i vgs

I læreplanen i fysikk programfag i Kunnskapsløftet, LK06 (*http://www.udir.no/kl06/FYS1-01*) står det om moderne fysikk at eleven skal kunne:

- ... gi en kvalitativ beskrivelse av den generelle relativitetsteorien
- gjøre rede for Einsteins forklaring av fotoelektrisk effekt, og kvalitativt gjøre rede for hvordan resultater fra forsøk med fotoelektrisk effekt, comptonspredning og partiklers bølgenatur representerer et brudd med klassisk fysikk
- gjøre rede for Heisenbergs uskarphetsrelasjoner, beskrive fenomenet sammenfiltrede fotoner og gjøre rede for erkjennelsesmessige konsekvenser av dem
- drøfte hvordan ulike fysiske teorier kan eksistere ved siden av hverandre, til tross for at de kan være motstridende
- gi eksempel på en vitenskapelig strid som ble avklart, og hvordan avklaringen kom, og gi eksempel på en vitenskapelig strid som ennå ikke er avklart, og gjøre rede for hvorfor den ikke er avklart
- beskrive fysiske prinsipper bak medisinske undersøkelser som røntgen, ...

Slike læringsmål er uvanlige i internasjonal sammenheng, og vi kjenner ikke til andre læreplaner som så eksplisitt krever at elevene skal reflektere over erkjennelsesmessige konsekvenser av kvantefysikk og kunne gjøre rede for hvordan kvantefysikk bryter med klassisk fysikk.[1]

Reidun Renstrøm[2] har påpekt at den klassiske fysikkens grunnleggende antakelser (bl.a. om kontinuitet og determinisme) må gjøres eksplisitte

* *UiO,* ** *NTNU,* *** *Naturfagsenteret*

for elever for at de skal kunne forstå hvordan kvantefysikken bryter med disse. Det er sannsynligvis langt fra at dette har vært vanlig i norske fysikklasser. Mange fysikklærere er også uvante med å undervise i denne typen temaer, og mange har begrenset kunnskap fra sin egen utdanning og kjenner seg dermed usikre.[3] Dette er derfor utfordrende temaer både for elever og lærere, men vi mener at disse temaene også innebærer muligheter til å gjøre fysikken inspirerende for elevene. Dette er utgangspunktet for prosjektet ReleKvant.

Målsetninger for prosjektet

ReleKvant (*http://www.mn.uio.no/fysikk/forskning/prosjekter/relekvant*) ble startet i 2013 ved Skolelaboratoriet (Seksjon for fysikkdidaktikk) ved Fysisk institutt, UiO, i samarbeid med en fysikkdidaktiker ved Skolelaboratoriet ved NTNU og med en fysikkdidaktiker og en teknisk utvikler ved Naturfagsenteret.

ReleKvant har følgende mål:

- Å utvikle digitale læringsressurser innen kvantefysikk og relativitetsteori, med utgangspunkt i læreplanen i Fysikk 2, i tett samarbeid med lærere og gjennom gjentatte sykluser av utvikling og utprøving i klasserom
- Å skaffe økt innsikt i elevers motivasjon, forståelse og læring innen kvantefysikk og relativitetsteori spesielt og fysikkfaget generelt

På lang sikt er det også et mål å bidra til fornyelse og variasjon i fysikkundervisningen, og til at innsiktene utviklet i ReleKvant blir en del av grunnutdanningen for nye fysikklektorer. *ReleKvant Kompetanse* er et delprosjekt som har fokus på kompetanseutviklingen hos lektorstudenter, lærere og forskere/lærerutdannere som deltar i prosjektet, men blir ikke nærmere omtalt i denne artikkelen.

Teori og metodisk rammeverk

I ReleKvant legger vi til grunn et sosio-kulturelt syn på læring, med spesiell vekt på at elever utvikler begreper innen fysikk gjennom å bruke språket både skriftlig og muntlig. Innsikt i naturvitenskapens egenart er også et viktig mål i undervisning i fysikk. Å trekke inn den historiske utviklingen av vår forståelse i fysikk er derfor en aktuell metode for å støtte begrepsforståelse såvel som innsikt i naturvitenskapens egenart.[2]

Utviklingen og forskningen i ReleKvant er inspirert av "*educational design research*" som metodisk rammeverk, der formålet er å bygge bro mellom forskning og praksis ved å utvikle løsninger som fungerer i klasser, samtidig som det utvikles mer generell kunnskap om elevers forståelse og læring innen et spesifikt tema (her, moderne fysikk). Sentralt i denne metoden er utvikling av læringsressurser gjennom gjentatte runder med utprøving, og i tett samarbeid med praktiserende lærere.

Læringsressursene i ReleKvant

Modulene i ReleKvant lar elevene jobbe med sentrale begreper gjennom tekster, bilder, videoklipp, animasjoner og simuleringer, samt med enkle "*quiz*"-oppgaver og oppgaver som krever muntlig diskusjon så vel som skriftlige besvarelser.

Kvantefysikkmaterialet består av fem moduler:

1. **Behov for en ny fysikk**
   Her vi tar opp hvordan kvantefysikken bryter med klassisk fysikk. Vi tar opp fenomenet lys som bølge og/eller partikkel, vi ser på begrepene kontinuitet, kvantisering, determinisme og lokal virkelighet, og vi lar oss inspirere av historien.
2. **Lys som partikler**
   Her studerer vi partikkelegenskapene til lys, vi ser altså på lys som fotoner. Vi presenterer bl.a. fotoelektrisk effekt, comptonspredning, annihilering og pardanning.
3. **Røntgenstråling**
   Vi ser på hvordan kvantefysiske prosesser gjør det mulig å lage røntgenbilder, og vi studerer computertomografi (CT).
4. **Partikler som bølger**
   Heisenbergs uskarphetsrelasjon og materiebølger er i fokus i denne modulen.
5. **Kvantefysikk og filosofi**
   Her stiller vi spørsmålet: Har kvantefysikken noe å si for hvordan vi ser på verden og på hva vi kan vite om hvordan verden er? Vi tar opp tankeeksperimentet om Schrödingers katt, og vi ser på fenomenet sammenfiltring.

