

Kvanternes Nirvana

Tomrummet er slet ikke så tomt endda. I tomrummet foregår der en stadig skabelse og tilintetgørelse af partikler, og faktisk kan man måle effekterne af denne konstante aktivitet.

Af Ulrik Ingerslev Uggerhøj

■ Når Tor Nørretranders udtaler at »alting består mestendels af ingenting« har han i høj grad ret: Den fysiske virkelighed består basalt set af tomrum og vekselvirkninger mellem partikler, der ikke har nogen kendt udstrækning. Universet er set på denne måde stort set det rene ingenting, og det er derfor af stor interesse at forstå dette tomrum – det såkaldte vakuum. I tråd med religionens Nirvana, der betegner tomhed og den ultimative virkelighed, kunne man kalde det "Kvanternes Nirvana" idet elementarpartiklerne i vakuum er selvudslettende og på sin vis definerer et ultimativt nulpunkt.

Men hvordan ser kvanternes Nirvana ud? Det er ikke et totalt fravær af alt, men derimod en stadig "summen" af partikler, der bliver skabt og kort efter tilintetgjort. Disse flygtige partikler – kaldet virtuelle partikler – har faktisk en målelig indflydelse på stoffet i universet, f.eks. atomernes struktur.

Atomer er næsten tomme

»Alt hvad jeg ser, er vibrerende atomer« lød det i en sang af Kliché i 80'erne. Og det er på en måde rigtigt nok, for alting består som det nok er de fleste bekendt af atomer. Men at ato-



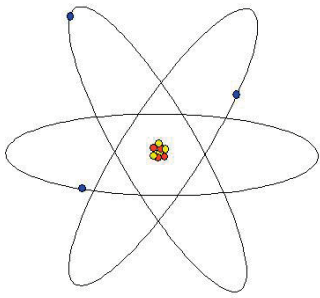
Universet består mestendels af tomrum. Men selv i tomrummet er der konstant aktivitet, idet partikler uophørligt skabes og tilintetgøres. Foto: NASA højere opløsning....?

merne næsten er helt tomme er nok en overraskelse. Atomerne består af en atomkerne og elektroner, der bevæger sig omkring kernen. I Bohrs atommodel bevæger elektronerne sig i baner, der i nogen udstrækning kan sammenlignes med Jordens bane om Solen. En typisk tegning af et atom kan se ud som

på figur 1, hvor kernen ses i midten med elektronbanerne tegnet udenom. Størrelsesforholdet er dog stærkt misvisende: Hvis atomkernen er på størrelse med et punktum i en bog befinder elektronerne sig 100 m væk! Sagt på en anden måde: Hvis man forestiller sig et atom på størrelse med København er

kernen kun lidt større end en knyttet hånd. Derimellem er der tomt.

En anden ting, som ikke umiddelbart kan ses af tegningen er, at elektronernes baner – i modsætning til planetbaner – ikke er "flade". At banerne er mere som kugleskaller end cirkler kan kun forstås ud fra teorien



Figur 1. Bohrs atommodel

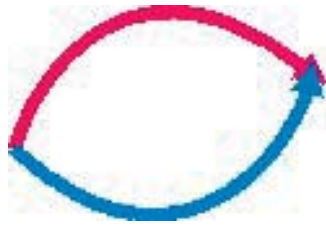
for atomer, nemlig kvantemekanikken. Man kan således sige, at det er et resultat af kvantemekanikken, at du ikke er 100.000 gange mindre i den ene retning. Atomer er ikke flade, fordi elektronerne "fylder" i alle rummets retninger, ikke kun i to.

Atomerne er altså stort set tomrum. Går man til den anden yderlighed af størrelser og betragter hele det synlige Univers, er den gennemsnitlige tæthed af atomer ca. 1 atom pr. kubikmeter. Her er der altså også tale om stort set det rene tomrum. Du er således en usædvanligt tæt pakket samling atomer!

