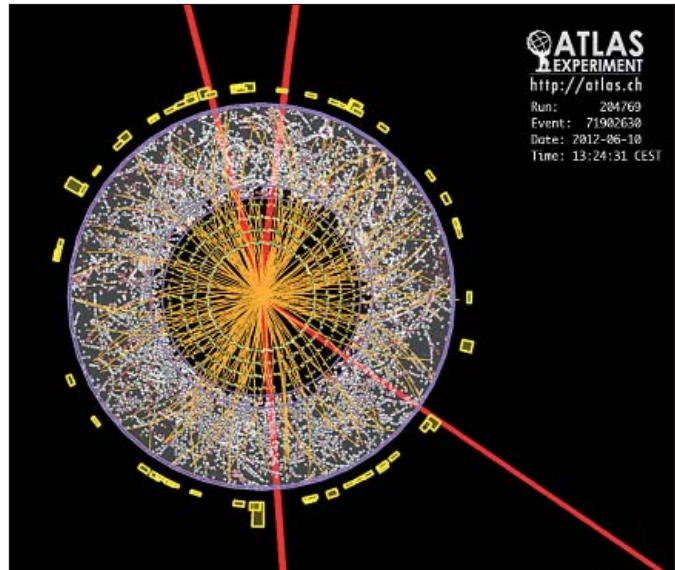


En skitse fra James Clerk Maxwells "A Treatise on Electricity & Magnetism", som viser hans fortolkning af "æteren" – dvs. den allestedsnærværende substans, som lyset udbreder sig i som bølger. Med Einsteins relativitetsteori forsvandt behovet for en sådan æter.



Målinger fra i ATLAS-detektoren: De røde linjer repræsenterer spor af såkaldte muoner med den rette energi til at repræsentere produktionen af en Higgs-partikel. Alt det andet krumskrams er spor af andre partikler, der dannes, når to protonstråler bringes til at kollideres i kollisionen ved CERN.

Illustration: CERN

days opdagelser af de elektromagnetiske love og især skotten James Clerk Maxwells forklaring af lys som elektromagnetiske bølger, ændrede opfattelsen af vakuum sig. Hvis lys var bølger, måtte det jo være bølger "i noget", men hvad var dette noget? Man kendte til bølger i vand, til lydbølger som trykbølger i luften, men hvad var det, lyset bølgede i? I mangel af bedre kunne man i det mindste give det et navn: "æteren". Maxwell konstruerede endda en mekanisk model af æteren. Modellen var en meget konkret samling af kugler og tandhjul, der hvirvler rundt mellem hinanden.

Maxwell var en dygtig matematiker og kunne vise, at hans model var beskrevet af de samme ligninger som dem, man havde opdaget styrer og beskriver de elektromagnetiske fænomener. Mod slutningen af århundredet blev der gjort ihærdige forsøg på at måle æteren, fx forsøgte man at finde ud af, om jorden bevæger sig i forhold til æteren. Alle disse forsøg var forgæves og hele historien kulminerer med Albert Einstein, der i 1905 i relativitetsteorien ændrer

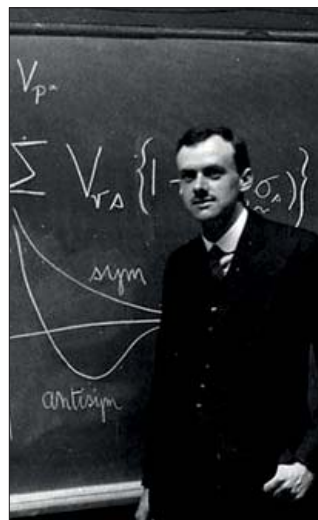
vores opfattelse af rum og tid. Især fordi han derved kunne afskaffe æteren, men bevare Maxwells ligninger og forklaringen på Ørsted og Faradays fænomener.

I 1905 fremsatte Einstein en anden revolutionerende teori, nemlig at lys slet ikke er bølger, men snarere partikler – fotoner. Denne teori baserer sig på det nyligt opdagede princip i naturen: Kvantet. Kvanteteorien udvikler sig i de næste 20 år, hvad vi her i Danmark ved alt om, da Niels Bohr jo spillede en afgørende rolle.