En pilotutgave av materialet om generell relativitetsteori ble utviklet våren 2015.[4] En revidert versjon, implementert på Viten-plattformen, utarbeides av stipendiat Magdalena Kersting, og prøves ut våren 2016.

I generell relativitetsteori har vi én modul som inneholder fire deler (se også ref. (4)):

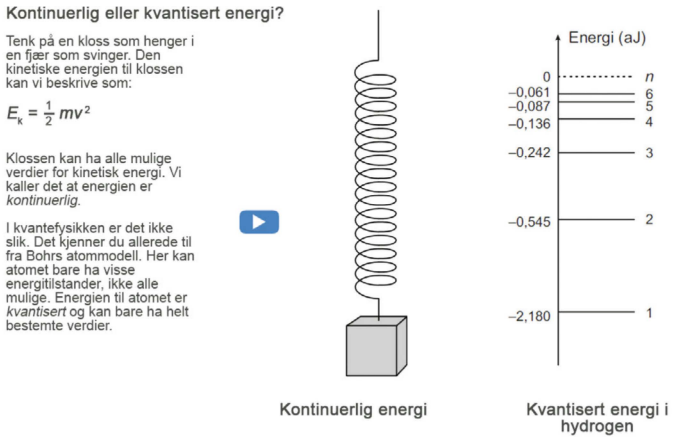
- **Ekvivalensprinsippet.**
  Akselerasjon og gravitasjon er to ekvivalente fenomener.
- **Treghetssystemer og lysavbøyning.**
  Her ser vi på treghetssystemer som referansesystemer i fritt fall, det generelle relativitetsprinsippet og gravitasjonell lysavbøyning.
- **Romtid og krumning.**
  Vi fremhever at den generelle relativitetsteorien er en teori om forholdet mellom rom, tid og gravitasjon. Gravitasjon blir ikke tolket som en kraft, men som et fenomen som skyldes universets geometri.
- **To nye fenomener.**
  Her presenterer vi gravitasjonell rødforskyvning og gravitasjonell tidsforlengelse.

Deler av den første modulen i kvantefysikk presenteres nedenfor.

Modulen "Behov for en ny fysikk"

Animasjoner og videosnutter

For å klargjøre bruddet mellom klassisk fysikk og kvantefysikk, viser vi i figur 1 at den kinetiske energien i en fjær som svinger endres kontinuerlig, i motsetning til de kvantiserte energinivåene i et hydrogenatom. Når en trykker på pilen, beveger klossen i fjæra seg, og det kommer frem en graf som viser hvordan den kinetiske energien varierer gjennom svingebevegelsen.



Figur 1. Kvantisert energi i hydrogenatomet og kontinuerlig kinetisk energi i en fjær illustrerer kvantefysikkens brudd med den klassiske fysikkens prinsipp om kontinuitet. Skjermbilde fra ReleKvant-ressursene.

Determinisme er også et av fundamentene i klassisk fysikk. Vi kan forutsi hvor et objekt er til enhver tid hvis vi kjenner alle startbetingelsene. I kvantefysikken, derimot, kan vi ikke forutsi hvor en enkelt partikkel befinner seg ved en gitt tid. Men hvis vi gjør mange målinger, får vi en fordeling av posisjonene som er entydig bestemt. Determinisme i klassisk fysikk har vi illustrert med en videosnutt der en tung pendel svinger tett opp til fjeset til noen elever (se figur 2).

Figur 2. Determinismen i klassisk fysikk demonstreres i en film der elever stoler på at en pendel aldri kan komme høyere enn den var sluppet fra.

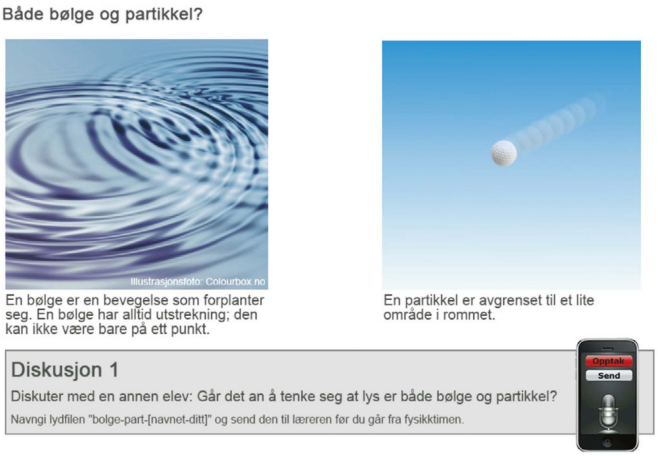
Skriftlige oppgaver og diskusjoner

Læringsressursene legger stor vekt på at elevene skal bruke egne ord i arbeidet med stoffet. Dette blir gjort med skriveoppgaver, pardiskusjoner og klassediskusjoner.

Elevene skriver tekst inn i Viten-programmet. Denne blir tilgjengelig for læreren, som kan få et overblikk over elevenes forståelse og kan bruke svarene i vurdering for læring.

Pardiskusjoner gir elevene muligheter til å teste ut egne, og kanskje utferdige, ideer på en "ufarlig" måte. Ved bruk av egne ord tar de sine første skritt på veien til forståelse av begrepene. Figur 3 gjengir en oppgave der elevene skal diskutere om det går an å tenke seg at lys er både bølger og partikler. Elevene tar opp lyden av diskusjonen på sine smarttelefoner. Lydfilene blir tilgjengelig både for læreren og for prosjektgruppa i ReleKvant.

I skriftlige oppgaver og pardiskusjoner står



Figur 3. Elevene diskuterer hvorvidt lys kan være både en bølge og en partikkel, og utfordres dermed til å problematisere bølge-partikkel-dualismen.

elevene på egne ben. Men selv om mye i læremateriellet i ReleKvant ligger på nett, er læreren tiltenkt en aktiv rolle, bl.a. med å lede klassediskusjoner og sørge for oppsummering og konsollidering av sentrale begreper og læringsmål.

"Spør en forsker!"

Læringsressursene inneholder noen videosnutter vi har kalt "spør en forsker". I modulen om brudd med klassisk fysikk har vi for eksempel spurt to forskere ved UiO: "Hva er lys?"