Virtuelle partikler

Alt hvad vi ser, mærker, hører eller på anden måde erfarer er altså sammensat af atomer, der hovedsageligt er det rene tomrum. Men det tomme rum er ikke fuldstændigt tomt. I tomrummet foregår der en stadig skabelse og tilintetgørelse af partikler. Dette er en konsekvens af et fundamentalt princip inden for fysikken – nemlig det såkaldte ubestemthedsprincip. Princippet siger, at man ikke på samme tid kan bestemme en elektrons position og bevægelsesretning vilkårligt præcist (se boks).

Tilsvarende ubestemtheden af position og retning gælder der en ubestemthedsrelation for energi og tid, nemlig at produktet af ubestemtheden i tid og i energi skal være større end en vis størrelse (Plancks konstant). En konsekvens af dette er, at man kan låne i "energibanen" ligeså meget energi man vil (og dermed gøre energien



Figur 2. Illustration af processen, hvor en partikel og dens antipartikel skabes for kort efter at mødes igen, hvorved de tilintetgøres hinanden.

ubestemt), blot skal der betales tilbage inden for et tidsrum, der bliver mindre jo mere man låner. Idet energi og masse er to sider af samme sag (Einstein's berømte $E=mc^2$) kan man altså skabe partikler ud af ingenting, hvis blot de forsvinder igen ganske kort tid derefter! Processen er illustreret i figur 2, hvor en partikel (blå) og dens antipartikel (rød) bliver skabt for derefter at mødes igen, hvorved de tilintetgøres hinanden.

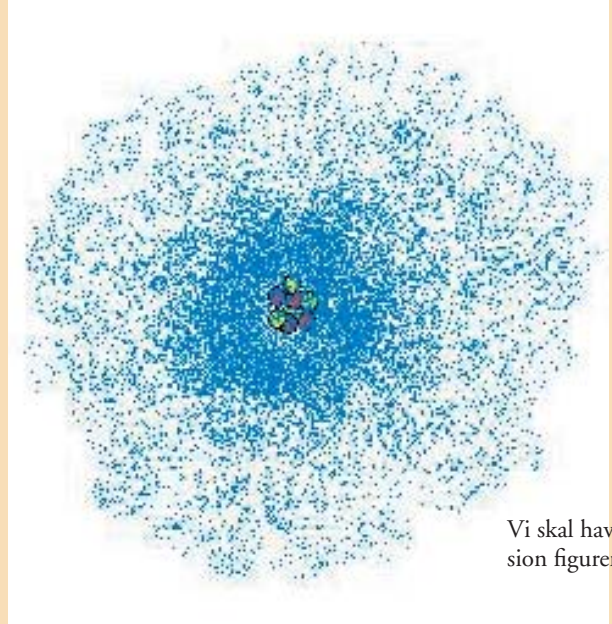
Disse såkaldte virtuelle partikler skabes og tilintetgøres uophørligt. Selvom de har en uhyre kort eksistens, har de dog en målelig virkning på mange fysiske fænomener. Således kan man beskrive den gensidige påvirkning af to magneter, der føres tæt på hinanden som, at magneterne kommunikerer ved konstant at udsende og opsamle virtuelle partikler. Figur 3 viser skematisk, hvordan en elektron påvirker en anden elektron, ved at de konstant udveksler virtuelle lyspartikler.

Unruh-effekten

Men hvordan kan vi være sikre på, at de eksisterer, disse partikler, der både er der og ikke er der?

Effekterne af de virtuelle partikler kan måles på flere måder. F.eks. er det lys, der udsendes fra atomer, ændret en anelse i farven i forhold til, hvis vakuum virkelig var tomt. En anden virkning, den såkaldte Casimir-effekt (se boks næste side), er, at to plader, der er anbragt meget tæt på hinanden, tiltrækker hinanden med en lille kraft, fordi de virtuelle partikler populært sagt skubber mere

Ubestemthedsprincippet



Vi skal have en bedre version figuren her

Ubestemthedsprincippet blev opstillet af den tyske fysiker Werner Heisenberg sidst i 1920'erne. Princippet siger, at man ikke på samme tid kan bestemme en elektrons position og bevægelsesretning vilkårligt præcist. Rent matematisk gælder der, at produktet af ubestemtheden på positionen og på hastigheden, og dermed retningen, mindst skal være af en vis størrelse (denne størrelse er Plancks konstant). Hvis man f.eks. kender elektronens eksakte position kan man overhovedet ikke vide i hvilken retning den bevæger sig - og omvendt, kender man dens bevægelsesretning, aner man ikke, hvor den er.

