

# EnergiRike

Nr 1, januar 2013

MAGASINET

Setter energi, klima og verdiskaping på dagsorden

*EnergiRikes studentkontakter har en sentral rolle i gjennomføringen av arrangementene overfor de videregående skolene. Her er noen av dem da Statoil ble presentert som case drift for 2013. Foran fra venstre Eivind Susort UiB, Roger Enes NTNU og Statoil, William Louis Park HSH og Trine Halsnes HSH.*



Case fra Statoil



ENERGIRIKE

Foto: Odd-Atle Urvik

# Einstein, Higgs og energi

Nylig har CERN ved Geneve, verdens største akselerator-senter, sett tegn til realitet for et 50 år gammelt teori-foster, en Higgspartikkel. Begeistringen har vært enorm, og delvis unyansert: Higgsmekanismen som forklaring på all verdens masse. Mye Higgs og lite Einstein. Det kan i et energimagasin være på sin plass å yte begge her-rene rettferdighet.



## Kronikk

Av: Jan S. Vaagen og Laszlo P. Csernai  
Fysikkprofessorer ved UIB

Higgsens masse oppgis til omkring 125 GeV/c<sup>2</sup>, i energi regnet i milliarder elektronvolt, delt med kvadratet av lyshastigheten. Masse regnet i energienheter etter Einsteins  $E=Mc^2$ , dvs.  $M=E/c^2$  i partikkelfysikkens språk. Einsteins ekvivalensrelasjon, urokket siden 1905, er den universelle forbindelse mellom masse og energi.

Når CERN akselerer en ladd partikkel i den 28 km lange akseleratorringen, øker partikkelens masse suksessivt med farten, fra hvilemassen (partikkelen i ro) til partikkelen til slutt blir så massiv (tung) at akseleratoren ikke klarer å gi den mer fart.

## Einsteins liknelser

I april 1946, et knapt år etter at verden hadde opplevd kraften i atomkjernen i ukontrollert utfoldelse over Hiroshima og Nagasaki, offentliggjorde Einstein en fol-

keopplysende artikkel "E=MC<sup>2</sup>", i Science Illustrated, New York. Som i sine berømte ungdomsarbeider fra 1905, beskriver den nå 67årige Einstein fysikken i enkelt språk. Han ønsker å få fram at det er energi og ikke hvilemasse (den klassiske uforanderlige massen) som bevarer, og han ønsker å forklare høsting fra materiens energihemmelighet, med et tidsaktuelt varsko til samtiden.

I bibelsk stil benytter han to liknelser.

## Naturens energihemmelighet

Naturen holdt lenge på sin største energihemmelighet, kjernekreftene. Den naturlige radioaktivitet ga mennesket de første strålesporene for 115 år siden. Einstein stiller i sin første liknelse spørsmålet: "Men hvis hvert gram av stoffet inneholder denne enorme energien, hvordan kunne den da så lenge forbli uoppdaget? Svaret er enkelt nok; så lenge ingen del av energien frigjøres i omgivelsen, kan den ikke observeres. Det er på samme måten som om en mann som er fantastisk rik ikke skulle bruke eller gi bort en krone: Ingen ville da kunne vite hvor rik han var."

Einstein avslutter artikkelen med en utdyping: "Atom M er en gjerrignark som i løpet av livet ikke gir fra seg noe av pengene (energi) sine. Men i sitt testamente overdrar han sin formue til sine sønner M' og M'' på den betingelse at de avstår til fellesskapet en liten del, mindre enn en tusendel av hele arvegodset (energi eller masse). Sønnene får til sammen noe mindre enn faren hadde (masse summen M'+M'' er noe mindre enn massen M til det radioaktive atom). Men den delen som gis til samfunnet, selv om den relativt sett er liten, er likevel så enormt stor (i form av bevegelsesenergi) at den bringer med seg en stor trussel om onde hendelser. Å avende denne trusselen er blitt vår tids mest påtrengende problem." Einsteins varsko!

Adam og Eva og eplet i radioaktiv utgave – dette kan vi selvsagt filosofere over. Vi har, ikke minst med hjelp fra Einsteins grensesprengende naturforståelse,

oppdaget en strålende verden som er blitt grunnlag for vår sivilisasjon – vi lever i atomalderen. Den synlige materiens energirikdom er ikke lenger en hemmelighet. Noen mener at mer, storparten gjenstår, sort materie og sort energi, sort fordi vi ikke kan se den ved hjelp av kjente stråler og prosesser. Tiden vil gi svar.

## Vekttap i en sammensatt verden

Gjennom uminnelige tider har vi oppfattet verden som sammensatt, og vært på jakt etter byggsteinene, kalt atomer (udelelige) av de gamle grekere. Vi vet at det vanligvis kreves energi, separasjonsenergi, for å bryte noe opp i småbiter. Et sammensatt system har derfor mindre energiinnhold enn de frigjorte delene. Siden masse i følge relativitetsteorien er ekvivalent med energi, er systemets hvilemasse mindre enn summen av delenes hvilemasser.

Atomkjernenes nukleoner (protoner & nøytroner) er ikke bare bestanddeler, men også kjernenes klassiske byggsteiner. De kan eksistere som frie objekter i vakuum. Dette gir begrepet separasjonsenergi operasjonelt innhold; Gjennom kollisjonseksperiment kan vi tilføre en kjerne nukleoner eller hente ut nukleoner. Et triton 3H kan for eksempel brytes opp i to deler d(2H) + n, eller i tre p+n+n, et proton og to nøytroner.