De to beskriver lys på ulike måter. Når de argumenterer for sitt syn bruker de både teoretiske modeller og resultater fra eksperimenter. Vi tror det er spennende og utfordrende for elever å få oppleve at dagens fysikere ikke alltid er enige om tolkningen av fysiske fenomener. Dette representerer en motvekt til en del elevers oppfatning av fysikken som endelig og avsluttet, og "alltid med to streker under svaret".

Ved å trekke inn fysikkhistorie, tror vi elevene kan få verdifull innsikt i at teorier i fysikk er et resultat av menneskers nysgjerrighet, viljestyrke, og ikke minst av diskusjoner og kontroverser.

Resultater fra utprøving i klasser

Våren 2016 vil vi prøve ut modulene i kvantefysikk for fjerde gang, og av generell relativitetsteori for andre gang.

Forståelsen av lys var viktig da behovet for en ny fysikk meldte seg rundt år 1900. Derfor er spørsmålet "Hva er lys?" sentralt i den første undervisningsmodulen i ReleKvant, som handler om kvantefysikkens brudd med klassisk fysikk.

Elevsvar

Elevsvarene fra ReleKvant-klasser tyder på at mange elever har oppnådd en viss forståelse av denne såkalte bølge-partikkeldualismen. Noen elever avslørte imidlertid en misforståelse om at lys er "partikler i bølgeformet bevegelse". Mer vanlig er det at elever beskriver lysets bølge- og partikkelegenskaper uten å ta inn over seg det paradoksale i denne dobbeltheten. Mathias Gjerland[5] har analysert elevsvar i sin masteroppgave og kaller slike svar for "ukritisk dualisme". Med utgangspunkt i disse resultatene la vi inn diskusjonstemaet vist i figur 3, for å bevisstgjøre elevene på at partikkelmodellen og bølgemodellen ikke kan kombineres i klassisk forstand. Vi fant imidlertid også eksempler i elevdiskusjonene på at elever hadde gått dypere inn i problemstillingen om hvordan lys kan være både bølger og partikler, og det paradoksale i at vi beskriver lys med to ulike modeller. Niels Bohr omtalte dette problemet ved det han kalte komplementaritetsprinsippet.

Veien videre

Alle ReleKvant-ressursene vil bli publisert på Naturfagsenterets Viten-plattform (www.viten.no/) og blir dermed tilgjengelige for alle fysikklærere som ønsker å bruke dem i sin klasse. Ferdig versjon av kvantefysikk-delen ventes publisert høsten 2016 mens generell relativitet-modulen ventes publisert høsten 2017.

I prosjektet har vi som mål å stimulere til diskusjon om undervisning og læring i moderne fysikk. Gjennom gjentatte utprøvinger i klasserom håper vi å få økt innsikt i elevers forståelse, læring og motivasjon innen kvantefysikk og relativitetsteori spesielt og fysikkfaget generelt. Prosjektet legger dessuten til rette for økt integrering mellom forskningsmiljøer og skoler, i dette tilfellet skoler som er partnere i UiO sin lektorutdanning.

Mest av alt ønsker vi at ReleKvant skal gi fysikkelevene lærerike og engasjerende økter i moderne fysikk, med solid begrepslæring, forståelse og fascinasjon som resultat. Ved å bidra til variasjon i fysikkundervisningen og åpne for nye perspektiver på faget, håper vi at ReleKvant også kan bidra til å motivere flere elever til å fortsette med fysikkstudier etter videregående skole.

Takk til:

Arnt Inge Vistnes, Are Raklev, Øyvind Grøn, Susanne Viefers, Marit Sandstad, Øystein Sørborg, Thomas Frågåt, Magdalena Kersting og Cathrine W. Tellefsen, samt lærere og elever ved Asker, Jessheim, Valler, Lillestrøm og Blindern videregående skoler.

Referanser

1. Henriksen, E.K., et al.: *Relativity, quantum physics and philosophy in the upper secondary curriculum: Challenges, opportunities and proposed approaches.* Physics Education, **49**, (6) 678-684 (2014)
2. Renstrøm, R: *Kvantefysikkens utvikling – i fysikklærebøker, vitenskapshistorien og undervisning.* PhD-avhandling, Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, (2011)
3. Bungum, B., et al.: *ReleQuant – Improving teaching and learning in quantum physics through educational design research.* NorDiNa, **11**, (2) 153-168 (2015)
4. Ytterhaug, A.S.: *Hvordan forstå at jorda går i en rettlinjet bevegelse rundt sola: Forskningsbasert utvikling og utprøving av undervisningsmodul i generell relativitetsteori.* Mastegradsoppgave, Utdanningsvitenskapelig fakultet, Universitetet i Oslo, (2015)
5. Gjerland, M.: *Elevers oppfatning om lys og bølge/partikkel-dualismen.* Masteroppgave. Program for lærerutdanning, NTNU, Trondheim, (2015)

∞

Frå fysikkens historie

Ei laserhistorie

Tekniske framsteg kan ikkje planleggast!

Etter fem år som fysikkstudent i Trondheim drog eg hausten 1975 til Berkeley i California for å lære meir fysikk, som doktorstudent. Laseren byrja då å bli eit viktig teknisk hjelpemiddel i fysikkforskinga, og mange av fysikkstudentane i Berkeley fekk i oppgåve å finne ut kva som skjedde med vanlege stoff om ein "skaut" på dei med laserpulsar.

Doktorarbeid med laser

Mange av doktorstudentane måtte bygge laser for å gjera målingane sine, og sjølv fekk eg bygging av laser som opptaksprøve til den forskingsgruppa eg søkte meg til. På prosjektet som eg blei med på, arbeidde det både fysikkstudentar og kjemistudentar. På kjemilaboratoriet hadde vi tilgang til ny og fin apparatur for å lage tynne gasstrålar i vakuum. Vi skaut med laserpulsar på gasstrålen, og molekyla i strålen reagerte kjemisk. Vi identifiserte dei nye molekyla som oppstod i den kjemiske reaksjonen, og målte vinkelfordeling og fartsfordeling av reaksjonsprodukta.

Måleapparaturen var utvikla og bygt av han som var leiar for kjemigruppa, Yuan-Tseh Lee. Han gjorde eit sterkt inntrykk på alle han møtte. At det var noko ekstra med han viste seg i 1986, då han og to av medarbeidarane hans delte Nobelprisen i kjemi, for utviklinga av apparaturen som vi bruka til å måle på kjemiske reaksjonar i vakuum.

