Fra Fysikkens Verden

Nr. 3 – 2008
70. årgang

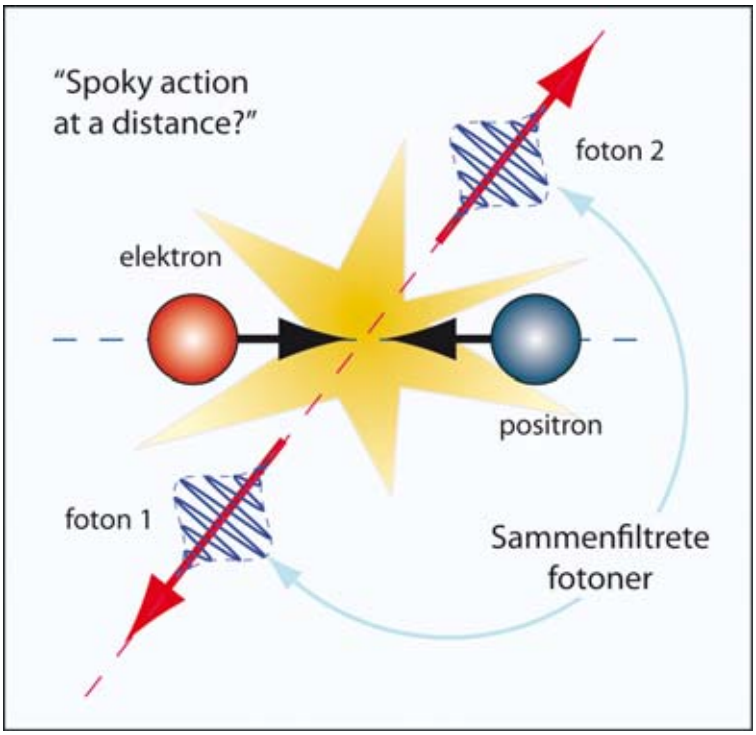
Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øystein Elgarøy
Øyvind Grøn

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Arnt Inge Vistnes:
Sammenfiltrete fotoner 75
E. H. Hauge og J. S. Høye:
Lærerike rulleproblemer 80
C. Angell og E. K. Henriksen:
Å beskrive naturen matematisk . 85
Nils Kr. Rossing:
Sensor– og halvlederteknologi . 88
Tore Ottinsen:
Simulering i fysikkundervisning 94
R. V. Olsen og E. Henriksen:
Etterutdanning av fysikklærere . 98
Fra lederen i NFL 74
Nytt fra NFS 74
Nye medlemmer
Hva skjer 101
Fysikkolympiaden 2008
Bokomtale 103
S. Weinberg: Cosmology
Nye Doktorer. 105
PhD Erlend Bjørndal
Dr. scient. Actor Chikukwa
PhD Arne Erikson
PhD Petter Norli
Dr. ing. Ole Christen Reistad
Trim i FFV 107



Generering av sammenfiltrete fotoner
(Se artikkel)

ISSN-0015-9247

Fra lederen i NFL

De fleste artiklene i dette nummeret av FFV er relatert til skolefysikk, og medlemmer av Norsk Fysikklærerforening (NFL) har skrevet flere av dem. En stor takk til bidragsyterne.

NFL avholdt sin landskonferanse for fysikklærere på Gol 10. til 13. august. Gjennomføringen av konferansen, der det var 100 deltakere, viser at NFL sin eksistens er viktig for at fysikklærere skal få nødvendige kompetanseløft og for at de har en arena der fysikkfaglige spørsmål blir diskutert.

Nye læreplaner i fysikk ble utarbeidet i forbindelse med Kunnskapsløftet. Digital lyd, elektriske sensorer, sammenfiltrede fotoner og generell relativitetsteori er nye temaer i læreplanene. Programmet på landskonferansen dekket disse emnene slik at fysikklærere fikk større innsikt i de nye temaene de skal undervise i.

Et gjennomgående tema på landskonferansen var energiproduksjon i Norge etter oljealderen. Hva blir framtidens energi? Blir det energi fra vann, vind, sol og biobrensel? Hva med kjernekraft? Disse spørsmålene ble belyst fordi det er viktig at fysikklærere har gode basiskunnskaper slik at vi står på trygg grunn når fremtidens muligheter for energiproduksjon skal formidles til elevene.

NFL har mange viktige oppgaver i tiden framover. En viktig oppgave er hvordan eksamen i videregående skole skal organiseres i framtiden. Sentralgitt skriftlig eksamen med eksterne sensorer der første del er uten bruk av hjelpemidler, er en ordning som må beholdes. Muntlig eksamen i fysikk organiseres i dag ulikt i fylkene. Det må utarbeides nasjonale standarder for denne eksamen samtidig som fysikklærerens metodefrihet beholdes.

Utdanningsdirektoratet skal innen 1. mai 2009 utarbeide en rapport til Kunnskapsdepartementet som bl.a. skal vurdere hvilken funksjon eksamen skal ha. NFL må arbeide for at våre synspunkter på eksamen blir en realitet.

NFL har i dag 400 medlemmer. En av våre viktigste oppgaver framover er å øke medlemstallet. En forening som organiserer de fleste fysikklærere i Norge vil i større grad bli hørt i spørsmål om fysikkens betydning i norsk skole og samfunnsliv.

Morten Trudeng

∞

Nytt fra NFS

Nye medlemmer 6. mars 2008

Bekkevoll, Steinar; Måsåhugen 74, 2614 Lillehammer

Berg, Line Klavenes; Gråkamveien 11E, 0779 Oslo

Førre, Bernt; Skansegata 26B, 7014 Trondheim

Gulbrandsen, Njål; NAROM, Pb 54, 8483 Andenes

Henriksen, Sunniva; Ole R. Gjemsveg 36, 2212 Kongsvinger

Høibråteten, Steinar; FFI, Pb 25, 2027 Kjeller

Lia, Hermann; Sportsveien 20, 3224 Sandefjord

Lien, Ingjerd; Nordlundveien 9, 7089 Heimdal

Mehli, Hanne; Inst. for fysikk, NTNU, 7491 Trondheim

Svensen, Øyvind; Inst. for fysikk og teknologi, UiB, Allégaten 55, 5007 Bergen

Øverengen, Heidi C. Ege; Stallkroken 12C, 2050 Jessheim

∞

Nye medlemmer 20. juni 2008

Amundsen, Ellen Røhne; Nes vgs., Kjuushagen, 2150 Årnes

Bhandari, Anak; Dag Hammarskjølds vei 47, 5144 Fyllingsdalen

Baadshaug, Frøydis A.; Dønski vgs., Pb 33, 1309 Rud

Fossum, Janne Christine; Oppegård vgs., Bregneveien 2, 1412 Sofiemyr

Hillesøy, Ellen; Dønski vgs., Pb 33, 1309 Rud

Holen, Jo Inge; Bjertnes vgs., Kvernstuev. 1, 1482 Nittedal

Haagensen, Svein; Bjørknes privatsk., Løvenskioldsg 1, 0263 Oslo

Lindstrøm, Nann S.; Liafaret 20, 1414 Trollåsen

Norhagen, Are; Oppegård vgs., Bregnev. 2, 1412 Sofiemyr

Velauthapillai, Dhayalan; Høgsk. i Bergen, Haukedalsbrotet 11, 5113 Tertnes.

Vinkenes, Arild; Gol vgs., Gymnasvegen 1, 3550 Gol

∞

Sammenfiltrete fotoner og erkjennelsesmessige konsekvenser

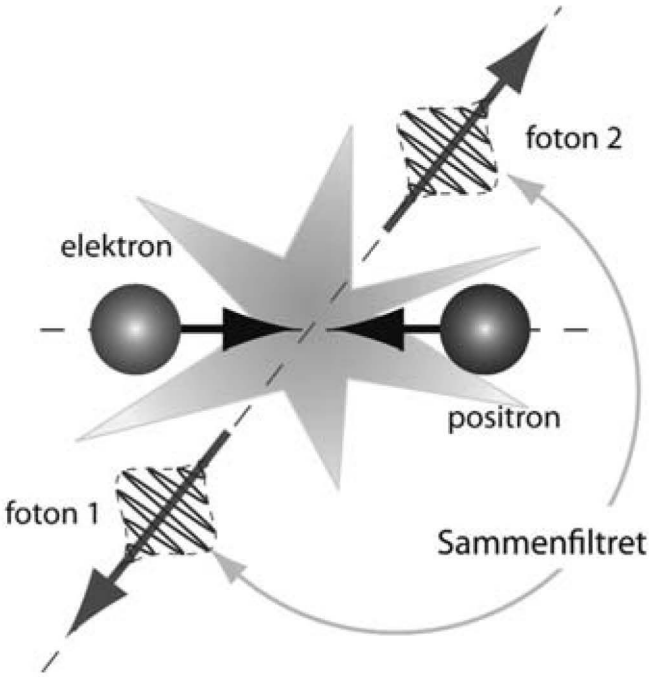
Arnt Inge Vistnes *

I de nye læreplanene for fysikk i den videregående skolen er det kommet inn et nytt punkt som er en viss utfordring for noen og enhver. Læringsmålet er at elevene skal kunne "gjøre rede for Heisenbergs uskarphetsrelasjoner, beskrive fenomenet sammenfiltrete fotoner og gjøre rede for erkjennelsesmessige konsekvenser av dem." Uskarphetsrelasjonene kjenner de fleste fysikere til, mens det er færre som er familiære med sammenfiltrete fotoner. Hensikten med denne artikkelen er å gi en kort innføring i emnet.

Intuitiv oppfatning

Ordet "sammenfiltring" ("entangled" på engelsk) antyder at sammenfiltrete fotoner må være nært knyttet til hverandre i en eller annen forstand. Sammenfiltringen kan f.eks. bety at det er en sammenheng mellom polarisasjonen til to sammenfiltrete fotoner. Man kan tenke seg fysiske prosesser som skaper to fotoner med motsatt polarisering samtidig. Det kan f.eks. skje når et elektron og et positron kolliderer og annihilerer hverandre. To fotoner skapt på en slik måte er sammenfiltrete, men hva det innebærer skal vi nå undersøke nærmere, se figur 1.

La oss først beskrive de to fotonene etter en elektron-positronannihilasjon på en intuitiv/hverdagslig måte. Anta at fotonene flyr hver sin vei og at de i utgangspunktet hadde en polarisering vinkelrett på hverandre. De vil da beholde denne egenskapen på sin videre flukt, og dersom man måler polariseringen på et senere tidspunkt, vil den ha samme retning som i utgangspunktet (dersom fotonet ikke har støtt på et medium som endrer polariseringen i mellomtiden). Dersom vi kunne ha målt polariseringen av ett av fotonene, ville vi med sikkerhet vite hva slags polarisering det andre fotonet har. Med andre ord, det er en meget tett korrelasjon mellom polariseringen til fotonene, *fordi det var tett korrelasjon mellom dem idet de ble skapt.*



Figur 1. Når to fotoner dannes ved at et elektron kolliderer med et positron og annihileres, er polarisasjonen til de to delsystemene nært korrelert i utgangspunktet. Hvis dette er en korrelasjon som aktivt varer ved også etter at de to delsystemene har forlatt hverandre, sier vi at fotonene er sammenfiltret.

Dersom vi derimot sender ett, og bare ett, av fotonene gjennom et medium som dreier polarisasjonsplanet, vil polariseringen til dette ene fotonet endre seg, mens polariseringen til det andre fotonet forblir uendret. Dette er "common sence", og slik vi vanligvis oppfatter verden.

Beskrivelsen av prosessen jeg nettopp har gitt er en såkalt "lokal realisme"-beskrivelse. "Lokal" henspeiler på at hvert foton har en egenskap som

* Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

følger fotonet på sin vei, og at det som skjer med ett av fotonene lokalt ett sted i rommet ikke får noen følger for det andre, så lenge de er så langt fra hverandre at vi betrakter dem som to separate system. "Realisme" betyr i denne sammenheng at vi faktisk hevder at hvert enkelt foton *har* en egenskap, en viss polarisering, mens det flyr av gårde, uavhengig av om det er noen som observerer det eller ikke. Dette er en form for betraktning vi gjør oss nesten daglig i andre sammenhenger, og det er ikke noe spesielt spennende ved den. Men er dette en form for betraktning som duger i alle sammenhenger? Kan vi bruke den for de to fotonene som ble skapt fra elektron–positronannihilasjonen? Svaret synes i dag å være: "Nei"! Og det er fascinerende og utfordrende.

Kvantemekanisk beskrivelse

La oss forsøke oss med en kvantemekanisk beskrivelse av prosessen. En slik beskrivelse synes i dag å stemme best med observasjoner. Også i den kvantemekaniske beskrivelsen blir de to fotonene skapt ved annihilasjonen, og vi vet heller ikke her hvilken retning polarisasjonen har. Vi stiller ikke en gang det spørsmålet, for kvantefysikken slik vi ofte møter den er preget av en filosofisk retning kalt "positivismen". Positivismen ble dyrket i begynnelsen av 1900-tallet i den såkalte "wienerkretsen" av filosofer, samtidig som kvantefysikken ble født og utformet. Ifølge positivismen har det ikke noen hensikt å spørre hvilken polarisering fotonene har så lenge vi ikke har målt den. Først etter at det er foretatt en måling, kan vi snakke om polariseringen til hvert enkelt foton.

Vel, dette er en litt sær måte å betrakte naturen på, synes du kanskje. Men la gå. Hvilke forutsigelser vil en slik betraktningsmåte gi sammenlignet med dem vi fikk fra vår lokal-realisme beskrivelse? Kvantefysikken sier at de to fotonene som ble skapt ved en annihilasjon, under visse forutsetninger har den egenskapen at de har polarisering vinkelrett på hverandre. Dette kommer av bevaringslover og symmetrier i fysikken som vi ikke går nærmere inn på her. Det essensielle er at kvantefysikken bare sier noe om de to fotonene *til sammen*, ikke hver for seg. Gjør man faktiske målinger av polariseringen på ett av fotonene, og dernest måler polariseringen til det andre, vil vi se at det er en nær korrelasjon mellom de to målingene. Korrelasjonen er akkurat slik den burde være ut fra kvantefysikkens lover. Men lovmessigheten er *forskjellig* fra den vi skulle forvente ut fra lokal-realismemodellen!

Hva som er enda mer pussig, er at dersom man *endrer* på polariseringen til ett av de to fotonene underveis, så endres polariseringen til det andre fotonet øyeblikkelig. (Dette utsagnet er kontroversielt! Det anbefales at man leser kommentarer annetsteds.[1]) Dette skjer virkelig øyeblikkelig på den måten at det ikke er nødvendig med noe signaloverføring mellom dem med lyshastigheten; og det er ikke så lett å få til heller, for de to fotonene går jo med lyshastigheten bort fra hverandre! Endringen kan skje over avstander på mange kilometer! Vi sier at to fotoner er *sammenfiltret* dersom de er så nært korrelert at en endring av ett av fotonene øyeblikkelig fører til tilsvarende endring av det andre fotonet. Schrödinger var den første som brukte navnet "entanglement". Han skrev i 1935: "*I would not call that* one *but rather* the *characteristic trait of quantum mechanics, the one that enforces its entire departure from classical lines of thought. By the interaction the two representatives (or psi-functions) have become entangled.*"

Strid mellom Einstein og Bohr

Sammenfiltrete fotoner har en spesiell plass i fysikkhistorien. Schrödinger omtalte sammenfiltring ikke lenge etter at Albert Einstein samme år hadde spilt ut sitt trumfkort mot Niels Bohr i deres hete debatt om kvantefysikken. Debatten mellom de to hadde nok en filosofisk basis, idet Bohr var påvirket av positivismen, mens Einstein hadde en mer realismeforståelse av naturen. Einstein mente at det var vel og bra at kvantefysikken bruker statistiske beskrivelser så som sannsynlighetstettheter, men han mente at det *bak* kvantefysikken måtte være mulig å finne en mer komplett beskrivelse. La oss ta et eksempel som er lett å forstå:

En gass kan beskrives gjennom statistiske størrelser så som trykk og temperatur, men vi forestiller oss at trykk og temperatur skyldes molekylers bevegelser, og at molekylene langt på vei kan betraktes som sprettballer som farer rundt og kolliderer med hverandre og veggene i det kammeret de befinner seg i. Einstein håpet at det skulle være mulig å finne en beskrivelse bak kvantefysikkens sannsynlighetstettheter på en liknende måte som gassmolekylene ligger bak temperatur og trykk i en gass.

Bohr mente på sin side at kvantefysikken ga *all* mulig informasjon om et system. Den er kom-

plett. Det er fåfengt å søke noe bak denne. Så når kvantefysikken beskriver en fysisk tilstand som en "både og"-tilstand, slik vi har i såkalte superponerte tilstander (se nedenfor), er dette ifølge Bohr det lengste vi noen gang kan komme med hensyn til kunnskap om tilstanden inntil det foretas målinger. Schrödinger, i likhet med Einstein, likte ikke dette. Han forsøkte å anskueliggjøre at Bohrs oppfatning var lite tilfredsstillende ved å velge en tenkt "både og"- tilstand av en katt, den vi i dag kaller *Schrödingers katt:*

Anta at vi putter en katt inn i en boks sammen med en giftampulle og en klump svakt radioaktivt materiale. Vi har også en enkel mekanisme som knuser giftampullen dersom en detektor oppdager stråling (et klikk) fra den radioaktive kilden. Katten beskrives da i kvantefysikken som en superposisjon av levende og død. Med det menes det at katten verken *er* levende eller død, og det har heller ingen mening å spørre om den er det ene eller det andre. Katten har *muligheten* for å være levende eller død når måling foretas. Det er alt kvantefysikken ifølge Bohr, sier. Først når man åpner lokket og undersøker katten, vil den få egenskapen (for oss) levende eller død.

Einstein mente at dette er vel og bra, men at det *i tillegg* må være mulig å forestille oss at katten *er* død eller levende underveis, selv uten at vi åpner lokket. Katten *er* det ene eller det andre til enhver tid, og hvorvidt katten da er død eller levende har ingenting med hva som skjer andre steder i verden utenfor boksen å gjøre. Dette er Einsteins og Schrödingers ståsted; igjen en lokal realismeforståelse av naturen. De tenker seg videre at det må være mulig å kunne beskrive prosesser i esken underveis mens den er lukket. Disse prosessene, som er skjult for oss siden esken er lukket, kalles "skjulte variable". Det er disse som til enhver tid fører til at katten enten er i live eller død, på en liknende måte som gassmolekylenes bevegelser er ansvarlig for gassens trykk og temperatur, mente Einstein. Siden kvantefysikken ikke gir en slik detaljert beskrivelse av hva som skjer med katten før vi åpner lokket, mente Einstein at kvantefysikken ikke var komplett.

Striden mellom Einstein og Bohr toppet seg da Einstein skrev en artikkel i 1935 sammen med Boris Podolsky og Nathan Rosen ("EPR-paperet").[2] Einsteins argument var omtrent som følger: Anta at vi kan produsere to fotoner som har samme polarisering idet de blir skapt. Dersom vi måler polariseringen til det ene fotonet slik at vi kan bestemme denne helt eksakt, da vil det være slik at *dersom* vi måler polariseringen til det andre fotonet, vil vi allerede *før* målingen vite hvilket resultat vi ville få. Men dersom vi faktisk kunne være sikker på hvilket måleresultat vi ville få, da måtte det være fullt mulig å si at det andre fotonet *hadde* denne polariseringen med seg på sin flukt hele tiden, selv før vi gjorde målingen. Da er vi tilbake til en lokal realismebeskrivelse, og ikke Bohrs tolkning av kvantefysikken.

Mot avklaring

Bohr laget omsider et svar på EPR-artikkelen, men han klarte ikke ordentlig å ta brodden av Einsteins argumentasjon, selv om mange fysikere trodde så. Imidlertid var det ingen på den tiden som var i stand til å gjennomføre Einsteins tenkte forsøk, så striden fikk ingen avklaring. Det ulmet likevel under overflaten, og enkelte fysikere tok tak i problemstillingen på ulik vis.

John Bell kom i begynnelsen av 1960-årene litt tilfeldig over EPR-artikkelen og fikk interesse for saken, nærmest på hobbybasis i tillegg til jobben som elementærpartikkelfysiker ved CERN. Han satte opp en analysemetode som kunne avgjøre "om Einstein eller Bohr hadde rett", dersom noen en gang i fremtiden kunne produsere sammenfiltrete fotoner slik Einstein foreslo. På den ene siden satte han opp en måte å analysere eksperimenter basert på "hvilken som helst tenkelig teori basert på lokal realisme". I tillegg satte han opp en analysemetode basert på kvantemekanikk. Han viste at for visse kombinasjoner av eksperimentelle parametre skilte disse to modellene lag. Statistikken ville gi ulike resultater, noe som siden er kjent som Bells ulikhet.