Kvarkene, kjernenes bestanddeler på et dypere nivå, kan derimot ikke hentes ut av et nukleon, verken enkeltvis eller i par. Kvarkene er bestanddeler i fangenskap i nukleonet – ikke lett tilgjengelige byggsteiner. Mens en kjernes masse er dominert av summen av nukleonmassene, er et nukleons masse ikke dominert av summen av kvarkmassene, et kanskje overraskende svar vi kommer tilbake til.

Den naturlige radioaktiviteten viste at Naturen også inneholder seiglivete ustabile atomer som foretar selvforvandling, transmutasjon, ved å sende ut elektroner eller heliumkjerner, kalt beta- og alfapartikler. Oppdagelsen av fisjon førte år senere viste videre at mennesket for en liten energiinnsats kunne skape ustabile, selvspaltende, atomkjerner, hvor de endelige, stabile og



Einsteins teorier er sentrale når vi skal forstå universet.

sterkere bundne (per nukleon) bitene, får et betydelig energioverskudd til å kunne bevege seg. Einsteins liknelse henspiller på binær fisjon med to større biter med hvileenergi  $M'c^2$  og  $M''c^2$ , og frigjort energi i form av nøytroner, elektroner, gamma og bevegelsesenergi, omtrent 1/1000 del av den ustabile kjernens hvileenergi. Tidspunktet for selvspaltingen er, som for naturlig radioaktivitet, styrt av en statistisk (kvantemekanisk) prosess, men tidspunktet for gnierens død var vel også vanskelig forutsigbart.

### Atomets masse

Det er naturlig å spørre om Higgsen og dagliglivets byggesteiner, de vi kaller atomer. Et atoms masse er dominert av atomkjernen, elektronene og deres vekselvirkning med kjernen utgjør mindre enn 1/2000 del av massen. Atomkjernene består av vekselvirkende nukleoner, protoner og nøytroner, fra 1 til nær 250. Dette kompliserte samspillet har vært kjernefysikkens sentrale arbeidsområde i 75 år. Vekselvirkningen reduserer massen fra summen av nukleonmassene; en bundet stabil atomkjerne er lettere enn summen av nukleonmassene.

### Nukleonets masse

Kvarkene, opprinnelig også foreslått for 50 år siden, etter Einsteins død, spiller ingen rolle i praktisk kjernefysikk for atomkraft. De har imidlertid en voksende rolle for dypere forståelse av kjernekreftene.

I følge vår tids Standardmodell for partikkelfysikk, består et nukleon av punktliknende ("current") kvarker som samspiller

ved hjelp av kommunikasjonspartikler, kalt gluoner ("limpartikler"). Vi er nå kommet ned på det nivå hvor Higgsen kan gjøre sin entre. Gluonene er masseløse (som fotoner). Selv om Higgsen måtte bidra (og antagelig lite) til kvarkers masse, som noen hevder, er de vanlige kvarkene (bortsett fra et par kortlivete eksotiske) ganske lette, noen få MeV/c<sup>2</sup>. Siden nukleonets hvilemasse er mye større, nesten 1000 MeV/c<sup>2</sup>, blir kvarkenes rolle i nukleonets masse begrenset, og Higgsens rolle ubetydelig.

Vi har konstatert at nukleonet ikke lar seg splitte i frie kvarker. For å forstå nukleonmassen på dypere nivå kan vi igjen huske Einstein, at nukleonmassen må beregnes ut fra nukleonets energiinnhold! Summen av bestanddelenes hvilemasser er langt fra

nok! Bare i de senere år er det blitt mulig å foreta realistiske kalkyler. Disse viser at den alltid positive bevegelsesenergien til kvarker og gluoner er ganske stor – de renner rundt i nukleonet med stor fart – og at den balanseres av den hovedsakelig negative energien fra kraftvekselspillet mellom bestanddelene. Det finnes ingen enkel formel, bare tallknusing i kjempecomputere.

Higgsens rolle i å forklare den synlige materiens masse er derfor av størrelse 1%. Materiens masse domineres av sammensatte systemer, nukleoner og atomkjerner, hjemmebanen for materien sterke vekselvirkning. Higgsmekanismen er spesielt viktig for den elektrosvake side ved materien, elektroner og lys.

## Etterord: Urstoffet etter Big Bang

I september fikk vår tidlige kinesiske doktorstudent Yun Cheng Yara-Birkeland prisen for unge forskere (NOK 100 000) for bidrag til forståelsen av Universets Urstoff, Kvarke-Gluon plasmaet. Et overraskende, men ikke unaturlig valg for Yara (tidligere Hydro). Selskapets pioner, Kristian Birkeland sendte allerede i 1906 et entusiastisk forslag om atomkraft til Wallenberg brødrene, utnyttelse av oppdagelsen av naturlig radioaktivitet. Forslaget ble høflig satt på vent, til etter nitrogen og gjødning. En klok beslutning; først 30 år senere gikk tepet opp for fisjon og kjedereaksjoner,

atomkraft på stor skala. Men banebrytende tanker trenger ikke være i takt med tiden. Jakten på Urstoffet – som vi nå produserer små mengder av på CERN gjennom relativistiske kollisjoner av tunge atomkjerner – ble gitt svake odds da pionerene tok fatt en generasjon tilbake. I dag vet vi at Urstoffet er en ideell væske med overraskende liten seighet (viskositet), ekstremt het (1/2 million ganger temperaturen i solens indre) og med ekstrem energitetthet, flere hundre ganger nukleonets, flere tusen ganger atomkjernens. Urstoffet er nå målt og veid!