I doktorarbeidet mitt var eg med på å kartlegge kva som skjedde då vi sprengde enkeltmolekyl med sterke laserpulsar. Målingane blei gjort med ein gasslaser som vi kjøpte frå ein laserfabrikant. Laseren sende ut ein puls i sekundet, og for kvar puls smalt det nesten som frå eit luftgevær. Mange av gassane vi undersøkte var av typen klor-fluormetan, som vi alle trudde var ufarlege gassar. Dette var før vi visste at desse gassane var farlege for ozonlaget rundt kloden vår!

Forskinga vår var delvis finansiert av Forsvaret i USA, fordi nokon trudde at metoden med å sprenge molekyl med laserpulsar kunne brukast til å framstille bombe-uran. Heldigvis kunne vi legge fram måleresultat som viste klart at metoden ikkje kunne brukast til dette formålet.

Laserforsking ved IBM

I 1979 kom eg som nybakt doktor til forskingssenteret til IBM, som ligg ein times togreise nord for Manhattan. IBM var eit av dei største konserna i verda, og var blitt rikt av å levere og drifte store datamaskiner. Konsernet dreiv forsking på mange felt som ikkje var tydeleg relevante for kjerneverksemda, men laseren var ei så stor teknisk nyvinning at IBM bygde opp ei forskingsgruppe som arbeidde bare med laserar. Her hadde forskarane som overordna mål for arbeidet å levere gode resultat innanfor grunnforsking.

Til dette formålet hadde dei skaffa seg ei imponerande samling av laserar for den som ville finne

ut meir om kva som skjedde med vanlege stoff om ein skaut på dei med laserpulsar. Som medarbeidar fekk eg halde fram med å bygge laserar, og vi brukte dei til å gjera detaljerte målingar av korleis rotasjonsenergi blir utveksla mellom enkeltmolekyl i ein gass. Eg var stolt av den kompliserte måleoppstillinga eg hadde bygt, og eg var stolt av dei nye forskingsresultata vi kunne legge fram. Dette var grunnforsking i kjemi, like god som doktorarbeidet mitt i California.

Ein laser som nettopp var komen på marknaden i 1979 var den som heiter *eksimer-laser*. Denne typen laser representerte noko heilt nytt i overflatebehandling. For forskarane ved IBM var det opplagt at denne laseren kunne bli eit nyttig hjelpemiddel i elektronikkproduksjonen som IBM-konsernet levde av. Forskingsgruppa mi kjøpte den største dei fekk tak i. Det slo meg at for dei var det ingen grenser for kva prøver som kunne vera interessante å undersøke med dei nye laserpulsane. Men då eg etter kvart fekk høyre kva slag prøver kollegaene mine valde å skyte på, så var min fyrste tanke: Dette er uansvarleg bruk av ressursar! Dette kan det umogeleg bli skikkeleg grunnforsking av.

Laserstudier med matrestar

Eg flytte heim att til Noreg hausten 1981, og var ikkje sjølv vitne til det mest fantasifulle påfunnet i forskingsgruppa mi. Etter familiemiddagen under Thanksgiving i 1981, var det ein som tok med seg litt bein og brusk etter kalkunmåltidet med seg på laboratoriet. Dette skaut han på med laser. Han merka seg at han kunne tilpasse styrken på laserpulsen slik at pulsen sprengde vekk eit tynt lag frå brusken, utan å skade det som var att. Dette var eit forskingsresultat som nokså sikkert kunne utnyttast direkte i IBM-konsernet, i og med at brusk er eit polymermateriale, og slike materiale er sentrale i all elektronikkproduksjon.

Ein annan av forskarkollegaene mine tok likevel eit steg i ei anna retning då han eitt år seinare gjorde same eksperimentet på veslefingeren sin. Han greidde også å tilpasse styrken på laserpulsen slik at eit tynt lag med hud vart sprengt bort utan at han kjende smerte eller varme.

Augeoperasjonar med laser

Etter endå eitt år hadde forskarane ved IBM kome fram til at det beste dei kunne bruke denne teknikken til, var til å justere forma på hornhinna på menneske-auge. I staden for å bruke kontaktlinser til dette formålet ville folk kunna få justert forma på ei ufullkomen hornhinne ein gong for alle, med hjelp av laser. Det fyrste forskarane gjorde var å vise at det gjekk bra for ei hornhinne henta frå ei ku.

Dette er opphavet til laseroperasjonen som er blitt eit vanleg alternativ til kontaktlinser, og som går under namnet LASIK. I 2013 mottok to av mine tidlegare forskarkolleger frå IBM "*The National Medal of Technology and Innovation.*" Desse medaljene blei utdelte av president Barack Obama.

Vidare lesnad

1. Aasmund Sudbø: *Ei laserhistorie: Store tekniske framsteg kan ikkje planleggast.* Aftenposten Viten, 28. des. (2015).
2. Amanda Davies: *The Evolution of Today's Most Popular Laser Eye Surgeries.* *http://theinstitute.ieee.org/technology-focus/technology-topic/the-evolution-of-todays-most-popular-laser-eye-surgeries*
3. Stephen L. Trokel, R. Srinivasan, and Bodil Braren: *Excimer Laser Surgery of the Cornea.* American Journal of Ophthalmology, **96**, Issue 6, 710–715 (1983)
4. Ralph Linsker, R. Srinivasan, James J. Wynne, and Daniel R. Alonso: *Far-ultraviolet laser ablation of atherosclerotic lesions.* Lasers in Surgery and Medicine, **4**, Issue 2, 201-206 (1984)

Aasmund Sudbø,
Fysisk institutt, UiO

∞

HUSK Å BETALE KONTINGENTEN!

Bokomtale

Eivind Hiis Hauge, Gunnar Sand og Thomas Dyrhaug (redaktører): Energi, teknologi og klima – utfordringer og handlingsrom. Utgitt av NTVA (Norges Tekniske Vitenskapsakademi) på Museumsforlaget, 2015 (198 sider). Til salgs fra forlaget, pris 450 kr.