Det tomme rum fyldes

Ironisk nok gør kvanteteorien, at det tomme rum, vakuum, helt må gentænkes, og det blot nogle få måneder efter, at Einstein endelig har gjort det af med æteren. Kvanteteorien gør op med klassiske begreber som "sted" og "hastighed". Fx giver det ikke megen mening at tale om en elektrons sted og dens hastighed, og da slet ikke samtidigt. Den naturlige verdens partikler kerer sig ikke meget om de begreber, vi mennesker benytter, når vi skal beskrive fx en fodbolds bevægelse rundt

på grønsværen. Den er til hvert tidspunkt et eller andet sted, og dens hastighed ændrer sig i overensstemmelse med de klassiske fysiske love, som Newton i sin tid formulerede. I den mikroskopiske verden er alt anderledes ubestemt. Denne ubestemthed gælder også elektricitet og magnetisme. Selv i det tomme rum – uden lys



Den engelske fysiker Paul Dirac viste i sin teori for elektronen fra 1929, at vakuum består af et altgennemtrængende "hav" af elektroner med negativ energi.

og partikler – vil der være små hurtigt vekslede elektriske og magnetiske felter, de såkaldte "vakuumfluktuationer".

Det tomme rum blev med et slag fyldt med noget. Ideen udvikler sig hurtigt. Den unge engelske fysiker, Paul Dirac, viser i sin teori for elektronen fra 1929, at vakuum består af et altgennemtrængende "hav" af elektroner med negativ energi. Disse elektroner kan ikke umiddelbart opfattes, men en tilstrækkelig energirig lyspartikel – en foton – kan ramme en af disse elektroner med negativ energi, aflevere al sin energi til elektronen, som så får en positiv energi.

Hele processen ender med en elektron med positiv energi og ikke mindst et "hul" i havet af elektroner. Dette hul kaldte Dirac en "positron" – elektronens anti-partikel. Ideen om antistof var født.

Superleder leder vejen

I 1911 gør den hollandske fysiker Kammerlingh Onnes en opdagelse, som skal vise sig at få helt afgørende konsekvenser og ultimativt lede til Higgs-partiklen.

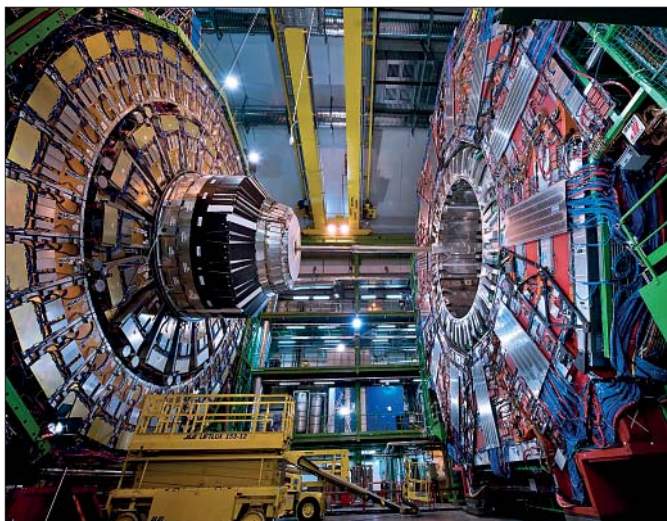


Foto: CERN

CMS-detektoren, der sammen med ATLAS-detektoren på CERN, bruges til at registrere Higgs-partiklen.

Onnes er fantastisk dygtig til at køle alt muligt ned og finder helt overraskende, at når almindelige metaller køles ned til nogle få grader over det absolutte nulpunkt – dvs. -273 grader Celsius – så forsvinder al elektrisk modstand. Det er meget bemærkelsesværdigt. Det er en almindelig erfaring, at alting slides og nedbrydes i det lange løb. Hvis man cykler og holder op med at træde i pedalerne, vil cyklen efterhånden gå i stå, uanset hvor velsmurt cyklen er. Men hvis man sætter en elektrisk strøm i gang i en superleder, så vil den blive ved med at køre til evig tid! Den effekt udnyttes faktisk i CERNs meget kraftige – og i visse tilfælde danskproducerede – elektromagneter.