Dette princip betyder bl.a., at absolut hvile er en umulighed – for ved absolut hvile ved man præcist, hvor partiklen er og samtidigt ved man, hvor den bevæger sig hen, nemlig ingen steder (se figur). Ubestemthedsprincippet kan også forklare, hvorfor atomer er runde og ikke flade. Usikkerheden i hvor og hvorhen elektronen bevæger sig resulterer nemlig i, at elektronens bevægelse bliver diffus og den optræder derfor som en sky snarere end en bane (se figur 2a + b?).

udefra end indefra. Begge disse effekter er blevet målt i laboratoriet og resultaterne stemmer overordentlig godt med det forventede.

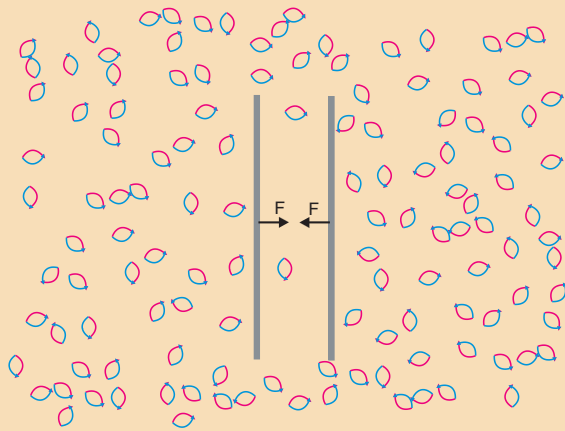
En tredje – endnu ikke målt – effekt er den såkaldte Unruh-effekt, der gør, at en accelereret partikel vil måle en temperatur, der er et resultat af vekselvirkning med de virtuelle partikler. Unruh-strålingen er specielt interessant, fordi der er en tæt forbindelse mellem denne stråling og den såkaldte Hawking-stråling fra sorte huller. Et sort hul er et objekt, der er så kompakt, at end ikke lys kan undslippe

dets tyngde, hvis lyset udsendes inden for det sorte hulls grænseflade, som kaldes begivenhedshorisonten. I begyndelsen af 70'erne fandt den engelske fysiker Stephen Hawking ud af, at "sorte huller" ikke er fuldstændig sorte, men lyser en lille smule. Hawking regnede sig frem til, at



Figur 3. Illustration af to elektroner, der påvirker hinanden, ved at de konstant udveksler virtuelle lyspartikler.

Casimir effekt



Den stadige "summen" af virtuelle partikler og antipartikler, der skabes og forgår, kan give anledning til en kraft, opkaldt efter den hollandske fysiker Casimir. Anbringes to plane metalplader meget tæt på hinanden forhindres skabelsen af en del af de virtuelle partikler mellem dem. Udenfor pladerne vil der være samme antal virtuelle partikler, som hvis pladerne ikke var der. Underskuddet mellem pladerne giver anledning til kraften, F , stort set ligesom et undertryk giver anledning til en kraft på væggene af en udpumpet beholder.