Boken består av 11 artikler og en innledning av Hauge. Han presiserer at det er forfatterne, og ikke NTVA, som er ansvarlig for innholdet. Kjernekraft er ikke inkludert. De 11 artiklene med forfattere er:

1. I energipolitikken krever flertallet billige løsninger. *Jørgen Randers.*
2. Hva er energi? *Hugo Parr.*
3. Fossile energikilder – velsignelse og forbannelse. *Erling Rytter.*
4. CO_2-fangst og lagring – broen til et bærekraftig energisystem. *Nils A. Røkke.*
5. Fornybar energi – kildene er uuttømmelige. *Hugo Parr.*
6. Kraftnettet – nervesystemet i det moderne samfunn. *Kjell Strand, Sverre Aam, Audun Rud og Knut Samdal.*
7. Økt mobilitet – en driver i samfunnsutviklingen. *Magnus Thomssen og Steffen Møller Holst.*
8. Energieffektivisering i bygninger – det enkleste klimatiltaket på kort sikt. *Anne Grete Hestnes.*
9. Norsk prosessindustri – blant verdens reneste og mest effektive. *Unni Olsbye.*
10. Norges voksende rolle i Europas energisystem. *Magnus Korpås, Sverre Aam og Asgeir Tomasgard.*
11. Energi og klima – politikkens store utfordring. *Asgeir Tomasgard.*

Alle kapitlene er velskrevne og inneholder informasjon i kompakt form. Titlene er stort sett dekkende for de sentrale budskapene. Det innledende og det avsluttende kapitlet diskuterer politiske føringer og utfordringer på samfunnsvitenskapelig grunnlag. Men samfunnsrelevans er også et perspektiv i de øvrige kapitler. I artikkel 2 diskuterer Hugo Parr sentrale energibegrep som kan være nyttig for ikke-teknologer som leser boken.

Fornybar energi er hovedtema i bare én av artiklene. Jeg håper NTVA går videre med en bredere dekning av sol-, vind- og bioenergi, som i globalt perspektiv vil bli de viktigste kildene til klimamålene. I norsk sammenheng er pumpekraftverk av spesiell interesse hvis vi skal bli Europas "grønne batteri", slik mange håper. For Norge er vind- og bølgekraft lovende som lagringsmetoder, men også bioenergi kan bli viktig.

Med utgangspunkt i tittelen på kapittel 1 er det naturlig å referere litt fra NVEs rapport 2–2015, "Kostnader i energisektoren", som gjelder produksjon fra nye anlegg basert på en kapitalavkastning på 4 %. Billigst er vannkraft (25 øre/kWh) og vindkraft på land (40 øre/kWh). Deretter følger kullkraft uten karbonfangst og kjernekraft (40–49 øre/kWh). For gasskraftverk er prisen på brenslet alene satt høyere enn vindkraftprisen. Ellers er vindkraft til havs anslått til å være mer enn dobbelt så dyr som den landbaserte, og solcellestrøm koster ca. 120 øre/kWh.

Nils A. Røkke diskuterer karbonfangst, CCS (*Carbon Capture and Storage*), i et eget kapittel. CCS går ellers igjen i flere av de andre artiklene, og er klart ønskelig for nødvendige karbonutslipp i sentrale industriprosesser, som i produksjon av sement, jern og aluminium, forutsatt at egnet lagringsplass er tilgjengelig, f.eks. i en olje- eller gassbrønn under tømming. Prisen for CCS er 500–1000 kr/tonn CO_2, og utgjør 20-25 øre/kWh for naturgass. For kullkraft blir påslaget etter min beregning, 40–75 øre/kWh. Dette stemmer med det som NVE angir.

Deponering i stor skala av fanget CO_2 er et problem som jeg syns Røkke undervurderer. Når Kina i perioden 2007–2010 bygde to nye kullkraftverk i uka, mener han at det kan bygges 3000–6000 CCS-anlegg for å ta 14 % av utslippskuttene innen 2050. Han syns å glemme at kullkraften var gammel og veletablert, mens CCS er ny og uetablert teknologi. *Scientific American*, januar 2016, har en artikkel med tittel "*The Carbon Capture Fallacy*". Den går spesielt på høy pris og ikke-etablert deponering unntatt i oljebrønner, der karbon *inn* vil være av samme størrelsesorden som karbon *ut*, og det er ingen løsning for storskala kullkraft.

Hugo Parr går bredt ut i kapitel 5 om fornybar energi, og dekker sol-, vann-, vind-, bølge- og saltkraft, og mindre om bio- og tidevannsenergi. Han anbefaler også at Norge kan bli en netto eksportør av el-kraft. Statskrafts siste kabel til Danmark har f.eks. et tap på bare 2,1 %. Norges rolle som leverandør av el-kraft for å balansere fornybare kilder, fremheves ellers i flere av artiklene.

Anne Grete Hestnes diskuterer energieffektivisering i bygninger. Dette har redusert energibehovet i norske hus, og kan i fremtiden gå ned mer. Solvarme integrert i bygninger er også viktig. Men arkitekter synes å ha en spesiell forkjærlighet for solceller, og så lenge husene er koblet til kraftnettet er dette ikke økonomisk her i nord. Elektrisitet fra vann og vind er langt billigere, og solcellebidrag kommer stort sett i sommerhalvåret når det her er kraftoverskudd. For hytter og hus uten nettilknytning – og for resten av verden – er saken en annen.

Den "rene og effektive" norske prosessindustrien hylles i et kapittel av Unni Olsby. Denne industrien brukte 69 TWh i 2013, eller 31,4 % av det norske energiforbruket. Hun påpeker at hvis denne produksjonen hadde skjedd i utlandet med gass, olje eller kull, ville CO_2-utslippene vært henholdsvis 3, 4, eller 7 ganger større enn nå.

Min konklusjon er at verden trenger mer energi fra fornybare kilder; CCS vil være for spesialproblemer. Ifølge "Dansk energistatistik" dekket Danmark i 2014 56 % av el-bruken med "vedvarende energi": vindkraft 41 %, biomasse 12 %, solceller 2 % og biogass 1,5 %. I perioder dekket vind 100 %. Kullkraft er redusert med 67 % på 20 år, men utgjør fortsatt 34 %, av total el-produksjon. Med utbygging av kraftnettet, og mer norsk vann- og vindkraft, kunne Danmarks bruk av kullkraft elimineres.