På den eksperimentelle siden var problemet å lage sammenfiltrete fotoner. Bohm og Aharonov innså i 1957 at fotoner som ble skapt ved elektron-positronannihilasjon måtte være sammenfiltrete, men dette var fotoner i røntgen/gamma-området, og man kunne ikke den gang måle disse fotonenes polarisasjon på en god måte. Clauser fant fra litteraturen at kalsiumatomer som blir eksitert med en kraftig kvikksølvlampe kunne sende ut to lyskvant (fotoner) tett etter hverandre, og at disse fotonene kunne betraktes som sammenfiltrete. Clauser og Freedman gjennomførte eksperimenter med slike sammenfiltrete fotoner i 1972. Deres produksjonsrate av sammenfiltrete fotoner var imidlertid meget liten, og deteksjonsfølsomheten lav, hvilket førte til at eksperimentene deres var lite overbevisende, og de vakte ikke spesiell oppmerksomhet. I 1981/82

gjennomførte Alin Aspect i Paris en rekke eksperimenter liknende det til Freedman og Clauser, bare med bedre detektorer og langt høyere produksjonsrate av fotoner ved å bruke laser for eksitasjon. Når han analyserte sine resultater ved å bruke Bells ulikhet, ga de en klar støtte til Bohrs oppfatning. Dataene var ikke i overensstemmelse med teorier basert på lokal realisme (ifølge Bells ulikhet), og ble derfor tolket dit hen at det nå en gang for alle var bevist at Einstein hadde tatt feil på dette området.

Aspects forsøk er beskrevet tidligere i Fra Fysikkens Verden. Jon Magne Leinaas ga i 1989 en relativt detaljert kvantemekanisk beskrivelse av EPR-paradokset, sammenfiltring, Bells teorem og Aspects forsøk.[3] Jeg har tonet ned formalismen siden den er for vanskelig for elever i den videregående skolen. Artikkelen til Leinaas kan likevel anbefales for lærerstaben som utdypning av de mer matematiske sidene av problemstillingene vi tar opp.

Er siste ord sagt?

Det er nå vel 25 år siden Aspects eksperimenter ble utført, og en rekke grupper rundt om i verden har gjentatt lignende eksperimenter og perfeksjonert dem til det ytterste. Designen er oftest basert på bruk av Bells ulikhet og videreutviklinger av denne, men det er også utviklet teorier som ikke er basert på denne ulikheten, og disse er brukt i eksperimenter med tre sammenfiltrete fotoner samtidig. I alle disse eksperimentene slås det fast med stor presisjon at Bohr hadde rett, og Einstein feil. Men likevel er ikke alle overbevist! For dersom fysikken er slik som det her er snakk om, vil den føre til at vi må gi slipp på vår intuisjon om lokal realisme; og det stritter mange imot.

Hva slags bilde må vi bruke i stedet for lokal realisme? Vi strever med å finne et godt svar på dette. Dersom to sammenfiltrete fotoner har en egenskap sammen hele tiden før måling, og dersom vi kan endre ett av fotonene øyeblikkelig ved å forandre det andre, må vi oppfatte de to fotonene på en måte som samme "legeme" selv om de to delene befinner seg mange kilometer fra hverandre. Det stemmer dårlig med våre dagligdagse erfaringer fra den makroskopiske verden. Men dersom det bare er kvantefysikken som stemmer overens med observasjoner på dette området, har vi vel ikke noe annet valg? Vi må da kanskje finne oss i å gi slipp på de dagligdagse erfaringene og godta at den mikroskopiske verden kan oppføre seg annerledes enn den makroskopiske. Anton Zeilinger i Wien er henrykt over at naturen oppfører seg annerledes enn vi er vant med å tro, og han er også henrykt over kvantefysikken som har ført til disse oppdagelsene. Han mener at lokal realisme må skrotes også for enkelte nær makroskopiske systemer slik at den nye erkjennelsen gjelder i større grad enn vi vanligvis er oss bevisst.

Likevel er ikke alle overbevist. Kan det være svakheter i enkelte detaljer i argumentasjonen vår? Kan det hende at kvantefysikken i seg selv er helt ok, men at vi bruker den på en slurvete måte? Fysikk er en ekstra spennende og utfordrende vitenskap fordi den er basert på *to* helt essensielle fundamenter: formalisme og eksperimenter. Formalismen er ren matematikk og kan utvikles med høy presisjon, men det er en stor utfordring å koble formalismen til det vi observerer. For hva betyr det egentlig at vi får et klikk i en detektor? Er det nødvendigvis et "bevis" på at et lokalisert foton av nærmest null utstrekning ble registrert? Nei, her må vi bekjenne at måleresultatene blir tolket ut fra forestillingene vi har med oss i enhver tidsperiode i fysikkens utvikling. Etter hvert som nye mentale forestillinger tvinger seg fram, vil formalismen kunne tolkes å gi annerledes forutsigelser enn hva vi mener i dag. Og kanskje de ikke-intuitive oppfatningene vi har i dag av sammenfiltrete fotoner nettopp indikerer at her kan det ligge en kime til nye forestillinger om naturen? For hvordan oppfatter vi egentlig et foton i dag? Spør du ulike fysikere, får du til dels ganske forskjellige svar!

Dette er spørsmål som jeg selv er meget opptatt av, og mange med meg. Ved Universitetet i Oslo bygges det nå et laboratorium hvor vi skal produsere sammenfiltrete fotoner og gjøre forskjellige målinger på dem for å lete etter svakheter i dagens argumentasjonsrekker. (Vi vil kunne ta imot skoleklasser fra ca. april 2009.) For eksempel kan det hende at Aspects eksperiment, og alle andre på dette området, egentlig ikke tilfredsstiller Einsteins krav i EPR-artikkelen, og derfor ikke kan anvendes for å avgjøre striden mellom Bohr og Einstein.

Einstein krever at man skal kunne bestemme polariteten til det ene fotonet entydig, i den betydning at man skal bestemme polarisasjonen til det ene fotonet slik polarisasjonen *er før* man måler den (husk at for Einstein er lokal realisme gyldig!). Men dette er lettere sagt enn gjort! For hvordan skal man kunne måle polariseringen til enkeltfotoner som i prinsippet kan ha hvilken som helst polariseringsretning? Det lar seg ikke gjøre, slik at man må basere

seg på korrelasjoner mellom mange målinger for å kunne tolke resultatene. Bells ulikhet angir bare hvordan korrelasjonene skal forventes å være for en "lokal realisme"-modell med skjulte variable på den ene siden, og for en kvantemekanisk beskrivelse på den annen side, og da påvirker vår tolkning av hva som skjer i måleprosessen, vår analyse av resultatene. Vi forsøker å påpeke denne type detaljer og presiseringer og vurderer hvorvidt det nødvendigvis er slik at kvantefysikken peker entydig på at vi må gi opp lokal realsime. Kanskje Einsteins oppfatning likevel ikke er så umulig? Resultatet er selvfølgelig helt uvisst.

Anvendelser

Det er i dag langt lettere å lage sammenfiltrete fotoner enn på den tiden Aspect gjennomførte sine eksperimenter. I dag brukes gjerne såkalte "ikke-lineære krystaller".[4] Ved hjelp av disse, kan vi f.eks. ved intenst laserlys i det infrarøde området lage blått lys (noe å undres over mhp energiregnskap for fotoner?). Vi kan også gå motsatt vei, å sende blått lys inn på en ikke-lineær krystall og få ut infrarødt lys. I denne siste prosessen vil det infrarøde lyset kunne bestå av fotonpar som er sammenfiltret.

Det er mye morsom fysikk som ligger bak generering av lys med andre bølgelengder enn det opprinnelige ved hjelp av ikke-lineære krystaller. Krystallene må være laget av dobbeltbrytende materiale, og ha en dispersjon som gjør det mulig å tilfredsstille både energi og impuls for fotonene samtidig. Ikke alle detaljer er forstått. For vel ti år siden brukte man gjerne krystaller av beta bariumborat for å generere sammenfiltrete fotoner. Fotonene kom da ut i to kjegleformede flater, og et falskt fargefoto av disse fungerer i dag som et slags ikon for sammenfiltrete fotoner.[5] I dag brukes også ikke-lineære krystaller som er grodd periodisk slik at man får ut de sammenfiltrete fotonene i samme retning som den inngående laserstrålen peker.

Sammenfiltrete fotoner er blitt svært populære fordi de kan utnyttes i kommunikasjon som ikke lar seg avlytte uten at det oppdages. De kan også anvendes i en form for logiske kretser basert på lys ("q-bits"). Sammenfiltrete fotoner har også egenskaper som gjør dem attraktive som basis for såkalte kvantedatamaskiner som ikke er binære, men kan ha kontinuerlige variable. Mye er skrevet om denne nye delen av fysikken, både på web og i bokform.[6]

Kvanteoptikken er i en rivende utvikling mange steder i verden, og man lager såkalte "quantum dots", små halvlederbaserte strukturer for generering av lys. Man kan fange enkeltatomer og se på lysabsorbsjon og emisjon fra slike atomer. Og man har klart å overføre en kvantetilstand til lys over på små skyer av atomer. Dette kan til en viss grad åpne opp for å lage fullstendige kopier av et materielt system fra ett sted til et annet ved hjelp av lys. Vi snakker da om "teleportering".[7] Originalen blir da ødelagt, men kopien vil kunne frembringes på det stedet man ønsker, forutsatt at man bruker den ene strålen av sammenfiltrete fotoner til avlesning av originalen og den andre strålen til å lage kopien.

Vi har ikke plass til å gå nærmere inn på alle disse eksotiske fenomenene og systemene som er gjenstand for aktiv fysikkforskning i dag mange steder i verden, men anbefaler at man er litt oppmerksom på denne oppblomstringen som er kommet i moderne fysikk.

Jeg vil til slutt få takke for mange nyttige innspill til denne artikkelen fra Karl Måseide, Jon Magne Leinaas, Joakim Bergli og Øyvind Grøn.

Referanser

1. A.I. Vistnes: *Utdypning og alternativ fremstilling av sammenfiltrete fotoner.* *http://folk.uio.no/arntvi/sammenfiltring.html*
2. A. Einstein, B. Podolsky og N. Rosen: *Can Quantum Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?* Phys. Rev. **47**, 777-780 (1935) Kan lastes ned gratis fra: *http://prola.aps.org/abstract/PR/v47/i10/p777_1*
3. J.M. Leinaas: *EPR-paradokset, Bells teorem og Aspects forsøk.* Fra Fysikkens Verden, **51**, nr. 2, 36–43 (1989)
4. *http://en.wikipedia.org/wiki/Nonlinear_optics*
5. *http://physicsworld.com/cws/article/print/11360/1/smallphotons*
6. A.D. Aczel: *Entanglement.* (Lettlest bok) Plume forlag, ISBN 0-452-28457-0 (2001/2003)
7. Teleportasjon: *http://www.research.ibm.com/quantuminfo/teleportation*

∞

Lærerike rulleproblemer

E. H. Hauge og J. S. Høye *

I FFV nr. 4, 2007, utfordrer en av dagens redaktører, Øyvind Grøn,[1] leseren til å utdype sin innsikt i arbeid og energi ved å gjennomregne det som skjer når en kule ruller på et skråplan. Vi vil slett ikke blande oss i den forutgående diskusjonen i FFV[2,3,4] om hvilken begrepsbruk som er mest hensiktsmessig når elever i den videregående skolen skal introduseres i den klassiske mekanikks vidunderlige verden. Den diskusjonen kan være viktig nok, men vi slutter oss helhjertet til den holdning redaktøren uttrykker: Innsikt utvikles best ved gjennomregning av konkrete eksempler.

Kule på skråplan

Først et viktig poeng om arbeid. Vi begrenser oss for enkelhets skyld til endimensjonal translasjon og tilsvarende rotasjon om én akse med fast retning gjennom tyngdepunktet. Igjen for å gjøre det enkelt, la nettokraften F være konstant. Når legemet flytter seg strekningen s, har kraften utført translasjonsarbeidet $W_t = F \cdot s$, som (når vi kan se bort fra dissipasjon) resulterer i den kinetiske translasjonsenergien $F \cdot s = \frac{1}{2}Mv^2 = E_t$. Såre velkjent. Men dersom legemet med masse M og treghetsmoment I_0 om tyngdepunktsaksen, også påvirkes av et konstant dreiemoment τ og dreier en vinkel ϕ, vil, helt tilsvarende, dreiemomentet ha utført arbeidet $W_r = \tau \cdot \phi$. Dette arbeidet ender opp som den kinetiske rotasjonsenergien $E_r = \frac{1}{2}I_0\omega^2$, der vinkelhastigheten er definert ved $\omega = \dot{\phi}$. Analogien med translasjonsbevegelse er, så langt, perfekt. For en rullende kule med masse M og radius R på et skråplan med helning θ (friksjonen antas foreløpig stor nok til at kula utfører ren rulling) har vi sammenhengen $s = R\phi$. Det innebærer at $W_r = \tau \cdot \phi = F_f R \cdot \phi = F_f \cdot s$, der F_f er friksjonskraften i kulas berøringspunkt med underlaget. Når kula har rullet strekningen s nedover skråplanet, har altså nettokraften $F = Mg\sin\theta - F_f$ tilført kula translasjonsenergien $F \cdot s$, mens friksjonskraften ved sitt dreiemoment har tilført rotasjonsenergien $\tau \cdot \phi = F_f \cdot s$. Det er summen av disse to som svarer til tapet av potensiell energi i tyngdefeltet. Moral: Glem ikke at arbeid kan utføres av dreiemomenter såvel som av krefter!

Dette viser at ligning (4) i Arges artikkel[4] er korrekt, både med hensyn til innhold og interpretasjon, selv om ligningens form ikke tydeliggjør siste ledds status som rotasjonsledd. På dette punkt er derfor Grøns kommentar[1] misvisende.

Før vi går videre minner vi om standardmetoden for å løse dette rulleproblemet: Skriv ned Newtons andre lov for tyngdepunktbevegelsen, og den formen loven får for rotasjon om tyngdepunktet,

$$F = M\dot{v} \; ; \; \tau = I_0\dot{\omega}, \tag{1}$$

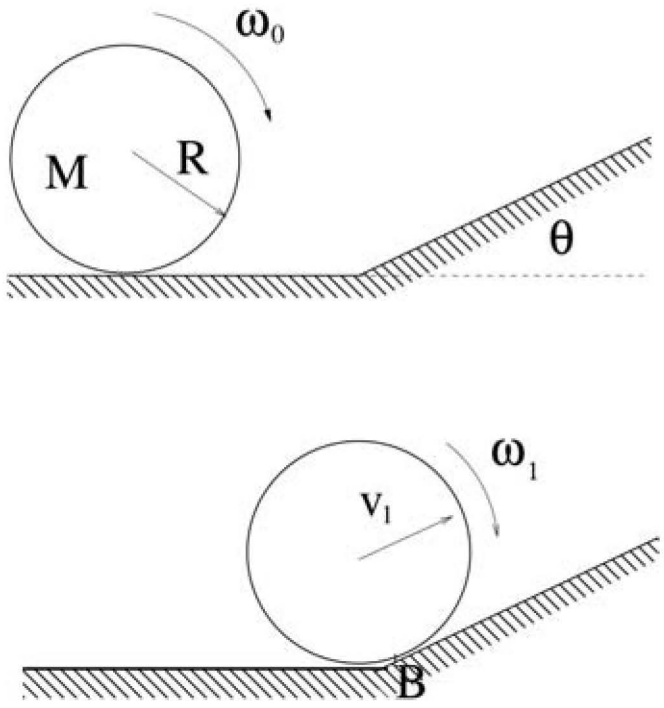
der nettokraften i dette tilfellet er $F = Mg\sin\theta - F_f$ og dreiemomentet er $\tau = F_f R$. Bruk rullebetingelsen $v = R\omega$ som kopler v og ω. De to ligningene (1) bestemmer da de to ukjente, $\dot{v}$ og F_f. For gitt helningsvinkel θ forutsetter regningen at den funne verdien for F_f ikke er større enn det friksjonskoeffisienten maksimalt har å tilby. Med andre ord, $F_f \leq \mu_s Mg\cos\theta$, der μ_s er (den statiske) friksjonskoeffisienten. Ren rulling for en kule med treghetsmoment $I_0 = \frac{2}{5}MR^2$ innebærer derfor kravet $\mu_s \geq (2/7)\tan\theta$. Eller, kvalitativt: Ren rulling på et skråplan forutsetter at det ikke er for glatt.

Kombinert rulling og støt

Med visdommen opparbeidet fra det enkle rulleproblemet ovenfor står vi nå bedre rustet til å gå løs på mer sammensatte problem.[5] Vi lar nå kula rulle med vinkelhastighet ω_0 (regnet positiv med klokka) bortover en horisontal flate, for så, som vist i figur 1,

* Institutt for fysikk, NTNU

å møte et skråplan vinkelrett på skjæringslinjen mellom planene. Skråplanet har helningsvinkelen θ, og treffes av kula i det første berøringspunktet B. Vi neglisjerer luftmotstanden.



Figur 1. Kula før og etter støtet.

Problemet er lærerikt fordi det trengs ytterligere presiseringer før det er entydig, fordi løsningens form avhenger sterkt av verdien til friksjonskoeffisienten(e) mellom kule og underlag, og fordi problemet åpner for interessante energibetraktninger. Noen av disse energibetraktningene kan koples til den tidligere diskusjonen om arbeid og energi i FFV.

Det første som må avklares her er hvilken type støt kula utsettes for når den treffer skråplanet. Vi skal gjøre den enklest mulige antakelse, nemlig at støtet vinkelrett mot skråplanet er *fullstendig uelastisk*, slik at kula fortsetter oppover langs skråplanet uten at støtet får den til å sprette. Dersom kulas tyngdepunkt har (den horisontale) hastigheten v_0 før støtet ved $t = 0$, innebærer dette at hastigheten umiddelbart etter støtet er rettet langs skråplanet og har verdien $v_1 = v(0^+)$. Hastighetskomponenten vinkelrett på skråplanet er null etter støtet.

Hvor god denne antakelsen om uelastisk støt er, avhenger selvsagt av materialvalg for kule og underlag. For gitt materialvalg vil dessuten antakelsen bare kunne være god for ikke altfor store θ. Vi skal ikke gå inn i en finurlig diskusjon av antakelsens gyldighet her, men ta det for gitt at materialvalget og vinkelen er slik at støtet vinkelrett på skråplanet *kan* oppfattes som fullstendig uelastisk.

Etter at kula har beveget seg et stykke oppover skråplanet, vil den returnere og støte mot hjørnet for annen gang, før den til slutt ruller "inn i solnedgangen" mot venstre.

Friksjonskoeffisienten(e)

For enkelhets skyld antar vi at horisontalplanet og skråplanet er laget av samme materiale, slik at friksjonskoeffisientene er de samme overalt. Vanligvis er den statiske friksjonskoeffisienten større enn den kinetiske, men denne forskjellen ser vi innledningsvis bort fra, og kommer først tilbake til den på slutten av avsnittet om hva som skjer på skråplanet.

La oss først anta (i tråd med ref. 5) at friksjonskoeffisienten μ er tilstrekkelig stor til at kula under hele bevegelsen *ruller* (uten å skli!). Støtet antas å bruke essensielt "null tid", og vi vil bestemme tyngdepunktets initialhastighet oppover langs skråplanet, $v_1 = v(0^+)$, umiddelbart etter støtet. Når vi forutsetter rulling både før og etter støtet, kan v_1 enkelt bestemmes ved å bruke at den totale dreieimpuls om støtpunktet B er konservert i støtprosessen:

$$Mv_0R\cos\theta + I_0\omega_0 = Mv_1R + I_0\omega_1, \qquad (2)$$

der rullebetingelsen innebærer at $\omega_0 = v_0/R$ og at $\omega_1 = v_1/R$. Første leddet på hver side av ligningen er banedreieimpulsen relativt støtpunktet B, andre ledd er egenspinnet. Siden kulas treghetsmoment om en akse gjennom sentrum er $I_0 = \frac{2}{5}MR^2$, gir dette

$$v_1 = \frac{1}{7}v_0(2 + 5\cos\theta), \qquad (3)$$

som stemmer i grensen $\theta \to 0$. Rullebetingelsen bestemmer vinkelhastigheten umiddelbart etter støtet som $\omega(0^+) = \omega_1 = v_1/R$. Så langt er vi helt på linje med fasiten i ref. 5.

I prinsipp representerer hastighet og vinkelhastighet etter støtet to uavhengige ukjente. Når begge her er bestemt av én ligning, bevaring av total dreieimpuls om kontaktpunktet B, skyldes det at de to ukjente pr. postulat er forbundet av rullebetingelsen. Men derved blir spørsmålet: Når er vårt postulat om at kula ruller "overalt" korrekt? Kula kan i alle fall ikke være i rullemodus under selve støtprosessen! Dette innser en ved å fokusere på relativhastigheten mellom kuleoverflata og underlaget, $\Delta v(t)$. Idet støtet (ved tida $t = 0^-$) mot skråplanet starter, er denne relativhastigheten

$\Delta v(0^-) = v_0\cos\theta - R\omega_0 = -v_0(1-\cos\theta) < 0$. Skal kula komme ut av støtprosessen (som tar "null" tid) i rullemodus, må friksjonenskreftene i løpet av støtet ha sørget for at $\Delta v(0^+) = v_1 - R\omega_1 = 0$. Spørsmålet blir da: For hvilke verdier av μ er dette kravet oppfylt?