Det viser sig i 1920'erne og 30'erne desuden, at superledere overhovedet ikke tillader hverken elektriske felter eller magnetfelter at trænge ind i deres indre – et fænomen, man kalder Meissnereffekten. Kombinerer man det med, at lys er elektromagnetisk stråling, der består af fotoner, så kan Meissnereffekten også udtrykkes som, at fotonerne inde i en superleder har fået masse. Einsteins berømte formel $E = mc^2$ siger, at en massiv partikel mindst har energien mc^2 . Hvis fotonen udenfor superlederen har en lavere energi, så har den simpelthen ikke energi nok til at trænge

ind i superlederen, da den som minimum skal bruge energien mc^2 til at danne sin masse i superlederen. Vi har siden 1957 haft en fuldstændig kvantemekanisk forklaring på, hvordan dette fænomen præcist opstår.

Higgs-partiklen som lydølge

I begyndelsen af 1960'erne forslår bl.a. Peter Higgs, og Nobelpristagerne Steven Weinberg og Abdus Salam, at man på tilsvarende vis kan forklare, at mange andre partikler i atomkernerne har masse, hvis man postulerer, at hele Universet gennemtrænges af en ny slags "superleder". Denne universelle superleder eksisterer selv i vakuum, og hvis universet er koldt nok – mindre end mange millioner grader Celsius, så vil universet blive "superledende" og partiklerne vil få masse.

På det tidspunkt er fysikernes ide, at det tomme rum altså er alt andet end tomt. Der er elektromagnetiske vakuumfluktuationer, et hav af elektroner (og kvarker og neutrinoer og andre senere opdagede såkaldte *fermioner*) med negativ energi, samt den universelle superleder foreslået af Higgs. Problemet var blot at måle dette indhold.

De to første ingredienser er for længe påvist eksperimentelt, men hvad med "superlederen"?

Her kan man tænke på en

analogi, som fx Vesterhavet. Hvis man er en fisk i havet vil man højst sandsynligt opfatte vandet som en del af vakuum – når alt andet – dvs. andre fisk, tang, plankton mv. – er fjernet, så er kun vandet tilbage, og det kan man aldrig undslippe. En tænksom torsk vil dog alligevel kunne opfatte vandet ved at slå et slag med halen og derved drive sig selv fremad. Samtidig vil nemlig en trykbølge i vandet blive sendt bagud, og torsken vil på den måde "erfare", at vakuum faktisk består af noget. De fleste medier kan være bærer af trykbølger – i daglig tale lydølger. Og ved – som torsken – at slå hårdt nok på vakuum-superlederen, kan man gøre sig håb om at generere en lydølge. Ifølge teorien er det muligt, og Higgs-partiklen er faktisk en sådan bølge. Ifølge kvanteteorien er bølger og partikler to sider af samme sag, derfor skal man ikke lade sig forvirre af, at denne lydølge kaldes en "partikel".

Et bidrag til den store fortælling

Det, der altså er observeret ved CERN i det forløbne halve år, er altså lydølger i den Universelle superleder. Hidtil har man ikke vidst, hvor "hårdt" der skulle slås, og hvilken frekvens bølgen rent faktisk har, men det ved vi altså nu. Nu kan man for alvor gå i gang med at studere vakuums detaljer. Blot fordi man har konstateret et mediums blotte eksistens ved at anslå en lydølge, er det jo ikke det samme som at kende mediets sande opbygning.

Kan mediet måske også forklare andre indtil videre uforklarede fænomener som det underlige mørke stof, som tilsyneladende kun kan måles ved hjælp af tyngdekraften? Vi ved det ikke, og der er stadig meget langt til målet om at nå en grundlæggende forklaring på Universets opførsel.

Den egentlige værdi af disse studier er ikke deres teknologiske nyttevirkning, men bidraget til den store fortælling om verdens skabelse og Naturens sande væsen. ■

Om forfatteren



Per Hedegård er professor ved Niels Bohr Institutet hedegard@fys.ku.dk

Per Hedegård arbejder med teoretisk faststoffysik, som fx inkluderer teorien for superledere.

Videre læsning:

Per Hedegård: *Forenede Elektroner A/S - om superledning og kvanteteori*. Munksgaard 1991.