Mange hevder at norsk el-produksjon er stor nok. Men CO_2-problemet kjenner ingen grenser. Nest etter ny ikke-vernet vannkraft og oppgradering av eldre anlegg, er vindkraft på land det billigste. På gunstige steder ville en norsk vindpark kunne gi en produksjon på ca. 3 W/m^2. Det betyr 25 TWh/år per 1000 km^2 (0,3 % av Norges areal). Det er rundt 100 ganger utbyttet vi kan få ved å konvertere tilveksten i norsk produktiv skog fra samme areal til el-kraft i varmekraftverk. Et spesielt trekk ved vindkraft er at produksjonen er størst midtvinters, rundt 3 ganger større enn i juli. Kombinasjonen av vind- og vannkraft er derfor gunstig. Vintertapping av vannmagasinene reduseres samtidig som kortsiktige fluktuasjoner i vindkraften utjevnes.

Jeg vil sterkt anbefale boken for alle som er interesserte i dette fagfeltet.

Jørgen Løvseth
Institutt for fysikk, NTNU

∞

Hva skjer

Crafoordprisen i astronomi 2016

Det kongelige Svenske Vitenskapsakademi annonserte 14. januar at Crafoordprisen i astronomi for 2016 går til Roy Kerr og Roger Blandford for fundamentale arbeider med teorien for roterende svarte hull og deres astrofysiske konsekvenser.

Roy Kerr og roterende svarte hull

Roy Kerr er en matematiker fra New Zealand. Han ble født i 1934 og tok doktorgraden i 1959 ved University of Cambridge i Storbritannia. Han er nå professor emeritus ved University of Cantebury, New Zealand.

Kerrs viktigste arbeid innenfor relativitetsteori og astrofysikk var at han fant en løsning av feltlikningene i Einsteins relativitetsteori som beskriver romtiden utenfor et roterende legeme, eller svart hull, den såkalte Kerr-romtiden. Hvis det sentrale legemet, eller det svarte hullet, ikke roterer, reduseres Kerr-romtiden til Schwarzschild-romtiden.

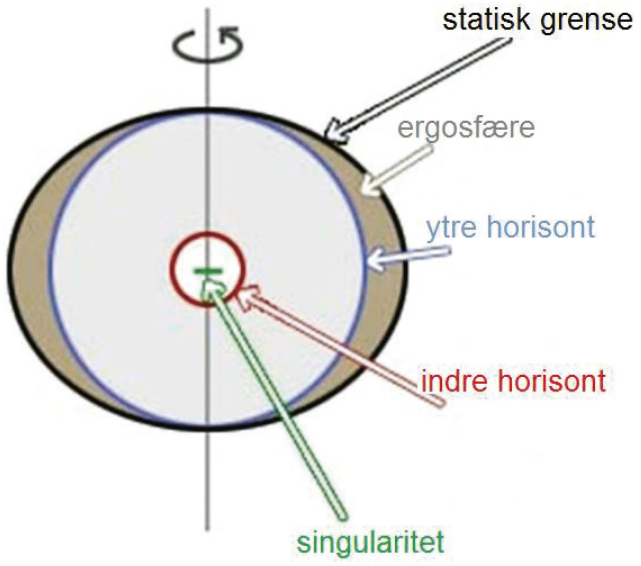
For å danne oss et relativistisk bilde av de fysiske egenskapene til Kerr-rommet utenfor et roterende svart hull, er det gunstig å benytte elv-modellen av rommet.[1] Vi tenker oss at rommet består av frie partikler som er i ro langt fra det roterende svarte

hullet. Det er da fristende å tenke seg at disse frie partiklene "renner" gjennom rommet. Men det er en newtonsk forestilling. Den relativistiske oppfatningen er at de frie partiklene som er i ro langt fra hullet, *definerer* rommets bevegelse.

Når vi nærmer oss hullet renner romelven med økende fart innover. Samtidig dras romelven med i rommets rotasjonsretning slik at den ikke renner radielt. Dette kalles *den trege draeffekten* fordi partiklene som definerer rommets bevegelse, er lokale treghetssystemer

Romelven renner i spiral innover mot det svarte hullet.

Så kommer vi til en flate som kalles *den statiske grensen.* Her renner romelven med lysets hastighet, og innenfor den statiske grensen, i det brune området på figur 1, kalt *ergosfæren*, renner romelven med overlyshastighet. Et legeme i dette området dras med i hullets rotasjonsretning. Selv lys dras med der. Det betyr at uansett hvor sterk "motor" man har, så greier man ikke å unngå å bli dratt med i rotasjonsretningen i dette området. Her er det umulig å holde seg i ro og være statisk. Dét er mulig bare utenfor den statiske grensen.



Figur 1. Strukturen til et roterende svart hull.

Roger Penrose viste at man kan ekstrahere rotasjonsenergi fra det svarte hullet ved å sende et legeme inn i dette området og så sprenge det i to på en slik måte at den ene delen kommer ut fra det svarte hullet og den andre blir absorbert. Han viste at den delen som kommer ut, beveger seg i den samme retningen som hullet roterer, og den delen som absorberes beveger seg i motsatt retning. På den måten tappes hullet for rotasjonsenergi. Denne energien avgis da til området utenfor hullet. Dette kalles *penroseprosessen*, og er årsaken til at området hvor denne prosessen kan skje kalles *ergosfæren.*

Innsiden av ergosfæren avgrenses av en flate der romelvens *radielle* hastighetskomponent er lik lyshastigheten. Innenfor denne flaten er romelvens radielle hastighetskomponent større enn lyshastigheten. Derfor vil alt som befinner seg innenfor denne flaten bli trukket innover, slik at ikke noe kan komme ut gjennom denne flaten. Den er en "horisont". Roterende svarte hull har to horisonter, en indre og den ytre som nettopp er omtalt.

Fulvio Melia har skrevet en fin bok om svarte hull og Roy Kerr.[2] Også Kip Thorne har skrevet en strålende bok om svarte hull.[3]

Roger Blandford og astrofysiske konsekvenser av roterende svarte hull

Roger Blandford er en astrofysiker fra Storbritannia. Han ble født i 1949 og tok doktorgraden i 1974 ved University of Cambridge. Blandford er nå professor ved Stanford University i USA.