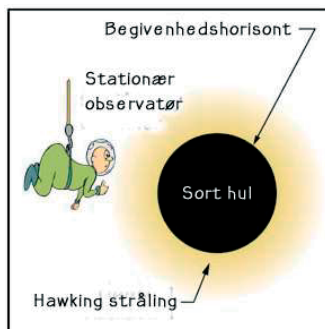
Populært sagt hindres dannelsen mellem pladerne af samme grund som et musikinstrument har en dybeste tone der ingen undertoner har. F.eks. kan en guitarstreng ikke svinge med en bølgelængde, der er mere end dobbelt så lang som guitaren (idet strengen skal have knudepunkt i begge ender), men sagtens med en kortere bølgelængde. Der er altså mulighed for flere 'toner' udenfor pladerne end mellem dem.

der tæt på horisonten kan skabes et par af en partikel og dens antipartikel. Den ene kan "falde ind" i det sorte hul, mens den anden kan undslippe og derved give stråling fra det sorte hul

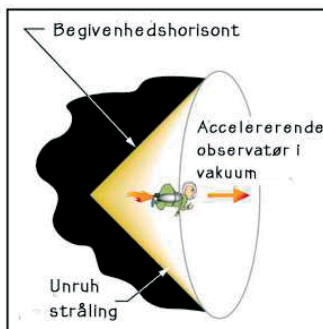
Kvantemekanik i stærke tyngdefelter

Hawking-strålingen repræsenterer et enestående samspil mellem kvantemekanik og tyng-

dekraft. Når fysikere beskriver fysiske objekter kan man som regel fuldstændigt negligere enten kvantemekanikken eller tyngdekraften, idet den anden teori beskriver objektet præcist. Hvis man eksempelvis beskriver atomer, er tyngdekraftens påvirkning af atomet ufattelig meget mindre (ca. en faktor 10^{43}) end de elektriske kræfter, der giver kvanteeffekterne.



En stationær observatør udenfor et sortt hul ser den termiske Hawking-stråling.



En accelererende observatør i vakuum ser en Hawking-lignende stråling kaldet Unruh stråling.

Men i Hawking-strålingen kan man ikke nøjes med kun at betragte den ene teori, og derfor er fysikerne meget interesseret i at måle den. Der er dog kolossale vanskeligheder forbundet med en evt. måling af Hawkings-stråling, bl.a. fordi lysstyrken er størst for små sorte huller, der lever i meget kort tid og derfor formentlig ikke findes længere i Universet.

Da der imidlertid er en besnærende lighed mellem Unruhs og Hawkings stråling, kan måling af Unruh-stråling være en genvej til Hawking-strålingen.: Med en måling af Unruh-stråling vil man eksperimentelt, dog indirekte, kunne lære om kvantemekanik i stærke tyngdefelter – en kombination, der siden Einstein har voldt den teoretiske fysik voldsomme kvaler.

Kunsten at imitere et sortt hul

Der findes en del forslag til metoder, hvormed man i praksis kan måle Unruh-effekten. Hvis man vil simulere de ekstreme forhold ved et sortt hul – dvs. den enorme tyngde – kan man udnytte, at der ifølge det såkaldte ækvivalensprincip ingen forskel er på gravitation og acceleration. Der er med andre ord ingen forskel på at accelerere opad i en elevator og det at befinde sig i et lidt stærkere tyngdefelt – i begge tilfælde bliver man tungere. Altså kan man i princippet imitere forholdene nær begivenhedshorisonten ved et sortt hul ved at accelerere en partikel tilpas voldsomt.

Hidtil har ingen dog præsteret en overbevisende måling af Unruh-effekten, så vi venter stadig i spænding på de første målinger, der kan give et fingerpeg om, hvordan kvanterne manøvrerer ud af et sortt hul.

Mens vi venter på en overbevisende måling, kan vi i det mindste ud fra de allerede udførte målinger og teorier konkludere, at det tomme rum ikke er helt tomt, men en evig dannelse og destruktion af partikler: Kvanternes Nirvana er ikke "den evige hvile" og fravær af alt, men indeholder modsætningerne skabelse og tilintetgørelse og er en vigtig del af den fysiske virkelighed. ■



Om forfatteren
Ulrik Uggerhøj er Steno-
stipendiat ved Institut for
Fysik og Astronomi
Tlf.: 8942 3738
E-post: ulrik@phys.au.dk

Videre læsning...???