Med andre ord: Vi må rykke tilbake til start, og for en *gitt* helningsvinkel θ studere hva som skjer, avhengig av verdien til friksjonskoeffisienten μ. Da må v_1 og ω_1 håndteres som *to* ukjente, uten direkte forbindelse med hverandre. I stedet for å bruke bevarelse av total dreieimpuls relativt støtpunktet B (som vi gjorde i (2) ved ren rulling), er det nå mer hensiktmessig å gå tilbake til Newtons annen lov (1), i den form loven her får for henholdsvis translasjon og rotasjon.

Støtprosessen

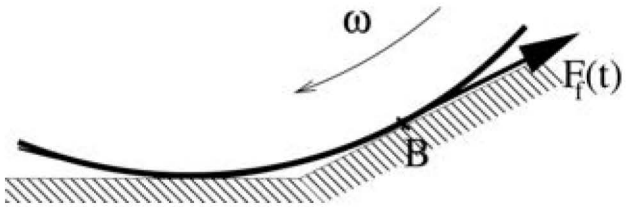
Vår antakelse om et uelastisk støt innebærer at kulas hastighetskomponent vinkelrett på skråbakken absorberes av underlaget. I løpet av den korte tida støtet varer, vil kraftimpulsen som absorberes på underlaget derfor være gitt som $\int F_\perp(t)\,\mathrm{d}t = Mv_0\sin\theta$. Men friksjonen mot underlaget vil da generere en kraftimpuls $\int F_f(t)\,\mathrm{d}t = \mu\int F_\perp(t)\,\mathrm{d}t$ *parallelt* med skråplanet (se figur 2). Denne kraften vil gi parallellhastigheten et positivt kick (siden relativhastigheten er negativ) slik at resultatet for $v_1 = v(0^+)$ er

$$v_1 = v_0(\cos\theta + \mu\sin\theta). \tag{4}$$

Tilsvarende vil friksjonskraften gi en dreiemomentimpuls $\int \tau(t)\,\mathrm{d}t = -\int F_f(t)R\,\mathrm{d}t = I_0\Delta\omega$, som reduserer kulas vinkelhastighet med beløpet $\Delta\omega$. Før støtet ruller kula, og vinkelhastigheten er $\omega_0 = v_0/R$. Umiddelbart etter støtet er derfor vinkelhastigheten $\omega(0^+) = \omega_1$,

$$\omega_1 = \omega_0 - v_0\mu\sin\theta\cdot MR/I_0 = \omega_0(1-\frac{5}{2}\mu\sin\theta). \tag{5}$$

Det er beroligende å konstatere at av resultatene for v_1 og ω_1 følger at den totale dreieimpulsen om B er bevart, *uansett* verdi for μ, altså uten å bruke antakelsen at kula ruller umiddelbart etter støtet. Dette ser en umiddelbart ved å sette inn de funne, μ-avhengige verdiene (4) og (5) for v_1 og ω_1 i høyre side av bevarelsessetningen (2): Avhengigheten av μ kanselerer, og høyre side av (2) blir lik venstre side. Dette er en direkte følge av at både friksjonskraften og normalkraften angriper i berøringspunktet B.



Figur 2. Friksjonskraften $F_f(t)$ i støtpunktet B.

Kontaktkreftenes *arm* om B forsvinner, og derved er dreiemomentet relativt B lik null. At vi ikke trengte å henvise til bevarelse av total dreieimpuls om B når vi baserte regningene på Newtons annen lov, (1), er heller ikke oppsiktsvekkende: Bevarelse av total dreieimpuls har ikke noen selvstendig status i klassisk mekanikk, men er en *konsekvens* av Newtons lover.

Av resultatene over kan vi beregne relativhastigheten umiddelbart etter støtet,

$$\begin{aligned}\Delta v(0^+) &= v_1 - R\omega_1 \\ &= v_0(\cos\theta + \mu\sin\theta - 1 + \frac{5}{2}\mu\sin\theta) \\ &= \frac{7}{2}v_0\sin\theta\left(\frac{2}{7}\tan\frac{\theta}{2} - \mu\right),\end{aligned} \tag{6}$$

der vi har brukt formler for trigonometriske funksjoner til den dobbelte vinkel.

Vi innfører nå notasjonen

$$\mu_1 \equiv \frac{2}{7}\cdot\frac{1-\cos\theta}{\sin\theta} = \frac{2}{7}\tan\frac{\theta}{2}. \tag{7}$$

Svaret ovenfor viser at dersom $\mu < \mu_1$, vil kula *ikke* starte ferden oppover skråplanet i rullemodus, den vil rotere for raskt. Men hva dersom $\mu > \mu_1$? Vel, her kommer friksjonskrefters egenskaper inn. De kan (i løpet av støtet) bremse relativbevegelsen ned, eventuelt helt til null. Men de kan *ikke* akselerere den opp *forbi* null. For alle $\mu > \mu_1$ vil derfor kula *starte* oppover skråplanet i rullemodus, med $v_1 = R\omega_1$ og v_1 gitt av ligning (3). (Da vil tidsintegralet i den parallelle kraftimpulsen innført over ligning (4) avbrytes *før* tidsintegralet i den vinkelrette kraftimpulsen.)

Eksistensen av grenseverdien μ_1 er interessant, spesielt fordi den er forskjellig fra

$$\mu_2 \equiv \frac{2}{7}\tan\theta, \tag{8}$$

som (jamfør standardproblemet skissert i første avsnitt) er minimumsverdien av μ for at en kule vil rulle på et skråplan med helning θ. For små θ er μ_1 snaut halvparten av μ_2. At kula like etter

støtet starter i rullemodus, innebærer derfor *ikke* at den fortsetter å rulle! Mens den opprinnelige oppgaven,[5] med enkle svar på de sentrale spørsmål, implisitt antar at $\mu \geq \mu_2$, har vi nå funnet to andre områder for friksjonskoeffisienten som til dels må behandles hver for seg.

Hva skjer på skråplanet når $\mu < \mu_2$?

Under rundturen opp og ned på skråplanet er både netto kraft og dreiemomentet som virker på kula konstante. Friksjonskraften virker oppover langs skråplanet og har nå den konstante verdien $F_f = \mu Mg\cos\theta$. Derved blir både tyngdepunktets akselerasjon og vinkelakselerasjonen konstante,

$$\dot{v} = -g(\sin\theta - \mu\cos\theta)\ ;\ \dot{\omega} = -\frac{5\mu g}{2R}\cos\theta. \qquad (9)$$

der g er tyngdens akselerasjon. (Siden det bare er friksjonskraften som gir dreiemoment, er $\dot{\omega} = 0$ når $\mu = 0$.) Av dette følger at akselerasjonen knyttet til relativbevegelsen mellom kulas overflate og skråplanet i berøringspunktet, $\Delta\dot{v} = \dot{v} - R\dot{\omega}$, også er konstant og er gitt som

$$\Delta\dot{v} = -g(\sin\theta - \frac{7}{2}\mu\cos\theta) = -\frac{7}{2}g\cos\theta\,(\mu_2 - \mu) < 0. \qquad (10)$$

Uttrykket for relativhastigheten under rundturen blir da, med henvisning til (6) og (10),

$$\Delta v(t) = \Delta v(0^+) + t\Delta\dot{v}. \qquad (11)$$

Diskusjonen under (7) viser at $\Delta v(0^+) = 0$ for $\mu \geq \mu_1$, mens $\Delta v(0^+) < 0$ for $\mu < \mu_1$. Dessuten viser (10) at $\Delta\dot{v} < 0$ for *alle* $\mu < \mu_2$. Det siste innebærer at selv om kula starter i rullemodus, er friksjonen for liten til å holde den der, når $\mu < \mu_2$: Den begynner umiddelbart å skli, og fortsetter med det under hele rundturen.

Hvilke konsekvenser vil det ha dersom den statiske friksjonskoeffisienten, $\mu_s \equiv c\mu$, er større enn den kinetiske, μ ($c > 1$)? Dersom $\mu < \mu_1$ vil det *ikke* ha noen konsekvenser, rett og slett fordi relativhastigheten i berøringspunktet da vil være forskjellig fra null under hele rundturen, slik at μ_s er irrelevant. Dersom derimot $\mu \geq \mu_1$, vil kula starte rundturen i rullemodus, og dersom $\mu_s = c\mu \geq \mu_2$, vil kula fortsette å rulle. De to nødvendige betingelser for at kula skal rulle "overalt" er derfor: (i) Den *kinetiske* friksjonskoeffisienten må minst ha verdien μ_1, og (ii) Den *statiske* friksjonskoeffisienten må minst ha verdien μ_2. Til sammen er disse to betingelsene tilstrekkelige.

Energibetraktninger

På bakgrunn av den nylige diskusjonen i FFV om arbeid og energi,[1,2,3,4] kan det være interessant å se litt på de forskjellige energiformene og deres omforming i dette tilfellet. Den kinetiske energien har to former: Translasjonsenergi knyttet til tyngdepunkts bevegelsen og rotasjonsenergi for rotasjonen om aksen gjennom tyngdepunktet. Dessuten inngår den potensielle energien i tyngdefeltet i den mekaniske energien.

Siden støtet vinkelrett mot skråplanet er fullstendig uelastisk, vil åpenbart det mekaniske energibeløpet $\delta E_\perp = \frac{1}{2}Mv_0^2\sin^2\theta$ gå tapt i støt nr. 1 ($v_0 = R\omega_0$). Men dette er ikke alt! Friksjonen i relativbevegelsen parallelt med skråplanet vil i løpet av selve støtet (som tar "null tid"!) gi et energitap *i tillegg* til dette tapet. For $\mu \geq \mu_1$ (også når $\mu \geq \mu_2$!) er tilleggstapet gitt som

$$\delta E_\parallel = \frac{1}{7}Mv_0^2(1 - \cos\theta)^2. \qquad (12)$$

Dette kan vises ved å beregne tapet av mekanisk energi i støtet, eller (mer krevende!) ved direkte å beregne det arbeidet friksjonskraften gjør i løpet av ("null tid"!) støtet. Uttrykket for $\delta E_\parallel$ kan også finnes når $\mu < \mu_1$. Det er mer komplisert, men har grensen $\delta E_\parallel \to 0$ når $\mu \to 0$, som det bør.

Under rundturen på skråplanet spiller friksjonskraften generelt en dobbel rolle. Men ikke når $\mu \geq \mu_2$, da vil den bare bidra til omforming mellom forskjellige former for mekanisk energi. Når kula ruller oppover skråplanet, vil rotasjonsenergien via translasjonsenergi omformes til potensiell energi. Når den ruller nedover igjen, får vi den motsatte prosessen. Arbeidet som inngår i omformingene, utføres dels av friksjonskraftens dreiemoment, dels av nettokraften langs skråplanet. Når kula *både* roterer og sklir på underlaget, vil friksjonskraften dessuten få dissipasjonsrollen: Multiplisert med relativhastigheten i berøringspunktet vil den omforme mekanisk energi til varme.

Siden akselerasjonen ifølge (9) er konstant, returnerer kula til hjørnet med samme fart (men med motsatt hastighet) som da den forlot hjørnet, uansett verdi for μ. Dette innebærer, pussig nok, at alt friksjonstap under rundturen belastes rotasjonsenergien, *ikke* translasjonsenergien. Dette friksjonstapet, δE_r, kan beregnes på to måter. I begge

tilfeller må en først beregne tida rundturen tar, $t_r = -2v_1/\dot{v}$. Deretter kan en enten bruke vinkelakselerasjonen $\dot{\omega}$ sammen med begynnelsesverdien ω_1 til å beregne $\omega(t_r^-)$, og derved friksjonstapet $\delta E_r = \frac{1}{2}I_0[\omega_1^2 - \omega^2(t_r^-)]$. Eller en kan beregne friksjontapet direkte ved å integrere produktet av friksjonskraft og relativhastighet:

$$\delta E_r = -\mu M g \cos\theta \int_{0+}^{t_r^-} \Delta v(t)\,\mathrm{d}t. \qquad (13)$$

De to fremgangsmåtene gir samme svar, som de bør. Svarene i begge områdene $0 < \mu < \mu_1$ og $\mu_1 \leq \mu < \mu_2$ er relativt kompliserte og ikke spesielt lærerike, så vi går ikke i detaljer her.

Hva skjer etter støt nr. 2?

Uansett friksjonskoeffisientens størrelse har vi gått ut fra at kula går *inn* i støt nr. 1 i rullemodus. Når $\mu < \mu_2$ vil kula derimot *ikke* gå inn i støt nr. 2 i rullemodus. Dette er den eneste prinsippielle forskjellen mellom de to støtene. Siden kula etter støt nr. 2 beveger seg bortover *horisontalplanet*, vil friksjonen (uansett hvor liten den er) sørge for at kula før eller siden ender opp i rullemodus. Spørsmålet blir da: Hva er betingelsen for at kula ruller allerede *umiddelbart* etter støt nr. 2?

Når $\mu \geq \mu_2$ er saken enkel, da vil kula rulle umiddelbart etter støt nr. 2, og med en hastighet som følger direkte av resultatet (3) for støt nr. 1, i tråd med fasiten i ref. 5. Omvendt: Når $\mu \leq \mu_1$, vil kula definitivt *ikke* rulle umiddelbart. Det pussige er at for den spesielle verdien μ_0 (merk at $\mu_1 < \mu_0 < \mu_2$)

$$\mu_0 \equiv \tan\theta \cdot \frac{1+\cos\theta}{6+\cos\theta}, \qquad (14)$$

vil kula komme ut av støt nr. 2 med relativhastighet $\Delta(t_r^+) = 0$, dvs. i rullemodus, selv *uten* hjelp av friksjonen i støtet. *Med* friksjon i støt nr. 2 vil relativhastigheten mellom kuleoverflaten og horisontalplanet, uansett fortegn, reduseres. Dette fører til at kula, innen et visst område for μ på begge sider av μ_0, kommer ut av støt nr. 2 i rullemodus.

Hva har vi lært av dette?

Innledningsvis ble vi minnet om at ikke bare (linære) krefter gjør arbeid, men også dreiemomenter. Translasjon og rotasjon må, i stive legemers dynamikk, vanligvis sees i sammenheng. Bevarelsesloven for totalspinnet, en konsekvens av Newtons ligninger, kan være nyttig. Men den må brukes med kløkt, og er ingen tryllestav som løser alle rulleproblemer. Når raske bevarelsesargumenter ikke strekker til, er strategien å gå tilbake til fundamentet: Newtons lover. Friksjonskrefter gjør arbeid på forskjellig vis. Når de inngår i et dreiemoment kan de overføre energi mellom de forskjellige formene for mekanisk energi. Og når legemer sklir, vil friksjonskreftene forårsake dissipasjon. Det dissiperte arbeidet kan finnes av totalregnskapet for energi, men det kan også beregnes direkte, selv når det utføres i løpet av den infinitesimalt korte tida et støt tar.

Sist, men ikke minst: Selv et problem som i utgangspunktet kan se såre enkelt ut, kan vise seg å inneholde både overraskelser og subtiliteter! Den ivrige leser utfordres herved til å gjennomføre de regningene vi her bare har henvist til. En mer utførlig versjon av dette arbeidet finnes på Internett.[6]

Referanser

1. Ø. Grøn: *Mer om arbeid og energi.* FFV **69,** nr. 4, 129 (2007)
2. J. Pålsgård og C. Callin: *Begrepet arbeid i skolefysikken.* FFV **69,** nr. 2, 57 (2007)
3. J. Pålsgård og C. Callin: *Sluttmerknad om arbeid og energi.* FFV **69** nr. 4, 128 (2007)
4. G. Arge: *Problem i undervisningen om energi.* FFV, **69,** nr. 3, 87 (2007)
5. Jan R. Lien og Gunnar Løvhøiden: *Generell fysikk 1, Mekanikk, (202, oppgave 6.40).* Universitetsforlaget, Oslo (2001)
6. Internett: *http://home.phys.ntnu.no/rulleproblem/*

∞

Skriv i
Fra Fysikkens
Verden!

Å beskrive naturen med matematikk

Carl Angell og Ellen K. Henriksen *

Hvordan kan vi inkludere matematisk modellering og vitenskapelig arbeidsmåte i fysikkundervisningen i videregående skole?

Matematisk modellering

I den nye læreplanen fra 2006[1] er fysikkfaget i videregående skole delt inn i seks hovedområder, hvorav det ene er en nyskapning med tittelen: *Å beskrive naturen med matematikk.* Under denne overskriften kan vi bl.a. lese at elevene skal lære:

- å lage en eller flere matematiske modeller for sammenhengen mellom fysiske størrelser som er funnet eksperimentelt
- å bruke matematiske modeller som kilde for kvalitativ og kvantitativ informasjon, presentere resultater og vurdere gyldighetsområdet for modellene
- å analysere ulike matematiske modeller for en fysisk situasjon, med og uten digitale verktøy, og vurdere hvilken modell som beskriver situasjonen best.

I perioden før og under prosessen som førte fram til den nye fysikklæreplanen, arbeidet vi ved Skolelaboratoriet ved Fysisk institutt, UiO, med et forsknings- og utviklingsprosjekt der nettopp matematisk modellering sto i fokus. I det følgende vil vi presentere intensjonene med, og erfaringer fra, prosjekt FYS 21 -*empirisk-matematisk modellering i skolefysikken.*

Multiple representasjoner

Fysikkfaget i skolen har en lang tradisjon i å bli oppfattet som vanskelig og utfordrende. Blant andre har Jens Dolin[2] pekt på at en hovedutfordring for fysikkelever er at de må forholde seg til mange ulike *representasjoner* av et fenomen på en gang: eksperimenter, grafer, begreper, verbale beskrivelser og ligninger. Når en erfaren fysiker ser en graf som viser farten ved fritt fall, "ser" han eller hun både fenomenet, grafen og matematikken som beskriver fenomenet *samtidig.* Fysikeren kan relativt utvungent bevege seg mellom de ulike representasjonsformene. En fysikkelev vil ofte finne dette vanskelig. For eksempel har mange lærere erfart at matematikken for mange elever oppleves som løsrevet fra det fysiske fenomenet. Dessuten er det en erfaring fra FYS 21 at elevene har vanskelig for å se hvordan grafer kan fungere som overgang mellom måledata og et matematisk uttrykk – en modell av fenomenet.

Empirisk-matematisk modellering

I FYS 21 har målet vært å vektlegge modelleringsaspektet i mer omfattende og systematisk grad enn det som har vært vanlig i norske fysikklasserom, samtidig som undervisningen skulle fokusere på ulike representasjonsformer som anvendes i fysikk, og hjelpe elevene til å bli fortrolige med vekslingen mellom disse.

Det er to hovedperspektiver som kan sies å utgjøre vår begrunnelse for modelleringstilnærmingen til fysikkfaget i skolen:

- Fysikk dreier seg om å lage (matematiske) modeller av virkeligheten. Å arbeide med fysikk dreier seg i økende grad om å utvikle, teste og bruke *modeller*, og dette bør reflekteres i skolens fysikkfag.
- Modeller og modellering kan være gode redskaper når en skal undervise og lære fysikk. En modelleringstilnærming kan øke elevenes forståelse av fysikkens ulike representasjonsformer, øke forståelsen av matematikkens rolle i fysikken og av eksperimentets rolle, og gi elevene trening i naturvitenskapelig arbeidsmåte.

* Skolelaboratoriet, Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

I FYS 21 har vi introdusert *empirisk-matematisk modellering* som et bærende element. Dette innebærer at vi legger vekt på

- aktiviteter der elevene bruker ulike representasjonsformer når de gjør forsøk, og konstruerer og vurderer matematiske modeller av fenomener de studerer
- at fysikk handler om modeller av fenomener som ofte er beskrevet i et matematisk språk, og at "å gjøre fysikk" betyr å arbeide med modeller i vid forstand.

Prosjektet varte i tre år med oppstart i 2003. 10 skoler og nesten 20 fysikklærere deltok i utvikling og utprøving av undervisningsmateriale og aktiviteter med fokus på empirisk-matematisk modellering og vitenskapelig tenkemåte. Skolene var lokalisert i Øst og Midt-Norge.