Robert Blanford er best kjent for at han i 1977, sammen med Roman Znajek, introduserte Blandford-Znajek-mekanismen. Den dreier seg om en elektromagnetisk mekanisme for å ekstrahere energi fra et roterende svart hull. Mekanismen innebærer ganske komplisert fysikk i ergosfæren til et Kerr svart hull med roterende magnetiske og elektriske felter, og er blitt forfinet og stadig mer detaljert utarbeidet over flere år. Den representerer nå en av de beste forklaringene på hva som er den viktigste energikilden til kvasarer.

I en artikkel med tittelen "Blandford-Znajak mechanism versus Penrose process" fra 2008, innledet S.K. Komissarov sammendraget med: "I løpet av de tre årtiene siden dens teoretiske oppdagelse er Blandford-Znajek-mekanismen for å ekstrahere rotasjonsenergi fra et svart hull, blitt en av hjørnesteinene i oppbyggingen av moderne relativistisk astrofysikk." Han skrev videre: "Blandford-Znajek-mekanismen oppfattes vanligvis som en av de mest lovende mekanismer for å forklare relativistiske utstrømninger fra svarte hull i mange astrofysiske fenomener, inkludert aktive galaksekjerner, gammaglimt og galaktiske binære røntgenkilder."

Kvasarer ble oppdaget midt i 1960-årene som kraftige lyskilder som minner om stjerner, men likevel er forskjellige fra dem. "Kvasarer" står for "kvasistellare objekter" og fikk dette navnet før man visste hva de var. Da man fikk målt

rødforskyvningen til spektrallinjer i lyset fra dem, forsto man at kildene til kvasarene var milliarder av lysår fra jorda, og at de derfor sendte ut langt mer energi enn stjerner er i stand til. Etter hvert skjønte astrofysikerne at det dreide seg om stråling som kom fra aktive galaksekjerner. Senere ble det klart at det befinner seg supermassive roterende svarte hull i slike galaksekjerner.

Gammaglimt er glimt av gammastråling på himmelen med varighet fra noen millisekunder til et par timer. De ble oppdaget omkring 1970. Man har klassifisert dem i to typer: de kortvarige som opptrer i under to sekunder, og de langvarige som stråler i over to sekunder med et gjennomsnitt på et halvt minutt. Astrofysikerne har utarbeidet teorier for disse. De kortvarige kommer fra kollisjoner av kompakte objekter, nøytronstjerner eller svarte hull, og de langvarige kommer fra eksploderende stjerner med over 20 solmasser som etterlater seg Kerr svarte hull.

Binære røntgenkilder er dobbeltstjerner i tett bane der den ene er en nøytronstjerne eller et svart hull, og den andre er en vanlig stjerne. Det kompakte objektet trekker masse fra den vanlige stjernen, og det dannes da en oppsamlingsskive av materie som roterer rundt objektet og trekkes innover mot det. Da går gravitasjonsenergi over til termisk energi, og temperaturen innerst i oppsamlingsskiven blir så høy at det sendes ut røntgenstråling.

Roger Blandfords arbeider har hatt stor betydning for forståelsen av alle disse typene av fenomener. Han har også bidratt med forskningsartikler på områdene kosmologi, gravitasjonell linseeffekt, kosmisk stråling og kompakte objekter som nøytronstjerner og svarte hull.

Referanser

1. Ø. Grøn: *Romelven, treg draeffekt og rotasjonsbevegelsens relativitet.* FFV **75**, Nr. 4, 104–111 (2013)
2. F. Melia: *Cracking the Einstein code.* University of Chicago Press (2009)
3. K.S. Thorne: *Black holes and time warps.* Papermac (1995)

Øyvind Grøn

∞

Jubileumskonferanse 2016

Det er 25 år siden Norsk fysikklærerforening for første gang arrangerte landskonferanse om fysikkundervisning. I 1991 ble konferansen gjennomført på Ustaoset.

Vi markerer og feirer 25-årsjubileet ved å arrangere landskonferanse om fysikkundervisning i Danmark fra 7. til 10. august 2016. Stedet for konferansen er Schæffergården som ligger 12 km nord for København. Schæffergården er et nordisk hotell- og konferansesenter som er eiet av fondet Dansk-Norsk samarbeid (*http://www.schaeffergaarden.dk/om-schaeffergarden/*).

Påmeldingsskjema og program er lagt ut på bloggen til Norsk fysikklærerforening:
http://fysikklarer.blogspot.no/

Morten Trudeng
leder Norsk fysikklæ]rerforening

∞

Trim i FFV

Løsning på FFVT 4/15

Kameler

Ved et stevne ble de fem tilstedeværende kameleierne bedt om å angi hvor mange kameler som var til stede. De oppga tallene 30, 27, 25, 22 og 20. Men det viste seg at de hadde glemt å inkludere egne dyr. Spørsmålet var hvor mange dyr det var i hver av de fem flokkene.

Summen av de oppgitte tallene er 124, og de uteglemte kamelene må summere seg til totalantallet T av dyr, så $124+T$ må være det femdobbelte totalantallet kameler:

$$124 + T = 5T,$$

som gir T=31. Forskjellen mellom totalantallet T og antallet som en kameleier oppgir er lik antall kameler i flokken hans. Det gir at de fem flokkene besto av henholdsvis 1, 4, 6, 9 og 11 kameler.

FFVT 1/16

Naboavstand

Tre gårder på flateste Jylland ligger like langt fra hverandre, og ligger henholdsvis 3 km, 5 km og 8 km

fra stedets fjernsynsmast. Hva er avstanden mellom gårdene?

∞

Nye Doktorer

William Robb Naylor

William Robb Naylor forsvarte si avhandling *Model studies of the chiral and deconfinement transitions in QCD* for PhD-graden ved Institutt for fysikk, NTNU, 11. september 2015.