Vi har avholdt tre heldagsseminarer og flere regionale møter med prosjektlærerne. Det siste året deltok seks skoler, 13 lærere og 289 fysikkelever (2 FY) med systematisk bruk av materiale og aktiviteter utviklet for FYS 21-prosjektet. Skolene ble regelmessig besøkt av prosjektteamet, som observerte undervisningen med modelleringsaktiviteter og intervjuet elever og lærere. I tillegg besvarte elevene en omfattende test og et spørreskjema.[3] Prosjektet er nærmere beskrevet av Angell, Henriksen og Kind[4] og av Angell, Kind, Henriksen og Guttersrud.[5]

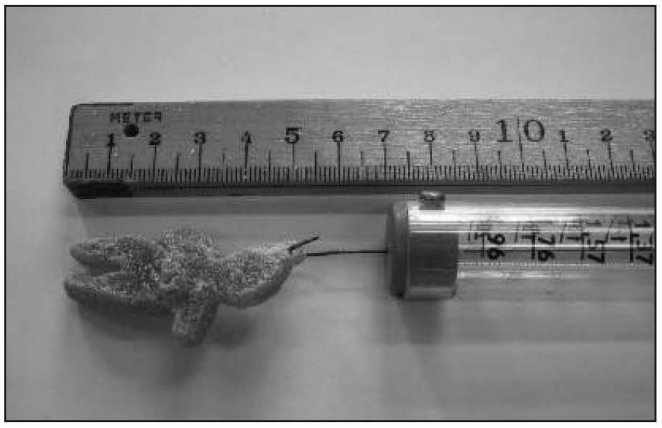
Som ledd i å kommunisere ideer til lærere ble det utviklet et lærerhefte som også innholdt forslag til en plan for skoleåret og en rekke modelleringsaktiviteter. Et tilsvarende hefte ble laget for elevene. Begge heftene kan lastes ned fra prosjektets nettsider: *http://www.fys.uio.no/skolelab/FYS21*

Eksempler på modelleringsøvelser

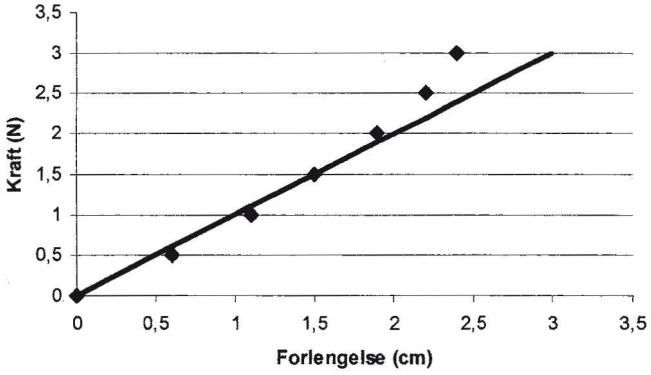
Forlengelse av seigmenn

I denne øvelsen skulle elevene strekke seigmenn og studere kraften som funksjon av forlengelsen (se figur 1). De gjorde målinger, tegnet resultatet av målingene i en graf, og konstruerte og tolket et matematisk uttrykk som beskriver fenomenet.

Dette forsøket gir vanligvis en rett linje gjennom origo (innenfor moderate forlengelser), og en kan uttrykke dette matematisk som $f(x) = ax$, som tilsvarer Hookes lov. Den lineære modellen har imidlertid sine begrensninger. De elastiske egenskapene til seigmenn forandrer seg nær punktet der de brister. Seigmenn av forskjellig farge viser seg også å ha ulike elastiske egenskaper, noe som kommer til uttrykk ved ulike stigningstall på den lineære delen av grafen. Figur 1b viser at det "lineære" området er begrenset.



Figur 1a. Forlengelse av en seigmann.



Figur 1b. Kraft som funksjon av forlengelsen av seigmenn.

Kraften mellom to magneter

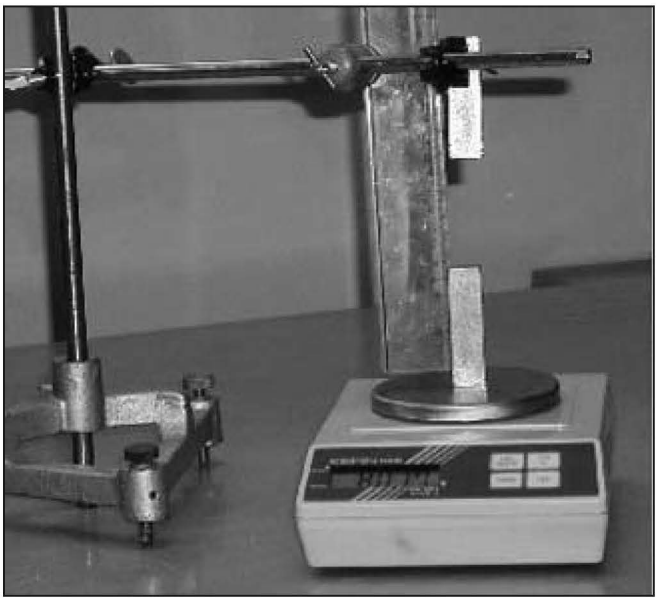
Problemstillingen i denne oppgaven var å finne sammenhengen mellom kraften og avstanden mellom to stavmagneter. Den ene magneten var plassert på en vekt slik at en enkelt kan få et mål på kraften (se figur 2).

Dette forsøket gir nokså forskjellige resultater. Men de fleste av elevene fant en $1/x^n$-avhengighet, der n var mellom 1 og 2, og x var avstanden mellom magnetene. Her avhenger resultatet sterkt av geometrien i forsøket og typen magneter som brukes. Dersom en bruker små runde neodymium-magneter, får en gjerne n mellom 3 og 4 (se også ref. (6)).

Erfaringer og anbefalinger

Et ikke uventet hovedfunn fra dette prosjektet er at

implementeringen av de nye ideene varierte sterkt mellom ulike FYS 21-klasserom. Lærerne hentet ut ideer de selv fant interessante og nyttige, og tilpasset disse til sin undervisning. Mange lærere vektla "åpen arbeidsform" mer enn "modellforståelse". De vektla altså fortrinnsvis det andre av de to perspektivene vi hadde som begrunnelse for prosjektet; de var mer opptatt av modellering som en metode for å undervise i fysikk enn av det vitenskapsteoretiske perspektivet.[7]



Figur 2. Måling av kraften mellom to stavmagneter.

Dersom vi ønsker en fysikkundervisning som fremhever modellering (noe den nye læreplanen legger opp til), ser det ut til at undervisning *om* modeller er like viktig som å undervise selve modellene.

Det ble tydelig dokumentert at elevene er uvant med en del aspekter ved empirisk-matematisk modellering, som for eksempel å velge riktig akse for plotting av uavhengig og avhengig variabel, å arbeide med andregrads- og eksponentialfunksjoner, og å bruke grafisk kalkulator med fornuft til å foreta regresjoner. Det kom også fram at implisitt undervisning ikke er nok til å utvikle modellforståelse; elevene opparbeider ikke et vitenskapsteoretisk perspektiv på fysikkens lover som modeller av virkeligheten bare av å gjøre modelleringsøvelser. Dette må belyses eksplisitt gjennom omtale og diskusjon av modellene og modelleringsprosessen. Guttersrud[3] fant videre indikasjoner på en sammenheng mellom elevers syn på naturvitenskap, deres læringsstrategier når de arbeidet med fysikk, og deres ferdigheter i å forstå og bruke multiple representasjoner i beskrivelse av fysiske fenomener.

I arbeidet med hovedområdet, *Å beskrive naturen med matematikk*, mener vi, basert på erfaringene fra FYS 21, at det er viktig ikke bare å fokusere på konkrete modelleringsaktiviteter, men også på elevers og læreres syn på vitenskap og deres syn på undervisning og læring. Vi vil oppfordre fysikklærere til å bruke dette hovedområdet ikke bare som en måte å formidle "tradisjonelt fagstoff" i fysikk på, men som en mulighet til å trekke inn vitenskapelig arbeidsmåte og vitenskapsteori i fysikkfaget. Et fysikkfag for framtiden bør reflektere den dominerende rollen modellering har i dagens naturvitenskap. Det er ikke gjort over natten å endre måten fysikklærere og elever ser på fysikken og på hvordan den skal læres og undervises, men vi tror at en slik endring over tid vil bidra til kompetente, motiverte og reflekterte fysikkelever som kan ta viktig kompetanse med seg ut av fysikklasserommet og inn i sitt liv som arbeidstakere og samfunnsborgere.

Referanser

1. Utdanningsdirektoratet: *Fysikk – programfag i studiespesialiserende utdanningsprogram* (2006)
2. J. Dolin: *Fysikfaget i forandring. ("School physics in a process of change").* Roskilde University, Denmark (2002)
3. O. Guttersrud: *Mathematical Modelling in Upper Secondary Physics Education. Defining, Assessing and Improving Physics Students' Mathematical Modelling Competency.* PhD thesis, Department of Physics, University of Oslo (2008)
4. C. Angell, E.K. Henriksen, & P.M. Kind: *FYS21 - et prosjekt om modellering og vitenskapelig arbeids- og tenkemåte i fysikkundervisningen.* Nordina, **3(1)**, 86-92 (2007)
5. C. Angell, P.M. Kind, E.K. Henriksen, & O. Guttersrud: *An empirical-mathematical modelling approach to upper secondary physics.* Physics Education, **43(3)**, 256-264 (2008)
6. L.E. Gayetsky, & C.L. Caylor: *Measuring the Forces Between Magnetic Dipoles.* The Physics Teacher, **45(6)**, 348-351 (2007)
7. C. Angell, P.M. Kind, & E.K. Henriksen: *Implementation of empirical-mathematical modelling in upper secondary physics: Teachers' interpretations and considerations.* Nordina, Submitted (2008)

∞

Praktisk sensor- og halvlederteknologi til bruk i skolen

Nils Kr. Rossing *

I denne artikkelen skal vi se hvordan vi kan karakterisere transistorer og ulike sensorer, og hvordan vi kan bruke disse til å lage elektroniske detektorer. (Stoffet er hovedsakelig hentet fra referanse 1.)

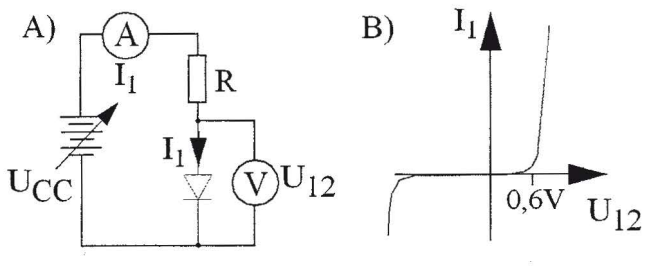
Karakterisering av komponenter

De fleste halvledere og sensorer kan betraktes som strømførende elementer hvor ledningsevnen bestemmes av ytre betingelser som strøm, spenning, lys, fuktighet, temperatur m.m. Det er vanlig å karakterisere slike komponenter ved hjelp av strøm-spenningskarakteristikker.

Dersom vi måler strømmen, I_1, gjennom komponenten som funksjon av spenningen, U_{12}, kan vi framstille sammenhengen i en strøm-spenningeskarakteristikk ved ulike ytre betingelser.

Dioden

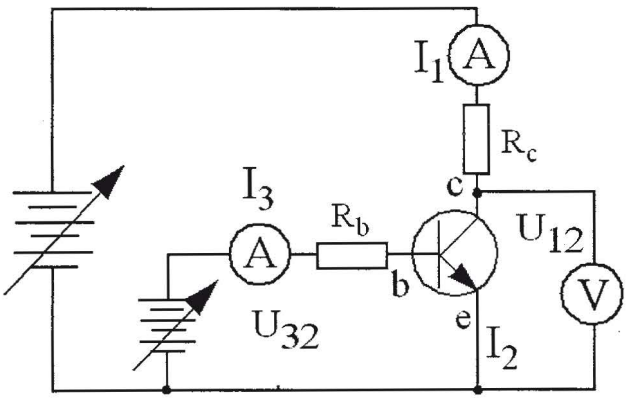
Dioden er en av de enkleste halvlederkomponentene. Figur 1A viser en praktisk oppkobling for karakterisering av en diode. Vi benytter en variabel spenningskilde (U_{CC}), som både kan gi positiv og negativ spenning, et voltmeter (V) og et amperemeter (A).



Figur 1. Måling av strøm-spenningskarakteristikken for en diode. A) Måleoppstilling, B) Strøm-spenningskarakteristikken.

*Skolelaboratoriet ved NTNU (*nils.rossing@plu.ntnu.no*)

Den målte karakteristikken (figur 1B) viser at spenningen over en silisiumdiode må være ca. 0,6 V før den begynner å lede; da stiger strømmen nær eksponentielt. Dersom vi legger en negativ spenning over dioden, vil det kun gå en svært liten strøm (lekkasjestrøm). Blir den negative spenningen stor nok, bryter diodens sperreegenskaper sammen og lekkasjestrømmen i sperreretningen øker ukontrollert.



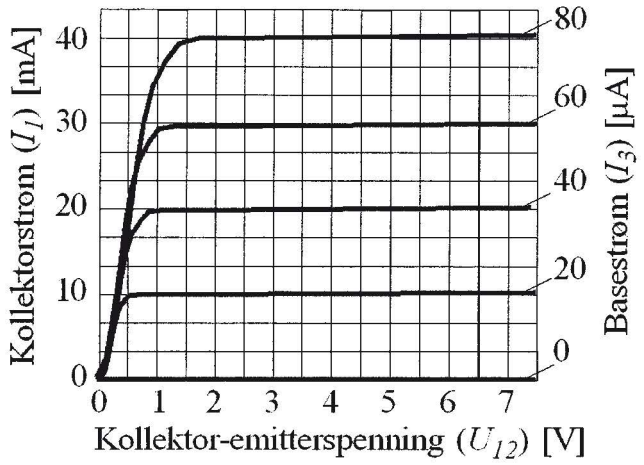
Figur 2. Måling av strøm-spenningskarakteristikken for en transistor.

Transistoren

Transistorer kan være både strøm- og spenningsstyrte. Her skal vi kun se på strømstyrte transitorer (figur 2).

Vi tenker oss at vi justerer base-emitter-spenningen (U_{32}) slik at det flyter en strøm (I_3) på 20 mA inn i basen. Så måler vi kollektor strømmen (I_1) som funksjon av kollektor– emitterspenningen (U_{12}) (se figur 2). Vi vil da se at kollektorstrømmen (I_1) stiger raskt i begynnelsen for deretter å flate ut og endre seg lite med kollektor- -emitterspenningen (U_{12}). Gjør vi målinger med forskjellig basestrøm, får vi en kurveskare som vist på figur 3.

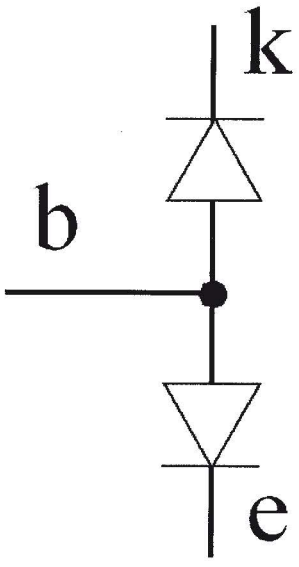
Vi ser at nivået til kollektorstrømmen avhenger av basestrømmen, og at forholdet mellom kollek-



Figur 3. Typisk strøm-spenningskarakteristikk for en transistor.

torstrømmen (I_1) og basestrømmen (I_3) i dette tilfellet er ca. 500. Denne verdien kalles transistorens strømforsterkning (h_{FE}).

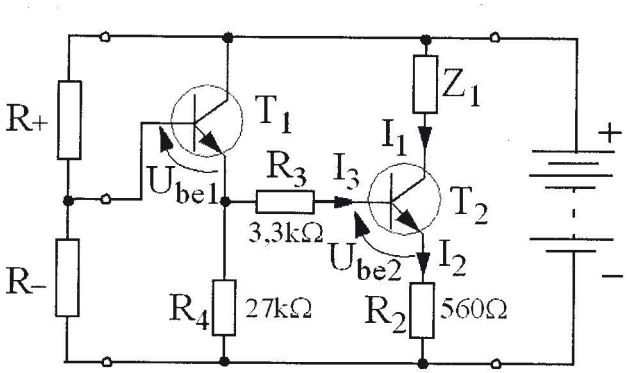
I prinsippet består transistoren av to dioder koblet "rygg mot rygg", hvor basen er diodenes felles anode, som vist i figur 4. Basen er meget tynn. Når spenningen over base-emitterdioden passerer ca. 0,6 V, åpnes dioden og det "skyter" en strøm av elektroner fra emitter og inn i basen. Siden basen er så tynn, vil mesteparten av elektronene fortsette videre gjennom base-kollektordioden til tross for at denne er koblet i sperreretning. Størrelsen av kollektorstrømmen er bestemt av strømmen i basen, som i sin tur bestemmes av spenningen over base-emitterdioden.



Figur 4. Transistoren består i prinsippet av to dioder med en felles anode (basen).

Transistoren som bryter

Transistorer brukes grovt sett på to forskjellige måter: som strømstyrt bryter og som signalforsterker. Sistnevnte kan enten fungere som strøm-, spennings- eller effektforsterker. I denne artikkelen skal vi primært se hvordan vi kan bruke transistoren som en strømstyrt bryter.



Figur 5. Generell detektorkrets.

Vi tar utgangspunkt i en enkel to-transistors forsterker, som vist i figur 5. R_+ og R_- indikerer at disse kan være forskjellige typer sensorer avhengig av kretsens funksjon. Kretsens virkemåte kan kort forklares slik: Når base-emitterspenningen (U_{be1}) til T_1 overskrider ca. 0,6 V vil det begynne å flyte en liten strøm inn i basen. Dermed vil transistoren åpne slik at det går en større strøm gjennom transistoren fra kollektor til emitter og videre gjennom motstanden R_4 til jord. Dette medfører at emitterspenningen på T_1 heves, hvilket igjen gjør at spenningen på basen til T_2 heves tilsvarende. Når base– emitterspenningen (U_{be2}) til T_2 overskrider ca. 0,6 V, vil også transistoren T_2 åpne slik at det flyter en strøm gjennom Z_1 og R_2. Om vi velger Z_1 som en piezoelektrisk lydgiver, vil denne gi fra seg en summende lyd når den får tilstrekkelig spenning. Ved bruk av to etterfølgende transistorer (to trinn) øker vi kretsens følsomhet.

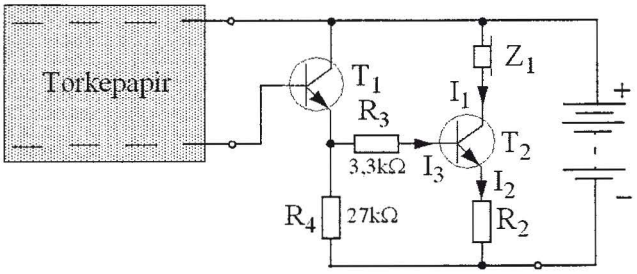
Passende verdier for motstandene (se figur 5) er $R_2 = 560\ \Omega$, $R_3 = 3,3\ \text{k}\Omega$ og $R_4 = 27\ \text{k}\Omega$. Transistoren kan være av typen $BC547B$ (som er en billig og meget brukt NPN-trnsistor), og batterispenningen kan være 4,5–9 V.

Lekkasjedetektor

La oss se hvordan vi med noen enkle grep kan lage en enkel vannlekkasjedetektor av kretsen i figur 5.

Her bruker vi begrepet detektor om en krets som gir respons (lydsignal) når måleverdien overskrider et gitt nivå.

I dette tilfellet fjernes R_-, mens R_+ erstattes av to ledninger som tres inn i et tørkepapir som utgjør sensoren (figur 6).



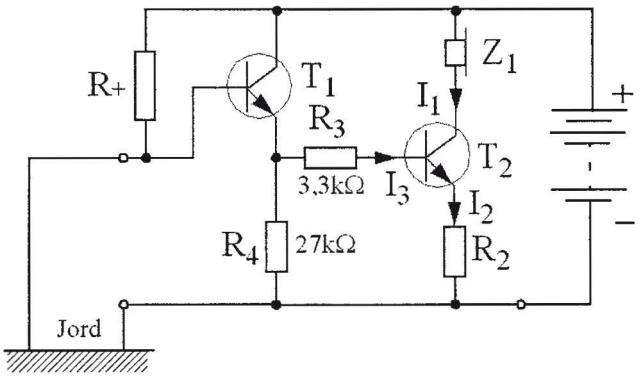
Figur 6. Skjema for en enkel detektor for vannlekkasje.

Så lenge tørkepapiret er tørt, vil det ikke flyte noen strøm inn i basen på transistoren T_1. Dermed går det heller ingen strøm i kollektoren og ingen alarm. I dette tilfellet er spenningen på emitteren nær 0 V, og hele batterispenningen ligger over transistoren fra emitter til kollektor ($U_{ce} = 9$ V). Drypper vi noen dråper vann på tørkepapiret, vil vannet trekke utover og skape en forbindelse mellom basen og den positive polen på batteriet. Selv om rent vann har svært få frie ioner, er det tilstrekkelig til å lede en ørliten strøm inn i basen slik at transistoren, T_1, åpner for en større strøm fra kollektor til emitter. Dette vil i sin tur åpne T_2 slik at alarmen går.

Tørkedetektor

I stedet for å detektere vannlekkasje, kan vi ønske å detektere uttørring av for eksempel blomsterjord. Dette vil være en aktuell og nyttig anvendelse i tørre sommermåneder for å hindre skade på planter. I så fall ønsker vi at kretsen gir signal, eller starter en pumpe, når jorda er uttørret. Vi tar igjen utgangspunkt i den generelle kretsen i figur 5.

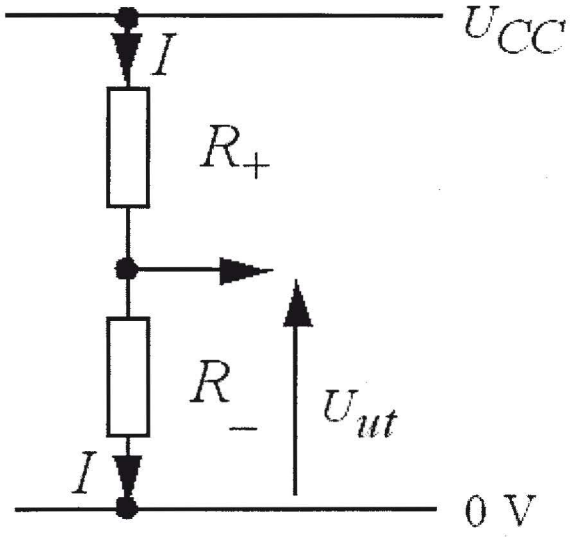
Denne gangen beholder vi R_+ som vi velger meget stor, 1 –10 MΩ. R_- erstattes av to ledninger som utgjør sensoren og stikkes ned i jorda (figur 7). Helt tørr jord leder svært lite strøm. Dermed vil R_+ til tross for sin store verdi, heve spenningen på basen slik at det går en liten strøm inn i basen og åpner transistor T_1. Dermed åpner også T_2, og kretsen varsler om tørke. Fuktig jord vil derimot "jorde" basen, og kretsen gir ingen alarm. Følsomheten bestemmes av størrelsen på R_+. Stor R_+ gir alarm først ved relativt tørr jord, mens liten R_+ gir alarm alt mens jorda er litt fuktig.



Figur 7. Skjema for en enkel detektor for tørke.

Spenningsdeleren

Ved hjelp av to motstander og en spenningsdeler kan vi frambringe en hvilken som helst spenning mellom 0 og forskyvningsspenningen, U_{CC} (figur 8).



Figur 8. Spenningsdeler.

Spenningen ut av spenningsdeleren (U_{32}) er gitt ved ligningen

$$U_{ut} = \frac{R_-}{R_+ + R_-} U_{cc} \qquad (1)$$

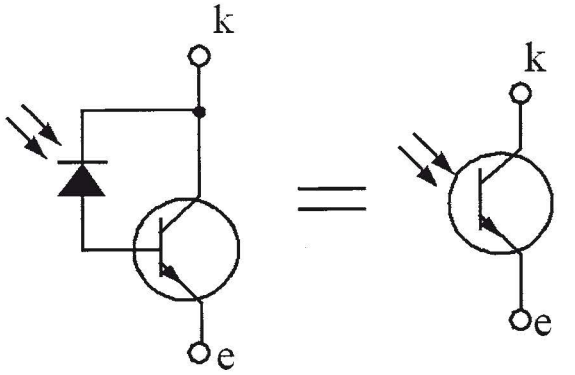
Ligning (1) framkommer ved at vi setter strømmen gjennom seriekoblingen av R_+ og R_- lik strømmen gjennom R_-. Vi kan da bruke Ohms lov og sette at $U_{cc}/(R_+ + R_-) = U_{ut}/R_-$. Vi ordner uttrykket og får ligning (1), som uttrykker sammenhengen mellom forskyvningsspenningen U_{cc} og U_{ut} som funksjon av motstandene R_+ og R_- i spenningsdeleren.

Vi skal se hvordan spenningsdeleren på inngangen av kretsen utgjør kjernen i flere ulike detektorer. La oss for eksempel se hvordan vi kan bruke den generelle kretsen i figur 5 til å detektere lys.

Fototransistor

Fototransistorer styres av lys i stedet for strøm. Styreterminalen (basen) er byttet ut med et vindu som slipper lys inn på halvledermaterialet. Ledningsevnen til fototransistoren endrer seg med lysintensiteten, og den er vanligvis følsom for synlig og infrarød stråling. Transistoren vil derfor kun ha to terminaler og ligner på en lysdiode.

Fototransistoren består av en fotodiode koblet i serie med basen på en transistor (figur 9). Transistoren forsterker strømmen som lekker gjennom i sperreretningen (lekkasjestrømmen) slik at komponenten blir mer følsom.

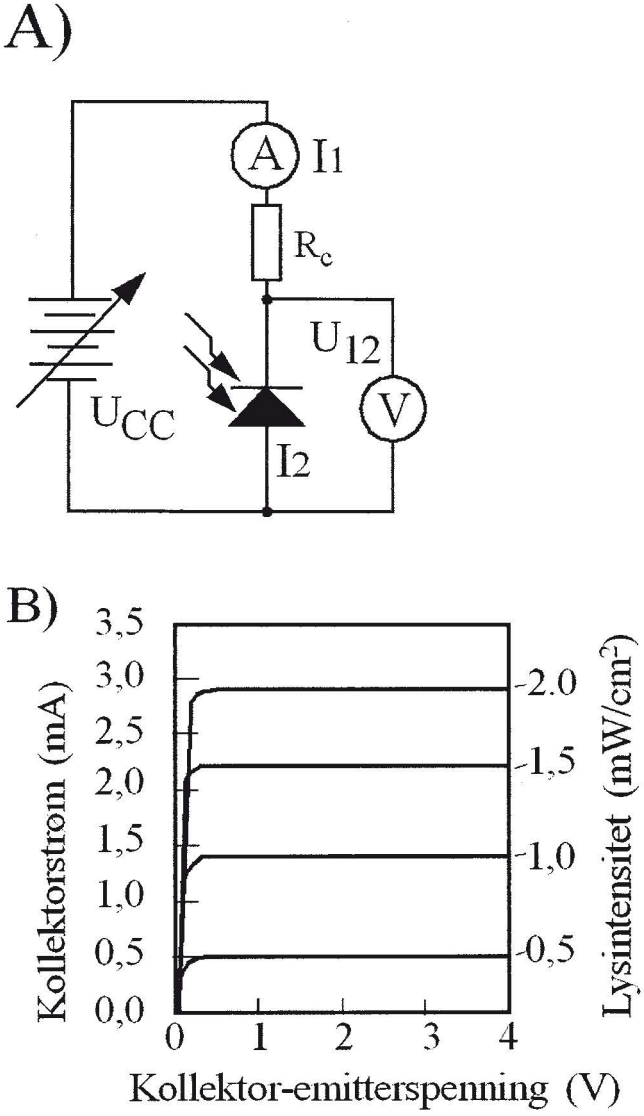


Figur 9. En fototransistor består av en fotodiode og en transistor.

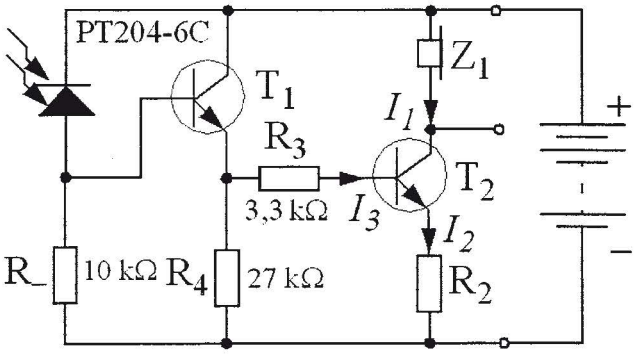
Figur 10A viser hvordan vi kan måle strøm-spenningskarakteristikken for en fototransistor ved ulik lysintensitet. Vi ser at karakteristikken (figur 10B) ligner mye på karakteristikken for en transistor, bare at basestrømmen er byttet ut med lysintensitet.

Figur 11 viser koblingsskjemaet for en lysdetektor med fototransistor (PT204-6C).[2] Vi har nå en krets som gir signal når det blir tilstrekkelig lyst i omgivelsene.

Noen ganger ønsker vi i stedet et varsel når det er blitt tilstrekkelig mørkt. Vi kan enkelt lage en "mørkedetektor" ved å sette fototransistoren mellom basen (T_1) og jord, og en passende motstand (R_+) mellom basen (T_1) og pluss. Slike "mørkedetektorer" blir brukt for å tenne gatebelysningen ved mørkets frambrudd. Skal detektoren brukes på denne måten, må også lydgiveren (Z_1) byttes ut med en elektronisk styrt bryter (relé) som kan bryte høyere spenninger (230 V).



Figur 10. Karakterisering av fototransistoren.
A) Måleoppstilling, B) Strøm-spenningskarakteristikken.



Figur 11. Skjema for en enkel lysdetektor.

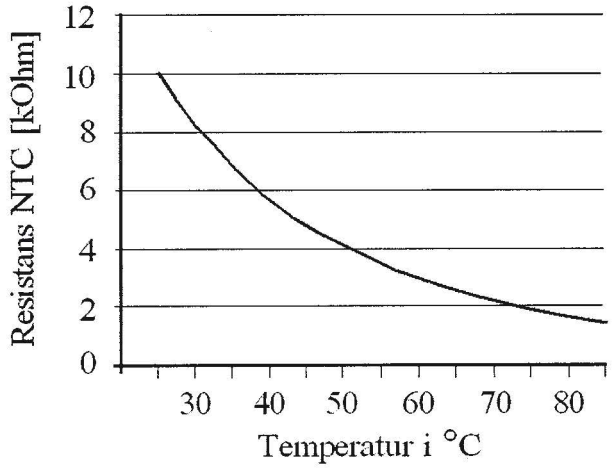
Termistor

De fleste motstandsmaterialer endrer resistans med temperaturen. Som regel er dette uønsket, men i noen tilfeller ønsker man nettopp en slik effekt, og utformer komponenten og materialet deretter. Slike motstander brukes i forbindelse med måling eller deteksjon av temperaturendringer eller til å motvirke uønsket temperaturdrift i elektronisk utstyr. De går under fellesbetegnelsen termistorer.

Vi har i hovedsak to typer termistorer: NTC med negativ temperaturkoeffisient (dvs. at resistansen avtar med økende temperatur), og PTC med positiv temperaturkoeffisient (dvs. at resistansen øker med økende temperatur).

NTC-motstander er vanligsvis polykrystalinske halvledere framstilt av en blanding av krom, mangan, jern, kobolt og nikkel, som sintres sammen med et plastisk bindemiddel. (Sintring betyr at metallpulver bindes sammen til en fast masse ved oppvarming uten å smelte.)

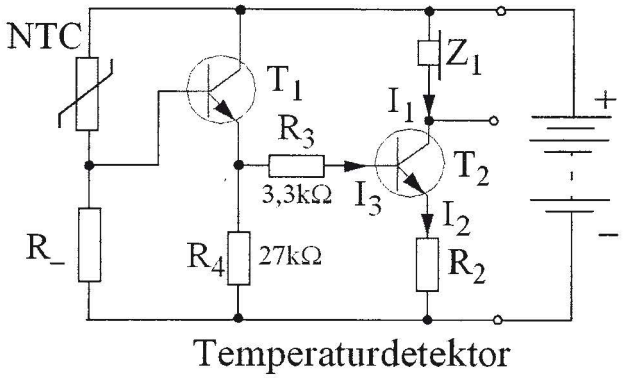
Figur 12 viser resistansen som funksjon av temperaturen for en typisk NTC-motstand (RH16).[3]



Figur 12. Resistans som funksjon av temperatur for en NTC-motstand.

Strøm-spenningskarateristikken for en termistor kan lett tas opp for ulike temperaturer. Den enkleste måten å kontrollere temperaturen på er å dyppe termistoren i vann som holder ønsket temperatur. (En må da sørge for at termistorbeina er godt isolert fra vannet.) En kan også forenkle målingen ved å bruke et Ohm-meter og direkte sette opp sammenhengen mellom resistans og temperatur, som vist i figur 12.

Ved passende valg av $R_{_}$ kan vi lage en enkel temperaturdetektor som gir alarm når temperaturen overskrider et bestemt nivå gitt av verdiene på NTC-motstanden og $R_{_}$ (figur 13).

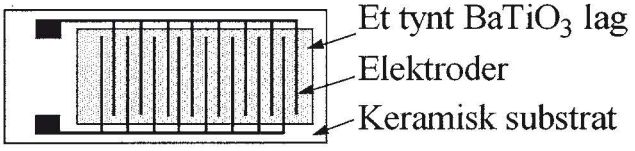


Figur 13. Skjema for en enkel temperaturdetektor.

Deteksjon av luftfuktighet

Det finnes en rekke ulike prinsipper for måling av luftfuktighet.

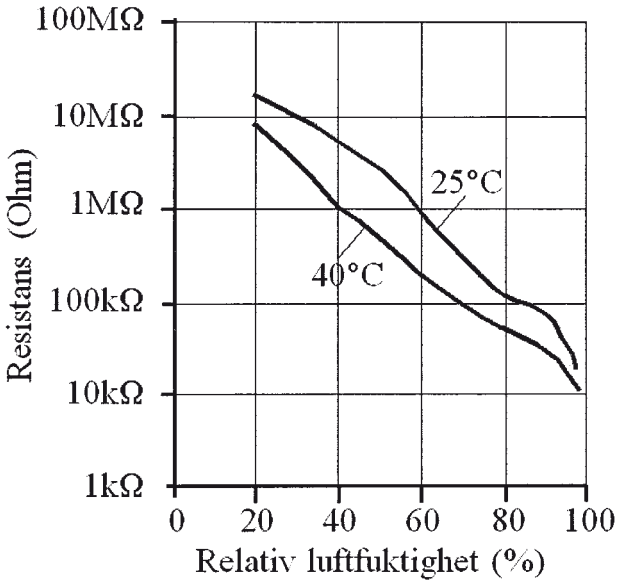
Sensorer for måling av relativ luftfuktighet er ofte framstilt av et isolerende keramisk materiale med fingerelektroder, som vist på figur 14. Elektrodene dekkes med et kjemisk stoff som endrer resistansen som funksjon av luftfuktigheten som trekker inn i materialet. Materialet kan for eksempel være $BaTiO_3$. Det hele monteres i et perforert plastdeksel.[4]



Figur 14. Oppbygging av en fuktighetssensor.

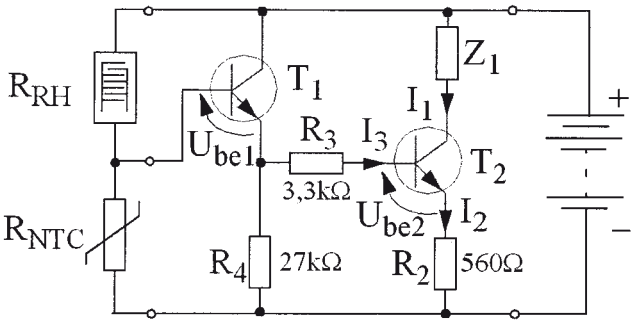
Den største utfordringen ved å karakterisere en slik sensor er å kontrollere den relative fuktigheten i omgivelsene. Dersom en klarer det, vil en kunne måle en sammenheng mellom relativ fuktighet og resistans.[5]

Figur 15 viser at sammenhengen mellom resistans og relativ luftfuktighet er ulineær. Dessuten ser vi at resistansen faller med økende temperatur. Dette er ikke urimelig da vi vet at relativ luftfuktighet varierer med temperaturen. (Luft med f.eks. 40 % relativ fuktighet, vil inneholde mer vann ved 50 °C enn ved 25 °C.) Det ideelle ville være at sensoren hadde kompensert for variasjonen over temperaturområdet slik at vi kunne avlese riktig verdi for relativ fuktighet uavhengig av temperaturen. Dette er mulig ved å benytte en NTC-motstand (termistor) som endrer verdi med temperaturen på en slik måte at den kompenserer for



Figur 15. Fuktighetssensorens resistans som funksjon av relativ luftfuktighet for 25 og 40 °C.

avvikene (figur 16). (Databladet for H25K5A[5] anbefaler en termistor (NTC-motstand, RH16) på 50 kΩ ved 25 °C.) Legg merke til hvordan luftfuktighetssensoren danner en spenningsdeler på inngangen til kretsen (figur 15).



Figur 16. Skjema for en enkel detektor for høy luftfuktighet.

Konklusjon

Komponentene som er benyttet i disse koblingene er alle billige og lett tilgjengelige slik at det kan være mulig å benytte dem i undervisningen både for å la elevene karakterisere sensorer og å bygge opp ulike detektorer. Nøyaktig karakterisering vil imidlertid i enkelte tilfeller kreve utstyr ut over det som er mulig å skaffe til skolebruk (lysintensitetsmåler og fuktighetsmålere). Dette er imidlertid ikke til hinder for at en kan gjøre målinger som indikerer virkemåten til sensorene.

Referanser

1. N.K. Rossing: *Grunnleggende elektronikk og sensorteknikk.* Skolelaboratoriet, NTNU, høsten (2008)
2. Internett: *http://www.elfa.se/pdf/75/07520323.pdf/* Datablad for fototransistor, PT204-6C
3. Internett: *http://www.elfa.se/pdf/60/06027916.pdf/* Datablad for NTC-motstand, RH16
4. R. Wagiran, W.S. Wan Zaki, S.B. Mohd Noor, A.H. Shaari and I. Ahmad: *Characterization of screen printed $BaTiO_3$ thick film humidity sensor.* International Journal of Engineering and Technology, **2**, No. 1, 22-26 (2005) *http://eng.upm.edu.my/ ijet/04v2n1.pdf*
5. Internett: *http://www.elfa.se/pdf/73/730/07302665.pdf/* Datablad for fuktighetssensor, H25K5A

∞

Husk adresseforandring!

Studér fysikk!

Simuleringer i fysikkundervisningen

Tore Ottinsen *

Å kunne bruke digitale verktøy er en av Kunnskapsløftets grunnleggende ferdigheter også i fysikk. Læreplanen sier at det bl.a. betyr å anvende animasjoner og å simulere fenomener og forsøk som det ellers er vanskelig å studere.

Hva er en simulering?

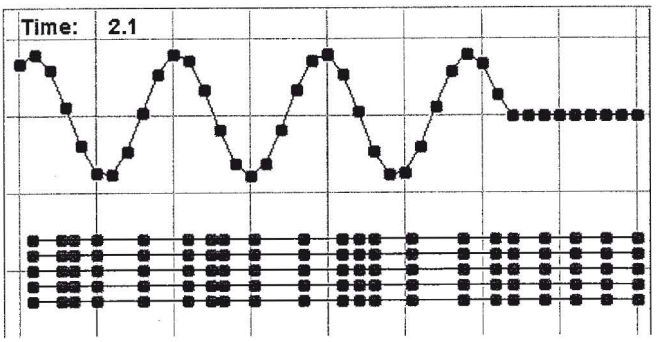
Å simulere noe i fysikk betyr å etterligne en fysisk prosess eller et fenomen ved hjelp av matematiske likninger som løses. I dag foregår nesten alle simuleringer på datamaskin. Ofte er simuleringen en forenklet modell av virkeligheten. Mange simuleringer er dynamiske, hvor resultatene framstilles som en animasjon og/eller som grafer eller tabeller med tiden som uavhengig variabel.

Simuleringsprogrammer som er av interesse i fysikkundervisningen kan klassifiseres etter ulike kriterier. Noen er ganske enkelt animasjoner som kjøres uten noen form for interaktivitet. I andre er det mulig å variere parametere og studere hvilken virkning det har. De fleste tar bare for seg et spesifikt emne i fysikken, mens noen kan simulere mange ulike prosesser. Det finnes også verktøyprogrammer hvor brukeren kan bygge sine egne simuleringer. Mange simuleringsprogrammer må kjøres i en nettleser, mens andre er frittstående. Det finnes både gratisprogrammer og kommersielle produkter.

Eksempler på simuleringer

En fysikklærer som vil finne simuleringer ved hjelp av Internett må sette av godt med tid. Søkefraser som "physics simulation", "physics simulation software" eller "java applet physics" gir til sammen kanskje hundre interessante lenker, mange av dem sender oss videre til nye nettsteder. Når en sjekker simuleringene, viser det seg at de fleste ikke er relevante for norske læreplaner, eller ikke er gode nok til at de kan forsvare tidsbruk i undervisningen. Dessverre har jeg ikke oppdaget noen lenkesamlinger som kan brukes slik de står. Samtidig dukker det stadig opp nye programmer. Problemet blir altså å finne "smaragder" blant all "gråsteinen". Nedenfor vil jeg gi en kort omtale av noen av de "smaragdene" som jeg har funnet som jeg tror kan gjøre god nytte for seg i Fysikk 1 og Fysikk 2. Det kan være lurt å legge lenker til egne "smaragder" i fysikkrommene i skolens læringssystem (ClassFronter, It's Learning ...) slik at de er lett tilgjengelige.