Kvantekromodynamikk (QCD) er teorien for sterke vekselverknader og beskriv vekselverknaden mellom kvarkar og gluonar i standardmodellen for partikkelfysikk. QCD ved ekstremt høge temperaturar eller tettleikar er eit svært aktivt forskingsområde som er relevant for det tidlege universet og for studium av kvark-gluonplasmaet som blir skapt i tungionekollisjonane på CERN, der temperaturen er ca. 10^{12} K. QCD ved høg tettleik er essensiell for å studere eigenskapane til nøytron- og kvarkstjerner der tettleiken er høgare enn i ein atomkjerne.

Det finst også ekstremt sterke magnetfelt i såkalla magnetarar, som er ein type nøytronstjerner med magnetfelt på $10^{14} - 10^{15}$ Gauss. Likeeins blir det generert tidsavhengige magnetfelt opp til 10^{19} Gauss i tungionekollisjonane ved CERN. Det er difor viktig å forstå korleis sterkt vekselverkande materie oppfører seg i slike magnetfelt. Naylor har studert dette vha. moderne metodar i kvantefeltteori og modelstudium. Spesielt har han studert to faseovergangar i QCD, den kirale og deconfinement faseovergangen, og samspelet mellom dei. Desse faseovergangane har kritiske temperaturar på $\approx 10^{12}$ K.

Avhandlinga består av tre publiserte arbeid. I tillegg er han medforfattar på ein oversiktsartikkel som blir publisert i *Review of Modern Physics*. Rettleiar har vore professor Jens O. Andersen.

∞

Siv Gundrosen Aalbergsjø

(Foto: Benjamin A. Ward/HiOA)

MSc Siv Gundrosen Aalbergsjø forsvarte 22. juni sin avhandling *DFT as a tool for understanding biomolecular radiation damage* for PhD-graden ved Universitetet i Oslo.

Røntgenstråling brukes aktivt for å drepe syke celler i kreftterapi. Kvantemekanisk modellering kan brukes til å forstå hvordan komplekse molekylære system blir skadet av slik stråling.

Elektronparamagnetisk resonans (EPR) er en velegnet spektroskopisk metode for eksperimentelt å kunne måle stabiliserte strålingsprodukter (radikaler). De to krystallinske systemene *rhamnose* (et sukkermolekyl) og *asparagin* (en aminosyre) ble studert. Bestråling av krystallene ble gjort ved ca. 6 K. Tetthetsfunksjonalteori (DFT) beregninger ble utført for å modellere strålingseffektene.

I *rhamnose* var hovedmålet å forstå den observerte selektiviteten i radikaldannelsen. Det var også et ønske å kunne beskrive et intermolekylært fanget elektron som ble observert i EPR-eksperimentene. Rhamnosesystemet ble også benyttet for å utvikle en ny metode for automatisk radikaldannelse ved hjelp av molekylærdynamikk.

For *asparagin* var målet å identifisere og karakterisere ulike radikalprodukter i en kombinert eksperimentell og beregningsbasert prosedyre.

Arbeidet er utført ved Fysisk institutt, UiO, og ved Center for Molecular Modeling, Universitetet i Gent, Belgia. Veiledere var E. Sagstuen, E.O. Hole og T. Helgaker ved UiO, og E. Pauwels og H. De Cooman ved Universitetet i Gent.

∞

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

B
DISTRIBUERT AV POSTEN NORGE
NORGE P.P. PORTO BETALT

Retningslinjer for forfattere

FRA FYSIKKENS VERDEN utgis av Norsk Fysisk Selskap og sendes til alle medlemmer. Disse er vanligvis utdannet fra universiteter og høgskoler med fysikk i sine fagkretser. Andre kan også abonnere på bladet. Blant disse er elever og biblioteker ved videregående skoler. Bladet gis ut fire ganger i året, i mars, juni, oktober og desember. Tidsfristene for stoff er 1. februar, 1. mai, 1. september og 1. november. Opplaget er f.t. 1400.

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

MANUSKRIPTER leveres i en form som forfatteren mener er direkte publiserbar. De skal leveres elektronisk, helst som e-post. Dersom formatet ikke er ren tekst (helst LATEX) eller i Microsoft Word, må det merkes med hvilket tekstbehandlingsprogram som er brukt. Under alle omstendigheter må redaksjonen kunne forandre teksten direkte.

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

SMÅSTYKKER: Gratulasjoner, nekrologer, bokomtaler, skolestoff, møtereferater etc. mottas gjerne, men de må ikke være lengre enn 1–2 sider. Bokkronikker kan være noe lengre. Doktoromtaler begrenses til en halv side inkludert bilde.

ILLUSTRASJONER er en viktig del av en artikkel. Legg derfor mye omtanke i figurene. All tekst skal være på norsk. Figurene vil som regel bli trykt i en spaltebredde på 8,6 cm. De bør være på elektronisk form i et standard grafisk format og med god oppløsning. Vi kan unntaksvis motta figurer eller bilder som urastrerte kopier. Figurer og tabeller skal være referert i den løpende teksten, og ønsket plassering må markeres. Hvis forfatterne selv ikke har laget figurene, skal opprinnelsen oppgis. Forfatterne må selv innhente tillatelse til bruk av slike illustrasjoner.

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

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

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

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

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

Visepresident:
Professor Michael Kachelriess
Institutt for fysikk, NTNU
e-post:

Styremedlemmer:
Førsteamanuensis Wojciech Jacek Miloch
Fysisk institutt, UiO
Førsteamanuensis Børge Hamre
Institutt for fysikk og teknologi, UiB
Professor Jan Petter Hansen
Inst. for fysikk og teknologi, UiB
Professor Håvard Helstrup
Høgskolen i Bergen
Førsteamanuensis Magnus Lilledal
Institutt for fysikk, NTNU
Professor Jon Samseth
Høgskolen i Oslo og Akershus, Lillestrøm
Lektor Morten Trudeng
Asker videregående skole

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

Fra Fysikkens Verden

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

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

Redaksjonskomité:
Professor Odd-Erik Garcia
Institutt for fysikk, UiT
Professor Per Chr. Hemmer
Institutt for fysikk, NTNU
Professor Ellen K. Henriksen,
Fysisk institutt, UiO
Professor Per Osland
Inst. for fysikk og teknologi, UiB

Ekspedisjonens adresse:
Fra Fysikkens Verden
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.
Tlf.: 22 85 64 28 / 22 85 56 68
Fax.: 22 85 64 22 / 22 85 56 71

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