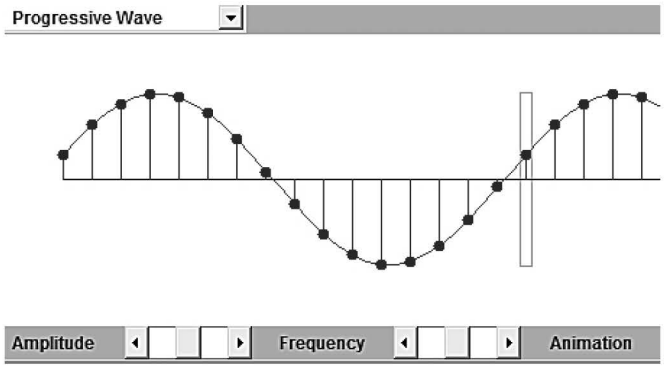
Figur 1 er et øyeblikksbilde av en animasjon som viser hvordan en tvers- og en langsbølge oppstår ved at partikler som er brakt ut av likevekt "drar i" nabopartikler.(1) Dette kan være vanskelig å visualisere bare ved å lese om det. Et viktig poeng ved gode animasjoner er at de kan kjøres skrittvis og stoppes slik at det blir mulig å følge godt med på det som skjer, slik det kan gjøres med denne.



Figur 1. Denne simuleringen viser hvordan en tvers- og en langsbølge brer seg utover ved at partikler som er brakt ut av likevektsposisjoner påvirker nabopartikler.

Simuleringen i figur 2 viser tydelig hvordan partiklene i en tversbølge beveger seg opp og ned med samme frekvens, men i ulike faser.(2) Når den kjører, kan vi bl.a. se at hvis vi øker frekvensen, så avtar bølgelengden. (Av og til tar det en god stund etter

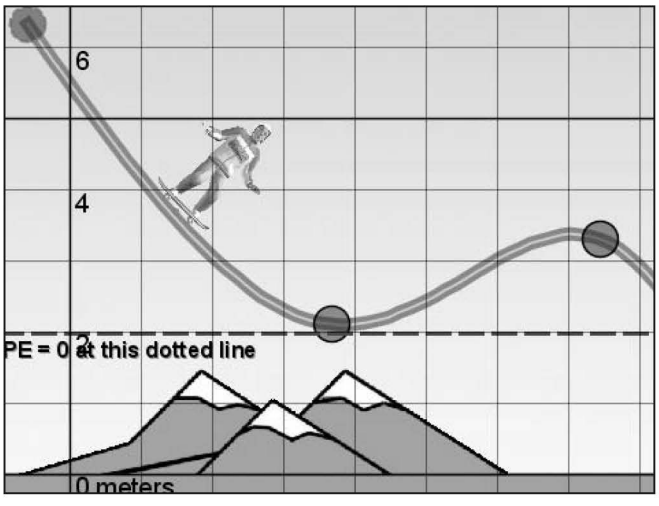
* Hellerud videregående skole, Oslo



Figur 2. Simuleringen viser hvordan partiklene beveger seg i en tversbølge, og kan også illustrere sammenhengen mellom frekvens og bølgelengde.

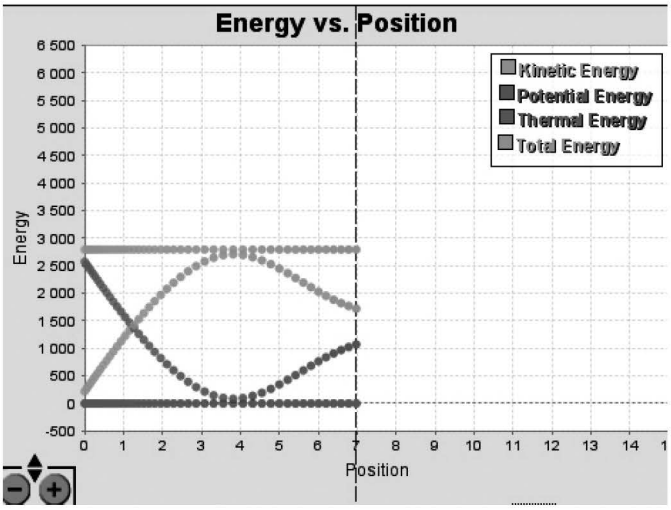
innlasting før simuleringen starter!) Denne simuleringen kan også brukes for å illustrere og utlede sammenhengen $v = \lambda f$.

Energy skate park[3] er en av mange fullskjerms javasimuleringer med avansert grafikk fra *Physics Education Technology*-prosjektet (PhET) til University of Colorado. Den passer godt for å studere vekslingen mellom kinetisk og potensiell energi. Eleven kan sette opp sin egen rullebrettbane og slippe løs en kjører. Bevegelsen kan foregå med eller uten friksjon. Lengder kan måles med et virtuelt målebånd. Figur 3 og figur 4 viser to utsnitt av et skjermbilde.

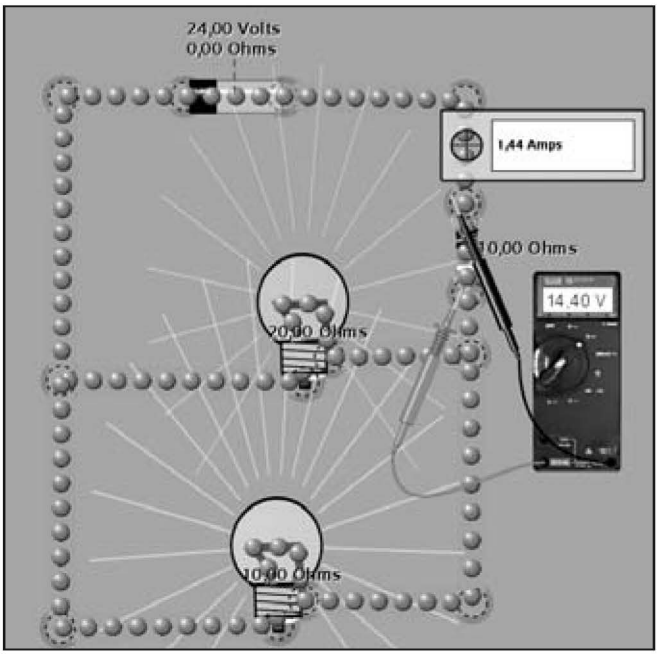


Figur 3. Utsnitt av en simulering som gjør det mulig å studere energiforandringer når en rullebrettkjører forandrer posisjon i en brukerkonstruert bane. Nullnivået for potensiell energi ligger i den prikkede linjen og kan forandres.

Figur 5 viser utsnitt av skjermen i en annen glimrende simulering fra PhET.[4]. Her har brukeren utallige muligheter for å koble opp og gjøre målinger på virtuelle elektriske kretser. Kulene forestiller elektroner, og de beveger seg i de ledningene som er en del av en sluttet krets.

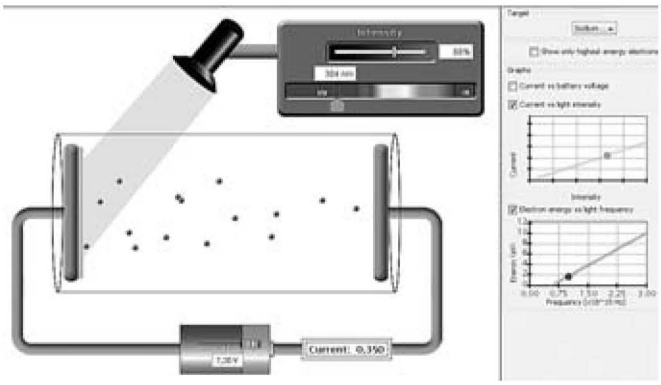


Figur 4. Grafer som viser hvordan den kinetiske, potensielle og indre energien samt totalenergien varierer når rullebrettkjøreren i simuleringen i figur 3 beveger seg. Posisjonen til rullebrettkjøreren går langs x-aksen.



Figur 5. En simulering av to parallellkoblede lyspærer i serie med et batteri og en motstand. Batterispenningen og resistansene kan endres og resultatet avleses på virtuelle ampere- og voltmetere. På figuren har batteriet en polspenning på 24 V. Resistansen til den øverste pæren er 20 ohm og til den nederste 10 ohm. Voltmeteret viser en spenning på 14,40 V over en motstand på 10 ohm, mens strømmen i kretsen er 1,44 A.

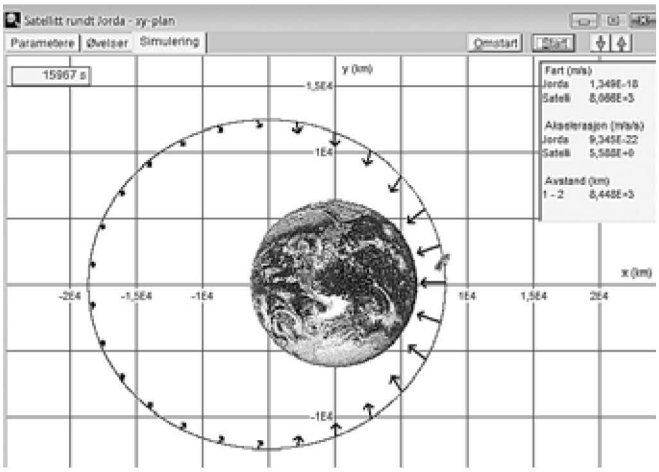
Mange elever har problemer med å holde styr på det eksperimentelle grunnlaget for Einsteins forklaring på fotoelektrisk effekt, som blant annet besvarelsene i årets privatisteksamen i 3FY viste. I simuleringen i figur 6 kan eleven endre på intensiteten og bølgelengden for lys som bestråler ett av flere metaller, og studere hva som skjer med mengden av, og hastigheten til, løsrevne elektroner.[5] Det er også mulig å samle denne informasjonen i grafer.



Figur 6. En simulering av fotoelektrisk effekt. Det kan velges hvilket metall lyset faller på. Intensiteten og bølgelengden på det innfallende lyset kan endres, og virkningen på de løsrevne elektronene studeres. Grafene viser hvordan strømmen i kretsen endrer seg når lysintensiteten på metallet økes, og energien til de løsrevne elektronene som funksjon av frekvensen til lyset.

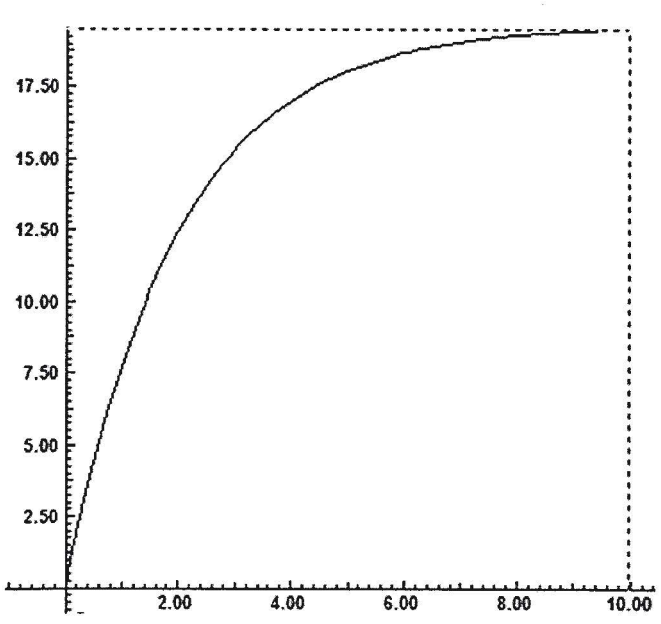
GravSim[6] er et frittstående Windows-program som kan simulere hvordan himmellegemer beveger seg. Massene, radiene og x-, y- og z-komponentene til posisjoner og hastigheter til opptil ni legemer legges inn. Programmet simulerer så hvordan legemene beveger seg under innflytelse av innbyrdes gravitasjonskrefter. En kan velge å vise hvordan tid, avstand, fart, akselerasjon og energi endrer seg. GravSim kan også vise farts- og akselerasjonsvektorer. Det inkluderer mange ferdige simuleringer som kan modifiseres, eller brukeren kan lage sine egne fra bunnen av.

Figur 7 viser et eksempel på en enkel GravSim-simulering. Programmet kan for eksempel brukes til å eksperimentere med hva som skjer med en satellittbane når hastigheten eller avstanden endres. For mange elever vil det være spennende å la GravSim vise om de har regnet riktig i en gravitasjonsoppgave. Går raketten så høyt som den skulle ifølge beregningene? En unik mulighet er å studere de komplekse banene som et mangelegemesystem kan oppvise. Hva kunne skje med jordas bane hvis en fremmed stjerne kom inn i solsystemet?



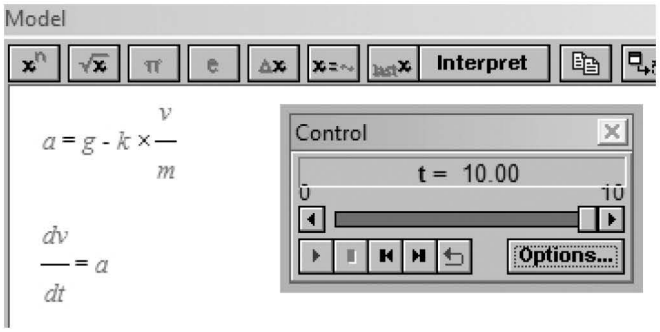
Figur 7. GravSim simulerer bevegelsen til himmellegemer som påvirker hverandre med gravitasjonskrefter. Figuren viser en satelittbane rundt jorda med akselerasjonsvektorer og momentane verdier av tid, fart, akselerasjon og avstand.

Modellus[7] er et veletablert gratisprogram som kan modellere alle slags dynamiske prosesser ved at brukeren legger inn likninger som programmet løser, og så framstiller løsningene grafisk på forskjellige måter. Figur 8 viser en simulering av farten ved fall med luftmotstand. Figur 9 viser likningene som jeg la inn som grunnlag for denne simuleringen. Dette er innenfor hva det forventes at elever i Fysikk 1 skal forstå, og er også en differensiallikning som de skal kunne løse analytisk i Matematikk R2. Grafen viser, som ventet, at farten



Figur 8. En simulering i Modellus av farten i m/s som funksjon av tiden i sekunder for et fall med luftmotstand. Likningene som ligger til grunn for simuleringen er vist i figur 9.

nærmer seg en terminalfart. Dette programmet har høyere brukerterskel enn de andre som er nevnt, og passer nok best til interaktiv lærerdemonstrasjon eller som ekstrautfordring til spesielt flinke elever.



Figur 9. Et utsnitt av skjembildet i Modellus som viser likningene som kan legges inn for å simulere fall med luftmotstand. Her er a akselerasjonen, v farten og m massen til gjenstanden som faller. g er tyngdeakselerasjonen og k en konstant som bestemmer luftmotstanden. Verdiene til g, k og m legges inn i et eget vindu som ikke er vist på figuren. I det lille vinduet har vi bestemt at likningene skal løses i tidsintervallet 0–10 s.

Hvorfor bruke simuleringer?

Fysikkelever må selvfølgelig fremdeles utføre eksperimenter med reelle objekter og måleinstrumenter. Men en del forsøk som kunne være interessante å gjøre krever for dyrt utstyr, eller de er for kompliserte eller tidkrevende å utføre. Da er det fint å kunne utføre virtuelle forsøk med for eksempel halvledere eller fotoelektrisk effekt i tillegg til bare å lese om det.

Mitt subjektive inntrykk er at i en del tilfeller kan elevene faktisk få større læringsutbytte av å eksperimentere og observere i et dataprogram enn ved å gjøre et tilsvarende virkelig forsøk, selv om forsøket er både billig og forholdsvis enkelt å utføre. En årsak kan være at de ikke blir distrahert av tekniske problemer eller irrelevante faktorer. En annen kan være at noen simuleringer gjør det lettere å visualisere "usynlige" begreper som er sentrale for å forstå forsøket (for eksempel bølgelengde, strøm, elektroner og fotoner). Det kan også tenkes at det er lettere å holde tråden i forsøket fordi det er raskere å utføre på skjermen enn i virkeligheten.

En stor fordel med mange simuleringer er muligheten til raskt å endre parametere og observere hva som skjer. Data kan automatisk samles inn og presenteres som grafer. Elevene kan så legge innsats i å tolke grafene istedenfor å legge mye krefter i å lage egne grafer (selv om de bør mestre den ferdigheten også).

Noen simuleringer kan brukes som kontroll av tradisjonelle regneoppgaver. Istedenfor å slå opp i fasit etter å ha beregnet kastlengden i et skrått kast, kan det være mer spennende å legge inn utgangsfart og vinkel i et dataprogram og sammenligne programmets bane med egne beregninger. Aller mest spennende vil det sikkert være å sette opp kastet eksperimentelt, men dette er tid- og ressurskrevende og vanskelig å få nøyaktig.

På dataskjermen går det også an å gjennomføre "umulige" forsøk, for eksempel å tukle med kontrollstavene i en kjernereaktor eller å endre jordas fart i sin bane. Dette kan gi elevene ny innsikt.

Hvordan bør simuleringer brukes?

Alle fysikklærere i Norge har vel i dag tilgang til PC og videoprojektor. Noen enkle animasjoner er det naturlig å flette inn i en lærerpresentasjon for å illustrere et poeng hvor lærerens tegne- og fortelleferdigheter lett kommer til kort. Animasjonen bør som regel kjøres flere ganger, og læreren bør gi elevene god tid til å fordøye det de ser.

Under kjøring av litt mer kompliserte simuleringer, for eksempel bølgeprogrammet i figur 2, bør elevene involveres i stor grad. Elever kan komme fram og peke på amplitude og bølgelengde, og de kan beregne frekvensen ved hjelp av stoppeklokke. Spørsmål kan stilles og hypoteser testes: Hva vil skje med bølgelengden hvis vi øker frekvensen? Utbyttet øker hvis simuleringen kan repeteres i neste time, for eksempel ved at elevene får simuleringen i "lekse".

Til mer omfattende simuleringer bør det knyttes både for- og etterarbeid. Under forarbeidet bør læreren gi en kort demonstrasjon av simuleringen slik at elevene har sett brukergrensesnittet, blitt gjort oppmerksomme på eventuelle særegenheter, og vet hva som kan gjøres med den. Før de begynner å jobbe på egen hånd, vil det vanligvis være gunstig å gi dem en liten bruksanvisning og differensierte oppgaver, både strukturerte og åpne.

Mange elever har hastverk når de sitter ved en PC, og derfor er det viktig at læreren greier å tvinge dem til å senke farten og reflektere over det som skjer. Det kan for eksempel skje ved at elevene skriver en rapport på hva de gjør og de konklusjoner de trekker.

Hvis tiden strekker til, vil utbyttet av simuleringen ofte bli vesentlig større med felles etterarbeid i

klassen. Elevenes resultater kan diskuteres i plenum og hovedpoengene kan understrekes. Repetisjon er all kunnskaps mor!

Referanser

1. *http://physics.bu.edu/~duffy/semester1/c20_wave_propagation_sim.html*
2. *http://www.mta.ca/faculty/science/physics/suren/Twave/Twave01.html/*
3. *http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=Energy_Skate_Park/*
4. *http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=Circuit_Construction_Kit_DC_Only/*
5. *http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=Photoelectric_Effect/*
6. *http://www.lokus.no* (GravSim er del av nettstedet til læreboka Ergo Fysikk 2.)
7. Internett: *http://modellus.fct.unl.pt/*

∞

Behov for etterutdanning av fysikklærere

Rolf V. Olsen * *og Ellen Henriksen* * *

Læreryrket krever solid teoretisk og praktisk dyktighet på mange felt. Denne kompetansen kan en ikke tilegne seg én gang for alle i en grunnutdanning siden fagene endrer seg stadig. Dette tilsier at lærere bør delta i et kontinuerlig etter- og videreutdanningsløp. Situasjonen for etterutdanning blant fysikklærere ble forsøkt kartlagt gjennom fysikklærerundersøkelsen i 2006.

Fysikklærerundersøkelsen 2006

Fysikklærerundersøkelsen ble gjennomført våren 2006 i et rimelig tilfeldig utvalg av fysikklærere. Én fysikklærer fra alle skoler som tilbyr fysikk til sine elever, ble invitert til å svare på et spørreskjema om ulike forhold ved faget. 114 lærere svarte på skjemaet. De representerte mellom 30 og 40 % av skolene med fagtilbud innen fysikk. Tidligere er alders fordelingen og den framtidige "beholdningen" av fysikklærere blitt drøftet i FFV basert på data fra denne undersøkelsen.(1) I det følgende vil vi rapportere hva lærerne selv sier om etter- og videreutdanning knyttet til fysikkfaget. (Etterutdanning gir ikke formell kompetanse i form av studiepoeng/vekttall. Videreutdanning derimot, *gir* slik kompetanse, og gis gjerne i form av kurs med obligatoriske innleveringer og eventuelt avsluttende eksamen.) Vi vil heretter kun bruke ordet etterutdanning siden dette vil dekke det meste av de kurs og andre utdanningsaktiviteter som lærerne deltar i som en del av sin jobb.

Dagens etterutdanningstilbud

Fysikklærerne får i dag tilbud om ulike former for etterutdanning, og flere universiteter gir slike tilbud. Hvert år i november arrangerer eksempelvis Skolelaboratoriet for fysikk ved Fysisk institutt, UiO, et svært populært kurs på en uke. Forlagene har tradisjonelt vært sentrale ved at de ofte tilbyr én eller todagers kurser i forbindelse med lansering av læreverkene. I tillegg prioriterer Landskonferansen for fysikkundervisning å ha bidrag som av mange blir oppfattet som etterutdanning. Det finnes også nettverk av lærere som formelt eller uformelt er organisert i ulike fylker/regioner i landet. Samlingen på Dombås i 2007 for fysikklærere i omkringliggende fylker, er et godt eksempel på et slikt uformelt nettverk som møtes jevnlig. Høsten 2007 arrangerte også Fysikklærerforeningen en tur

* ILS/UiO; ** Fysisk institutt, UiO.

til CERN som ga mer enn 30 lærere et direkte møte med forskningsfronten i faget.

I de siste årene har det også vært økende etterspørsel etter "skreddersydde" kurs bestilt av den enkelte skole eller region. Slike kurs gis av flere universitets- og høyskolemiljøer omkring i landet, og det er naturlig nok kursing i de nye elementene i læreplanen som er mest etterspurt. Dette betyr at relativt mange fysikklærere har hatt muligheten til å delta i en eller flere former for etterutdanning i perioden som er gått siden de nye læreplanene ble innført.

Deltakelse i etterutdanning

I Fysikklærerundersøkelsen i 2006 ble lærerne bedt om å svare på flere spørsmål knyttet til etterutdanning. Tabell 1 viser andelen lærere som rapporterte å ha deltatt på ulike former for etter eller videreutdanning.

Én av fem fysikklærere hadde i toårsperioden forut for undersøkelsen deltatt i en eller annen form for etterutdanning relatert til fysikkfaget. Hvorvidt dette er et høyt eller lavt tall er vanskelig å si. Det er imidlertid interessant å registrere at hele 70 % av lærerne rapporterte at de kunne tenke seg å delta på mer etterutdanning knyttet til fysikkfaget enn de allerede gjorde.

Tabell 1 illustrerer også godt at fysikklæreren har mange andre ansvarsområder på skolen. Det er kanskje urealistisk å forvente at en lærer kan delta i flere etterutdanningstilbud i løpet av en toårsperiode. Kun 25 % av lærerne i undersøkelsen rapporterte at de hadde deltatt på etterutdanning i mer enn ett av områdene det ble spurt om. Tabell 1 viser at omtrent like mange av fysikklærerne hadde deltatt i andre former for etterutdanning, for eksempel knyttet til matematikkfaget, mer allmenn etterutdanning knyttet til læring/undervisning eller etterutdanning rettet mot ledelse og administrasjon. De vi tenker på som fysikklærere er altså ikke bare det. Dette er nok et viktig element i forklaringen på hvorfor ikke flere fysikklærere har deltatt i etterutdanning innen faget. Men hele 47 % av lærerne i undersøkelsen indikerte at de ikke hadde deltatt i noen form for etterutdanning i denne toårsperioden. Det er altså ikke nok å ha et tilbud. Noen lærere vil, eller kan, av ulike årsaker likevel ikke delta i etterutdanningen. Dersom målet er at flere lærere skal delta i etterutdanning, bør vi derfor vite noe mer om årsakene til at mange lærere ikke deltar.

Tabell 1. Andel lærere som i 2006 rapporterte å ha deltatt i ulike former for etter- eller videreutdanning i løpet av de siste to årene (N = 114).

Fagområde	Andel
Fysikk/fysikkdidaktikk	21 %
Matematikk/Matematikkdidaktikk	22 %
Kjemi/kjemididaktikk	3 %
Naturfag/naturfagdidaktikk	7 %
Generell etterutdanning rel. læring/undervisning	18 %
Ledelse/rådgivning/administrasjon	16 %
Annet	9 %

Hvorfor lærerne ikke deltar

Lærerne ble også bedt om å beskrive med egne ord hva som er årsaken til at de ikke deltar på nok etterutdanning. 70 lærere oppga en eller flere grunner til dette. Tabell 2 gir en oversikt over de vanligste grunnene lærerne oppga. I denne tabellen er de åpne svarene blitt grovsortert, men det er klart at dette ikke er gjensidig utelukkende kategorier.

Tabell 2. Lærernes grunner for at de ikke deltar nok på etterutdanning (N = 70).

Årsak	Andel
Manglende tilbud	36 %
Manglende tid	36 %
Manglende vikar	27 %
Manglende økonomiske ressurser	26 %
Elevene blir skadelidende	9 %

Tabell 2 viser at svært mange lærere peker på manglende ressurser i en eller annen form. Mange fysikklærere melder at de ikke har tid til å delta på etterutdanning, eller at de ikke får vikar i sitt fravær. Flere av disse gir også svar som viser at det er kombinasjonen av dette som gjør det vanskelig å delta i etterutdanning. Helt eksplisitt påpeker en del av disse lærerne at 3FY er et krevende kurs, og at det forsvinner mange timer fra før. Når de dermed ikke får vikar ved fravær, blir det umulig å delta på etterutdanningskurs. Det er også mange fysikklærere som påpeker at etterutdanningstil budene er så langt unna at det medfører lang reisevei

og store kostnader knyttet til dette. Det er relativt mange av dem som i tabell 2 er telt opp under *manglende tilbud* som peker nettopp på behovet for å ha kurs i nærområdet. I tillegg til at kursene var langt unna ble etterutdanningstilbudet vurdert som mangelfullt av noen fordi det gikk over for mange dager, det hadde ikke direkte relevans for undervisningen og/eller de savnet nettbaserte løsninger.

Etterutdanning og ny læreplan

I Fysikklærerundersøkelsen ble lærerne videre spurt om i hvilken grad de følte behov for etterutdanning innen spesifikke fysikkfaglige emner som et resultat av ny læreplan i faget. Emnene eller temaene som var inkludert i undersøkelsen, ble valgt fordi de i større eller mindre grad ble endret som en følge av den nye læreplanen. Alle spørsmålene ble innledet med "I hvilken grad føler du et behov for etterutdanning...", og tabell 3 gir resten av teksten i spørsmålene. Lærerne kunne velge mellom å svare "i stor grad", "i noen grad" eller "ikke behov i det hele tatt". Andelene i tabell 3 er oppgitt som prosenter av hvor mange som svarte "i stor grad" eller "i noen grad". For å være mer presis gir tabell 3 de prosentandelene man får når de som svarte "i stor grad" gis dobbelt vekt. For hvert av spørsmålene er andelene beregnet ut fra hvor mange av lærerne som i det hele tatt ga et svar på spørsmålet. Dette varierte fra 98 til 103 av de totalt 114 lærerne som deltok i undersøkelsen.

Det primære budskapet fra tabell 3 er at fysikklærere føler et stort behov for spesifikk etterutdanning. Vi ser også at det er innen de mer praktisk rettede sidene ved faget at det rapporteres om størst behov for etterutdanning. Det som er noe overraskende er at flere av områdene hvor det rapporteres om et stort etterutdanningsbehov har vært en del av faget siden 1994, eller lenger tilbake i tid. For eksempel rapporterer 60 % eller flere av lærerne et behov for etterutdanning innen astrofysikk/kosmologi, bruk av dataloggere og bruk av eksperimenter i faget. Dette er områder som ikke gjennomgikk omfattende endringer i den nye læreplanen, men som i seg selv er i rask utvikling. Dette er også områder som ofte ikke er en del av fysikklærernes grunnutdanning.

Inntrykket hos oss som arrangerer etterutdanningskurs stemmer ganske godt med denne tabellen: Lærerne er mest interessert i *faglig*, og gjerne praktisk/eksperimentelt rettet, etterutdanning, særlig innen de nye områdene i læreplanen, men også innen for eksempel datalogging. Tore Andreas Danielsen gjennomførte en spørreundersøkelse om datalogging blant fysikklærere i 2006, som del av sin masteroppgave i fysikkdidaktikk.[2] Han fant bl.a. at manglende erfaring med dataloggere, samt vanskeligheter med å finne fram til passende forsøk, var blant lærernes grunner for ikke å bruke datalogging oftere i undervisningen. Nesten halvpraten av lærerne i Danielsens undersøkelse svarte at de hadde "stor" eller "svært stor" interesse for etterutdanning i bruk av dataloggere.

Tabell 3. Opplevd behov for etterutdanning innen spesielle områder.

"I hvilken grad føler du behov for etterutdanning..."	**Vektet andel**
innen generell pedagogikk?	24 %
knyttet til vurdering i fysikkfaget?	32 %
innen generell fysikkdidaktikk?	47 %
innen matematisk modellering i fysikkfaget?	49 %
innen kvantefysikk?	55 %
innen sensorers virkemåte?	56 %
knyttet til vitenskapsteori?	57 %
innen partikkelfysikk?	58 %
innen generell relativitetsteori?	60 %
innen astrofysikk/kosmologi?	60 %
innen temaet halvledere?	64 %
i bruk av dataloggere?	67 %
knyttet til bruk av eksperimenter i fysikkfaget?	68 %
i hvordan man kan anvende simuleringer i undervisningen?	68 %
innen fysikk og teknologi?	72 %

Oppsummering

Det er sannsynlig at bildet som er tegnet her, ville blitt noe annerledes dersom denne undersøkelsen hadde vært gjennomført i år eller i fjor. Et eventuelt etterutdanningstilbud i forbindelse med inføringen av ny læreplan ville primært ført til aktiviteter i perioden etter at undersøkelsen ble gjennomført. Fagmiljøene som tilbyr slike kurs, har da også merket en sterk økning i etterspørselen i forbindelse med inføringen av de nye Fysikk 1- og Fysikk 2-kursene.

Skolelaboratoriet ved Fysisk institutt, UiO, har våren 2008 startet et forskningsprosjekt, "Fysikk i ny læreplan", der hovedproblemstillingen er hvor-

dan de nye elementene i læreplanen blir implementert i fysikkfaget i videregående skole og hvordan de blir mottatt av fysikklærere og elever (se *http://www.fys.uio.no/skolelab/Laereplanprosjektet*) Som del av dette prosjektet ble det sendt ut et spørreskjema der det blant mye annet ble spurt om omfanget av etterutdanning i forbindelse med inføringen av Kunnskapsløftet. Av de 230 fysikklærerne som besvarte skjemaet oppga 63 % at de hadde deltatt på etterutdanningskurs i fysikk etter at K06 ble innført høsten 2007. Drøyt halvparten av disse oppga at kurset hadde vart i 6 timer eller mindre, mens 28 % hadde vært på kurs med varighet 7 til 12 timer, og 20 % hadde vært på kurs med varighet 13 timer eller mer.

Et interessant aspekt ved situasjonen for fysikkfaget i videregående skole og behovet for etterutdanning, er det generasjonsskiftet som er i ferd med å skje blant lærerne. Uformelle tall og observasjoner tyder på at mens fysikklærernes gjennomsnittsalder lenge økte med ett år i året, har den nå stabilisert seg.[1] Vi tolker dette slik at selv om "de gamle" fortsatt blir ett år eldre i året, er det nå et betydelig påfyll av ganske nyutdannede lærere som trekker gjennomsnittet nedover. Aldersfordelingen av de 230 lærerne i Skolelaboratoriets undersøkelse våren 2008, viste et gjennomsnitt på 50,5 år, med en antydning til en "to-puklet" aldersfordeling med en skarpt definert topp rundt 60 år, og en noe mindre markant topp mellom 30 og 40 år.

Vi som arrangerer etterutdanningskurs, merker oss at de unge er godt representert på kursene. Skyldes dette et reelt, stort behov for faglig og fagdidaktisk påfyll også hos de helt nyutdannede, eller er det først og fremst et utslag av ungdommelig glød og entusiasme? Vi vet at mange av dagens eldre fysikklærere er meget velutdannede, ofte med en cand.real.-grad og flere tiårs undervisningserfaring, og med betydelig vilje og evne til selv å sette seg inn i nytt fagstoff. Mye tyder på at lærerne som vil rekrutteres i årene som kommer, vil ha en noe svakere (om enn mer oppdatert) faglig bakgrunn, for eksempel fra de femårige lektorutdanningene som tilbys ved de fleste universitetene.

Selv om vi maner til forsiktighet med å trekke for sterke konklusjoner fra Fysikklærerundersøkelsen, er det grunn til å frykte at denne undersøkelsen dokumenterer en situasjon som ikke er tilfredsstillende. Nesten halvparten av fysikklærerne hadde i løpet av en periode på to år ikke deltatt i noen form for etterutdanning, og kun én av fem har deltatt i etterutdanning rettet mot fysikkfaget i denne perioden. Vi ser imidlertid at andelen som har deltatt på etterutdanning har økt betydelig med innføringen av ny læreplan. Men på lengre sikt bør etterutdanning i større grad være organisert som en kontinuerlig aktivitet, og ikke som et stunt hvert tiende år i forbindelse med inføring av en ny læreplan.

Lærernes "kapital" er primært deres faglige kompetanse, og som all annen kapital må denne forvaltes. Det vi trenger er et system for etterutdanning som i større grad pålegger arbeidsgivere og arbeidstakere reell rett og plikt til å etterutdanne seg som en regulær del av stillingen. Dette systemet bør også ha en overordnet nasjonal koordinering. Selv om vi i dag har mange gode etterutdanningstilbud, er det rimelig å hevde at disse ikke er integrert i et systematisk og overordnet perspektiv på etterutdanning som livslang læring.

Referanser

1. R.V. Olsen: *Er fysikklæreren en utdoende rase?* Fra Fysikkens Verden **58**, nr 3, 72-75 (2006)
2. T.A. Danielsen: *Datalogging i fysikkundervisningen i videregående skole.* Masteoppgave, Fysisk institutt, UiO (2008)

∞

Hva skjer

Fysikkolympiaden 2008

Hanoi i Vietnam var vertsby for den internasjonale fysikkolympiaden i år. Vietnam er et land i rivende utvikling der gammelt og nytt fortsatt lever side om side. Det er et mangfoldig land med 54 etniske grupper, fremdeles en ettpartistat, og blomstrende markedsøkonomi! Alle menneskene vi møtte var usedvanlig blide og forekommende, og ikke minst, veldig stolte av landet sitt.

Fem norske elever og to ledere deltok på et spennende og profesjonelt gjennomført arrangement. De norske elevene var: Anders Johan Adreassen fra Gausdal vgs., Håkon Risbakk fra Os gymnas, Grunde H. Wesenberg fra Ås vgs., Julius Asplin fra Oslo Handelsgymnasium og Tim Bjerkelund fra Nadderud vgs. Trond Ekern og Carl Angell deltok som ledere. Elevene ble til enhver tid tatt særdeles

godt hånd om av sin guide som fulgte dem nærmest døgnet rundt, på alle arrangementer og utflukter. Vi som ledere var engasjert i diskusjon av oppgavene, oversetting av oppgavene til norsk og retting av de norske elevenes besvarelser. Det er et ganske omfattende arbeid – bare teoriprøven bestod av over 20 sider tekst!

Som vanlig var finaleoppgavene meget krevende og vanskelige, og for de fleste lands deltakere langt mer krevende enn de er vandt til fra egen skolegang. At grensen for hederlig omtale var 14 av 50 poeng, sier ganske mye om vanskegraden til oppgavene.

De norske elevene fikk ingen utmerkelser i år, men Anders Johan Andreassen var bare 0,85 poeng fra hederlig omtale. Det var deltakere fra 82 land. Totalt ble det utdelt 46 gullmedaljer, 47 sølvmedaljer, 78 bronsemedaljer og 87 hederlige omtaler. De tre beste kom alle fra Kina. Beste elev fikk 44,6 av 50 mulige poeng. Også vertslandet Vietnam fikk to gullmedaljer.

Alle de beste elevene har et omfattende treningsprogram bak seg med spesiell oppfølging og spesielle undervisningsopplegg over lang tid. For mange av landene, og særlig de asiatiske, er det meget høy prestisje og interesse knyttet til fysikkolympiaden. De norske elevene har riktignok gått gjennom tre uttakingsrunder og en ukes kurs på UiO, men dette er ganske ubetydelig sammenlignet med hvordan f.eks. kinesiske elever får forberede seg.

Oppgavene

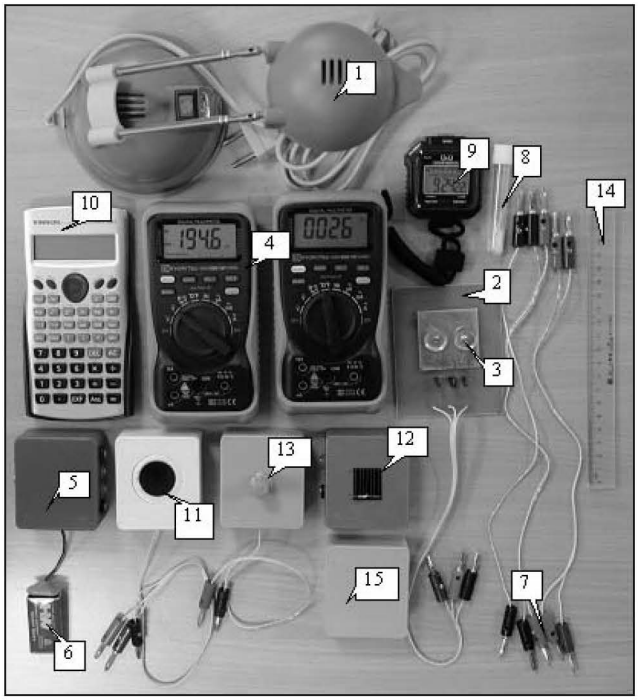
Den første teoretiske oppgaven handlet om en tradisjonell vietnamesisk rismorter drevet av vann (se figur 1). Virkemåten ble beskrevet i oppgaveteksten, og en rekke beregninger skulle utføres.

Figur 1. Vietnamesisk rismorter.

Oppgave 2 handlet om Cherenkov-stråling og det fenomenet at det er mulig for en partikkel i et transparent medium å bevege seg med en fart som er høyere enn lysets fart i det samme mediet.

Den siste oppgaven handlet om luftforurensning og atmosfærisk stabilitet. Hvis atmosfæren er stabil, er vertikal bevegelse av luft begrenset og lufturenheter har en tendens til å samles rundt utslippsstedet. I en ustabil atmosfære derimot, vil vertikal bevegelse av luft fremskynde den vertikale spredningen av lufturenheter. I denne oppgaven skulle elevene bl.a. bestemme konsentrasjonen av karbonmonooksid som slippes ut fra motorsykler i Hanois sentrumsområde i løpet av en time i morgenrushet. Hanois gater er nemlig fylt av et enormt antall motorsykler og mopeder.

I den eksperimentelle oppgaven skulle en bruke såkalt "differential thermometric"-metode for å finne størkningstemperaturen for et krystallinsk fast stoff, og for å bestemme virkningsgraden for en solcelle. Metoden går ut på at hvis to dioder er plassert ved forskjellige temperaturer, kan forskjellen mellom temperaturene bli målt fra forskjellen i spenningstap over de to diodene. Forskjellen i spenningstap kan bli målt med stor presisjon, og derfor kan også temperaturen bli målt med stor presisjon. Figur 2 viser utstyret elevene fikk utdelt.



Figur 2. Det eksperimentelle utstyret som deltakerne fikk.

Den eksperimentelle oppgaven var også omfattende og utfordrende, men heldigvis ikke fullt så

vanskelig som den teoretiske prøven. De norske elevene fikk de fleste poengene sine på den eksperimentelle oppgaven.

Oppholdet

Både elevene og lederne hadde et strålende opphold. Det var meget varmt og fuktig, men hva gjør vel det når en får så spennende opplevelser; fra Ho Chi Minh-museum til fantastisk natur i Ha Long Bay. Spesielt vil jeg fremheve den fine kontakten våre elever får med ungdommer fra en rekke ulike land, og hvordan de får oppleve forståelse for hverandre på tvers av kulturgrenser. Fysikkolympiaden og interessen for fysikk kan dermed også være med på å gi ungdommene større forståelse for hverandre i en urolig verden.

En av våre deltakere har skrevet dette til oss: *I løpet av de første dagene var det en flott åpningsseremoni, og noe sightseeing i Hanoi, men de fleste hadde nok den teoretiske prøven i bakhodet hele tiden. Når den teoretiske prøven var ferdig var det mye blandende følelser fordi det ikke hadde gått så bra, men det var tross alt sinnsykt nivå på oppgavene. Til og med Kina innrømmet at ikke alle deltakerne kom til å få full score! Den siste delen av turen bestod av en god del turer til andre steder i Vietnam, bl.a. til kysten, og vi fikk se nye og spennende sider ved landet. Noe de aller fleste synes var veldig "stas" var at vi hele turen hadde politieskorte og militæret sto over alt hvor vi var og passet på! Dette gjorde at vi følte oss veldig viktige ... VIP! Generelt var turen en opplevelse for livet! Vi kommer aldri til å få oppleve noe lignende noen gang, og vi har fått minner og opplevelser som kommer til å være med oss resten av livet!*

Oppgavene med løsninger og resultater finnes på *http://ipho2008.hnue.edu.vn/* Mer informasjon finnes på *http://www.fys.uio.no/skolelab/fysikkol/*

Carl Angell

∞

Bokomtale

Steven Weinberg: Cosmology. Oxford University Press, 2008. ISBN 978-0-19-852682-7 (593 sider) $ 72,–.

Når den ny vin blomstrer

Steven Weinberg er en grundig og oppfinnsom vitenskapsmann som beskjeftiger seg med teoretisk fysikk. I året 1979 ble han sammen med Abdus Salam og Sheldon Glashow tildelt nobelprisen for den elektrosvake teori. Men Weinberg er ikke bare en dypsindig, grundig og oppfinnsom forsker. Tankene hans er preget av usedvanlig klarhet, og han er også en særdeles produktiv forfatter. Den boka han skrev i 1972 om gravitasjon og kosmologi, ble en verdifull klassiker. Kvaliteten på innholdet har jeg rett til å vurdere, for store deler av boka var en viktig del av mitt hovedfagspensum for min cand.real.-grad. I 1977 publiserte Weinberg ei populærvitenskapelig bok om kosmologi: "The First Three Minutes." Den kom i norsk språkdrakt i 1984. Jeg tør påstå at den gang var den teksten det ypperste som fantes på norsk for lekmenn om opprinnelsen til universet.

Jeg vil også nevne at jeg har hatt stor glede av, og har lært mye av å lese solide, originale og tankevekkende artikler av Weinberg der innholdet har vært av allmennvitenskapelig og filosofisk tilsnitt og karakter. Disse meddelelsene har jeg funnet spredd rundt i så ymse forskjellige journaler: Nature, Science, Physics Today, The New York Review, Times Literary Supplement og Sceptical Inquirer. Ei bok av dette kaliber har han også begått: "Dreams of a Final Theory: The Scientist's Search for the Ultimate Laws of Nature." Da Weinberg var ferdig med det mektige trebindsverket: "The Quantum Theory of Fields" i 1999, var det tid for å oppdatere seg i de siste tjue års forskning i kosmologi. Resultatet av det studiet foreligger nå i bokform. Tittelen er rett og slett: "Cosmology".

Den nye boka er slett ingen fornyet utgave av standardverket fra 1972. Her diskuteres de nye teoretiske konstruksjoner som har kommet til. Her betrakter en mengden av nye observasjoner som avliver teoretikernes dristige spekulasjoner eller gir triumferende bekreftelse på at noen av de tøylesløse fantasifostre faktisk beskriver naturen. For eksempel gir Tully-Fisher-relasjonen en ny, men muligens

noe usikker metode til å måle avstand til spiralgalakser. Denne relasjonen er funnet rent empirisk. Den sier at det er en entydig sammenheng mellom rotasjonsfarten og lysstyrken til disse galaksene. Grunnideen er at rotasjonsfarten er bestemt av den totale masse, og hvis den er stor, så er nok også lysstyrken stor. Siden en slik galakse roterer, vil stjernene på motsatte sider av galaksen ha forskjellig hastighet i forhold til oss. Det gir forbreding av spektrallinjene til lyset fra galaksen. Men da kan vi finne fartsfordelingen i galaksen. Når vi så benytter den informasjonen sammen med Tully-Fisher-relasjonen, får vi god peiling på den egentlige lysstyrke til galaksen. Fra tilsynelatende lysstyrke finner vi så avstanden til galaksen.

Forskningen de siste ti årene er også blitt ganske preget av at den antagelsen som salig Einstein betraktet som sin verste bommert, viser seg å være helt nødvendig for å finne fram til en konsistent modell for universet. Forskerne fant nemlig fram til at såkalte supernovaer av type Ia, lot seg benytte som standard lyskilder med kjent lysstyrke. En vet nå at disse eksplosjonene finner sted når hvite dvergstjerner av degenerert karbon overskrider Chandrasekhar-grensen som gir en maksimal masse for hvite dverger. Da brenner karbonet så voldsomt at hele stjerna eksploderer fullstendig, og ingen ting blir tilbake. Siden den ene hvite dvergen er den andre lik, er også lysstyrken den samme fra alle slike utbrudd. Den mektige lysstyrken betyr at lyset kan observeres fra meget fjerne galakser, og dermed har vi en god kosmologisk avstandsmåler.

Astronomene fikk seg en skikkelig overraskelse da de undersøkte Hubbles lov med dette nye avstandsmålet. Denne loven som ble funnet i 1929, forteller at den farten en galakse fjerner seg med, er direkte proporsjonal med avstanden fra oss til galaksen. Loven er egentlig et uttrykk for at universet er i ekspansjon og tar galaksene med seg i utvidelsen. Men den "konstanten" som opptrer i Hubbles lov, viser seg å være større nå enn den var i tidens morgen. Det betyr at universet faktisk har økt farten på ekspansjonen. Det er stikk motsatt resultat av det en burde forvente. Tyngdevirkningen mellom galaksene må jo bremse ekspansjonen. Teoretikerne forklarte paradokset ved å gi nytt liv til den såkalte kosmologiske konstanten som Einstein innførte for å oppnå en statisk universmodell. Men denne gang fikk den mystiske konstanten en fysisk tolkning. Den representerer en slags mørk vakuumenergi som virker frastøtende.

Denne boka er ei skattekiste for den som ønsker kunnskap om det som skjedde da forskningsfronten for kosmologien gjennomgikk en eksplosiv utvikling. Instrumenter utenfor vår forstyrrende atmosfære, nye kjempeteleskoper, vidunderlig elektronikk og supercomputere med utrolig regnekraft gir astronomene nye muligheter. Og relativistisk astrofysikk, gravitasjonsteori og moderne felt- og partikkelfysikk har gått sammen for å gi forståelse av vårt forunderlige univers. Alt skildres i boka til Steven Weinberg. Den viktige informasjonen som finnes i den kosmiske bakgrunnstrålingen i radiobølgeområdet blir grundig diskutert. Det blir også de fysiske prosesser mellom alskens partikler i det aller tidligste univers. Den såkalte inflasjonsmodellen fra 1980-årene må til for å forstå den strukturen en observerer i universet.

Den siste halvdelen av teksten er viet studiet av avvik fra det homogene og isotrope univers. En prøver å forstå de mekanismer som har gitt universet en struktur som minner om såpeskum. Materien ligger fordelt i mektige flak med svære tomrom mellom disse superhopene av galakser.

Til slutt vil jeg fortelle at hele 35 sider av boka tar for seg linseeffekten forbundet med gravitasjon. Det sier vel alt om betydningen av arbeidet til Sjur Refsdal som er pionéren på dette området. Det har sannelig gått gjæring i de gamle safter som Einstein skjenket oss til forskningsrusens glede.

Henning Knutsen

∞

Skriv i
Fra Fysikkens
Verden!

Nye Doktorer

Erlend Bjørndal

Cand.scient. Erlend Bjørndal disputerte 23. nov. 2007 for PhD-graden ved Universitetet i Bergen med avhandlingen: *Acoustic measurement of liquid density with applications for mass measurement of oil.*

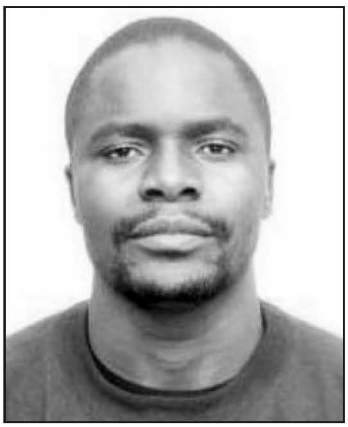
Kjøp og salg av olje er nå oftest basert på volum bestemt med ultralydbaserte strømningsmålere. Det er også viktig å måle oljens tetthet for å kontrollere kvalitet og massestrøm. I denne avhandlingen er det fokusert på hvordan en kan bruke ultralyd til å måle tettheten til væsker. Slike tetthetsmålere er ennå ikke kommersielt tilgjengelige, men har i 15 år vært gjenstand for omfattende forskning.

I avhandlingen er det foreslått flere måter å kombinere signaler fra to ultralydsendere på for å måle tettheten til væsker. Noen av disse kombinasjonene gir lavere usikkerhet enn tidligere metoder. Det er også vist hvordan en ut fra ultralydpulsene kan oppnå kontinuerlig informasjon om målesystemets oppførsel med tanke på ultralydsendere og innsamlingselektronikk, med økt pålitelighet som resultat. I tillegg til å kunne måle tetthet, kan en nå også måle lydhastighet, dempning og kompressibilitet til væsken. Metoden som er utviklet i dette doktorarbeidet er patentert, og diskusjonen av sentrale problemstillinger er sendt til fagtidsskrifter for publisering.

Doktorarbeidet er utført ved Chr. Michelsen Research AS (CMR) i samarbeid med Institutt for fysikk og teknologi, UiB, finansiert av NFR, Statoil ASA og Gassco AS. Veiledere har vært Magne Vestrheim, UiB, og Kjell-Eivind Frøysa, CMR. Bjørndal er nå ansatt hos Framo Engineering AS.

∞

Actor Chikukwa



M.Sc. Actor Chikukwa forsvarte 24. januar 2008 sin avhandling *Modelling of a Solar Stove: Small Scale Concentrating System with Heat Storage* for dr.scient.-graden ved NTNU.

I områder med mye sol kan det være naturlig å dekke behov for varme ved høy temperatur med solfangere. Varmeenergi kan også lagres billig og meget effektivt i noen dager.

Avhandlingen diskuterer hvordan enkle, små solovner med varmelager kan konstrueres. Den starter med å vise god tilgjengelighet på direkte solstråling på 30 steder i forfatterens hjemland, Zimbabwe, basert på observasjoner ved meteorologiske stasjoner. Deretter analyseres en modell for en solovn for matlaging basert på en parabol belagt med speilfliser og et varmelager i en isolert sylinder med småstein. Parabolen holdes rettet mot solen ved jevn rotasjon om en akse parallell med jordaksen, for eksempel drevet mekanisk. Den konsentrerte strålingen absorberes i en svart fiberpute. Luft trekkes gjennom puten og transporterer varmen til steinlageret. Det simulerte systemet har en glasskuppel over absorbatoren og resirkulerer luften. 80 % av den innkommende solstrålingen konverteres til varme. Toppen av varmelageret er en "kokeplate" med innebygget varmeveksler. Luft sirkuleres gjennom lager og varmeveksler. Ved analyse og simuleringer diskuteres det hvordan systemet kan optimaliseres. Resultatene er lovende, og systemet bør kunne produseres i utviklingsland. Tilsvarende systemer kan også produsere varme for prosessindustri.

Arbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTNU, med Jørgen Løvseth og Berit Kjeldstad som veiledere.

∞

Arne Erikson

Cand.scient. Arne Erikson forsvarte 12. juni sin avhandling *Investigating the importance of collagen in cancer diagnosis and drug delivery using laser-based microscopy* for graden PhD ved NTNU.

Et problem med stråle- og kjemoterapi som kreftbehandling er at normalt vev ødelegges. For å unngå dette er det utviklet spesifikke terapeutiske makromolekyler. Skal disse nå frem til kreftcellene, må de overvinne en rekke barrierer. Doktorarbeidet har hatt som mål å karakterisere kreftcellenes omgivelser og undersøke hvilken rolle molekyler i dette miljøet har som transportbarriere.

Cellene er omgitt av proteinet collagen i en gel av polysakkarider. Når pulset høyintensitets laserlys sendes mot vev som inneholder type I collagen, vil det 2. harmoniske signalet genereres. Denne teknikken ble benyttet, og en metode ble etablert for å kvantifisere en spesifikk strukturparameter knyttet til collagen. Metoden ble brukt for å sammenlikne collagens struktur i kreftvev med normalt vev. I tillegg ble det 2. harmoniske signalet brukt til å bestemme mengden av collagen. Det ble påvist store forskjeller i collagens mengde og struktur som tyder på at collagen kan benyttes som en diagnostisk faktor. Ved enzymatisk nedbryting av collagen fant en at store terapeutiske molekyler fikk øket opptak og forbedrer distribusjon i vevet, mens små terapeutiske molekyler viste en liknende, men mindre tendens.

Arbeidet ble utført ved Institutt for fysikk ved NTNU med professorene Catharina de Lange Davies og Mikael Lindgren som veiledere, og ble finansiert av Forskningsrådet og Kreftforeningen. Arne Erikson er nå lærer på Dalane vgs. i Egersund.

∞

Petter Norli

Petter Norli forsvarte 30. november 2007 sin avhandling *Sound velocity cell for gas characterization* for PhD-graden ved Universitetet i Bergen.

Ultralyd-transittidstrømningsmålere (USM) er i utstrakt bruk til måling av volumstrøm av naturgass, som sammen med massetetthet eller energiinnhold målt med gasskromatografer (GC) bestemmer gassens salgsverdi. GC-ene er kostbare i bruk, og alternative metoder er av interesse. Nyere forskning har vist at gassens lydhastighet, målt med USM, kan kombineres med andre parametre til også å bestemme massetetthet og energiinnhold hvis lydhastigheten måles nøyaktig nok. Derfor ønskes en uavhengig målecelle, som opererer under de samme betingelser som USM, til å fastslå lydhastigheten i naturgassen med en usikkerhet $< 0,02$ %.

Tre metoder for presisjonsmåling av lydhastighet i gass beskrives, hvorav to er vurdert som aktuelle kandidater til en høytrykks-målecelle. Disse to metodene blir undersøkt og realisert i en lavtrykks-målecelle. Måleresultater presenteres for luft ved romtemperatur. Disse sammenlignes med en modell for lydhastighet i luft, og avviket er ca. 0,02 %. Usikkerheten i modellen er imidlertid for stor til at den kan brukes som referanse. En viktig del av arbeidet har derfor bestått i å anslå usikkerheten i målt lydhastighet, og kritiske bidrag til måleusikkerheten er identifisert og forsøkt tallfestet.

Doktorgradsarbeidet er utført ved Christian Michelsen Research AS (CMR) i samarbeid med Institutt for fysikk og teknologi, UiB, finansiert av NFR, Statoil ASA og Gassco AS. Veiledere har vært Magne Vestrheim, UiB, og Per Lunde, CMR. Norli er nå forsker ved Det Norske Veritas AS, Høvik.

∞

Ole Christen Reistad

Cand.scient. Ole Christen Reistad forsvarte 8. mai avhandlingen *Analyzing Russian Naval Nuclear Safety and Security by Measuring and Modeling Reactor and Core Inventory and Accidental Release*, for dr.ing.-graden ved NTNU.

Reistad har beskrevet sikkerhetsrelevante parametere for russiske ubåtreaktorer og brensel, som har vært lite studert. Grunnlaget har vært en gjennomgang av konstruksjons- og driftsdata for alle russiske trykksatte vannkjølte ubåtreaktormodeller, relevante fartøyer og data for lagring av brukt brensel. Modelleringsverktøyet HELIOS ble benyttet til å etablere modeller for ulike reaktorer for testing av data, beregning av brenselsparametere og innhold av radionuklider.

Resultatene viser at fundamentale endringer i reaktor- og brenselsparametre følger ubåtgenerasjonene. Avhandlingen identifiserer tre hovedgenerasjoner for sivile og tre for militære reaktorer. En statistisk vurdering av materiale om ulykker viser en "mean-time- between-failure" for utslipp av radioaktivitet på omtrent 900 driftsår, og i et historisk perspektiv omtrent 50 driftsår med hensyn på alle relevante hendelser. I forhold til utslipp er det identifisert doserater på opp mot 3000 μSv/t 1 m over bakkenivå og konsentrasjoner opp mot $1 \cdot 10^6$ Bq/kg ^{137}Cs og $4 \cdot 10^6$ Bq/kg ^{90}Sr nær tidligere lageranlegg. Det er også gjort beregninger av forbruk av spaltbart materiale med særlig fokus på høyanriket uran.

Arbeidet ble finansiert av Forskningsrådet, Nordisk kjernesikkerhetsforskning og Statens strålevern, og ble utført ved Institutt for fysikk, NTNU, og Statens strålevern, Oslo. Professor Tor Wøhni var hovedveileder og professor Tore Lindmo og forsker Steinar Høibråten medveiledere. Reistad er nå ansatt ved Statens strålevern, Oslo.

∞

Trim i FFV

FFVT 3/08

Hvor gamle er barna?

A: Hvor mange barn har du?
B: Foreløpig har jeg tre barn.
A: Hvor mange år er de?
B: Produktet av deres aldere er 36 år.
A: Da trenger jeg mer informasjon!
B: Summen av deres aldere er samme tall som ditt husnummer.
A: Da trenger jeg enda mer informasjon!
B: Mitt eldste barn er minst ett år eldre enn de to andre.
A: Takk! Da vet jeg nok!

Hvor gamle var barna?

Løsning FFVT 2/08

Kokosnøttene

Tre turister fant en haug kokosnøtter.

Turist nr. 1 tok halvparten av nøttene pluss en halv nøtt.

Turist nr. 2 tok halvparten av de gjenværende nøttene pluss en halv nøtt.

Turist nr. 3 tok halvparten av de nøttene som nå var igjen pluss en halv nøtt.

Da var det akkurat én nøtt igjen. Hvor mange nøtter var det i den opprinnelige haugen?

Løsning:

Den opprinnelige haugen inneholdt x nøtter. Etter at turist nr. 1 hadde tatt sitt, var det igjen y nøtter. (1): $y = x - ((x-1)/2)$.

Etter at nr. 2 hadde tatt sitt, var det igjen z nøtter. (2): $z = y - ((y-1)/2)$.

Etter at nr. 3 hadde tatt sitt, var det igjen 1 nøtt. (3): $1 = z - ((z-1)/2)$, som gir $z = 3$.

Vi setter inn 3 for z i (2), og får $y = 7$, som settes inn i (1) og gir $x = 15$.

Det var altså 15 nøtter opprinnelig, og det var unødvendig å dele noen kokosnøtter i to.

∞

B-BLAD

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

Retningslinjer for forfattere

FRA FYSIKKENS VERDEN utgis av Norsk Fysisk Selskap og sendes til alle medlemmer. Disse er vanligvis utdannet fra universiteter og 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. 1900.

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

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

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

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

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

FORSIDEBILDER velges som regel i tilknytning til en av artikklene. De må være teknisk gode og kan trykkes i farger.

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

GRAFISK PRODUSKJON OG TRYKK: OSLO SATS, REPRO & MONTASJE A/S

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

President:
Professor Gunnar Løvhøiden
Fysisk institutt, UiO.
e-post: gunnar.lovhoiden@fys.uio.no

Visepresident:
Førsteaman. Øyvind Frette
Inst. for fysikk og teknologi, UiB.
e-post: oyvind.frette@ift.uib.no

Styremedlemmer:
Professor Øystein Elgarøy
Inst. for teoretisk astrofysikk, UiO
Professor Ulf Kristiansen
Inst. for elekronikkk og telekom. NTNU
Forsker Ole Martin Løvvik
Senter for materialvitenskap og nanoteknologi, UiO
Førsteaman. Kjartan Olafsson
Inst. for fysikk og teknologi, UiB
Professor Einar Sagstuen
Fysisk institutt, UiO
Professor Jon Samseth
Høgskolen i Akershus, Lillestrøm
Lektor Morten Trudvang
Asker videregående skole

Selskapets sekretær:
Cand.scient. Øyvind Svensen
Inst. for fysikk og teknologi, UiB,
Allégaten 55, 5007 Bergen.
Tlf: 55 58 28 78, Faks: 55 58 94 40
e-post: oyvind. svensen@ift.uib.no
Bankgiro: 7878.06.03258

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:
Professor Øystein Elgarøy
Inst. for teoretisk astrofysikk, UiO
Professor Øyvind Grøn
Høgskolen i Oslo og Fysisk inst. UiO

Redaksjonssekretær:
Overingeniør Karl Måseide
Fysisk institutt, UiO

Redaksjonskomité:
Professor Åshild Fredriksen
Institutt for fysikk, UiT
Professor Per Chr. Hemmer
Institutt for fysikk, NTNU
Førstelektor Ellen K. Henriksen,
Fysisk institutt, UiO
Professor Per Osland
Institutt 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
e-post: oystein.elgaroy@astro.uio.no
e-post: oyvind.gron@iu.hio.no
e-post: k.a.maseide@fys.uio.no
Bankgiro: 6094.05.40227

Fra Fysikkens Verden kommer ut 4 g. årlig.
Abonnement kan tegnes fra ekspedisjonen.
Årsabonnement 120 kr. (Studenter 60 kr.)
Løssalg 40 kr. pr. nummer.