

Kvantemekaniske kuldegysninger i Århus

Da forskere ved Institut for Fysik og Astronomi på Aarhus Universitet forleden producerede Nordens første Bose-Einstein kondensat satte de ikke bare en eftertrykkelig kulderekord, de åbnede også døren på klem til en underfundig kvanteverden.

Kvantemekanikken er den vel nok mest succesrige teori i fysikken. Den styrer atomernes mikroverden, og fortæller os, at Naturen på mange måder er indrettet på en måde, der strider mod vores dagligdags intuition. I kvantefysikken kan det hænde, at objekter befinder sig flere steder på én gang, eller at kvanteklitrere istedet for at tage den lange vej over toppen af et bjerg tager en genvej tværs igennem det via en ikke eksiterende tunnel. Når den slags kvantekrumspring forekommer os uvante og besynderlige skyldes det, at kvantemekanikken normalt ikke manifesterer sig i vores makroverden. Den er godt nok essentiel for mange af de teknologier vi drager nytte af i hverdagen, så som lasere og mikrobølgeovne, men vi oplever eksempelvis aldrig, at et bord kan stå to steder på samme tid. Niels Bohr forklarede, at de besynderlige kvantelove afløses af den velkendte klassiske mekanik, når de objekter vi ønsker at beskrive bliver tilpas store. Men hvor går grænsen?

Med et Bose-Einstein kondensat kan man begynde at nedbryde grænsen mellem den kvantemekaniske og den klassiske verden. Kondensatet er en sky af atomer, der opfører sig som et sammenhængende kvantemekanisk objekt. Men fordi der er tilpas mange af dem, er gasskyen så stor, at den netop kan ses med det blotte øje. Et Bose-Einstein kondensat efterlever således kvantemekanikkens love, på trods af at det hører til i makroverdenen. For at se denne kvantemekaniske opførsel er det nødvendigt at nedkøle atomerne til ekstremt lave temperaturer. Historien om denne iskolde kvantegas tager sin begyndelse for mere end 80 år siden, og handler om exceptionel fremsynethed og heroiske eksperimentelle bedrifter.

I 1924 blev Albert Einstein kontaktet af den unge bengalske fysiker Satyendra Nath Bose, der ønskede at fortælle Einstein om sine beregninger vedrørende lyspartikler. Einstein hjalp Bose med at få resultaterne offentliggjort i Vesten, men generaliserede derudover teorien og forudsagde herunder en ny tilstandsform, kaldet et Bose-Einstein kondensat. Fænomenet kan finde sted i en atomsky, som er nedkølet til en rekordlav temperatur, blot få milliarddele af en grad over det absolutte nulpunkt, minus 273.15 grader Celcius. Ved så lav en temperatur ligger atomerne under for kvantemekanikkens underlige love. Det betyder, at alle atomerne i gassen udtværes i en sådan grad, at de overlapper hinanden, og det bliver umuligt at skelne mellem dem. De mister deres selvstændighed og smelter sammen i ét stort kvanteobjekt, Bose-Einstein kondensatet. Kondensatet består af atomer, der alle svinger i takt, og som tilsammen udgør en gigantisk stofbølge, et veritabelt superatom.

På trods af glødende interesse i Einsteins forudsigelse lykkedes det først i 1995 at danne et Bose-Einstein kondensat i en gas af ultrakolde atomer. For denne bedrift tildelte det

kongelige svenske videnskabs akademi i 2001 Nobelprisen i fysik til Eric Cornell, Carl Wieman og Wolfgang Ketterle. Idag har mere end 50 eksperimentelle grupper verden over produceret Bose-Einstein kondensater, som de undersøger og anvender i stadig mere avancerede forsøg. Men til trods for at kondensaterne bliver stadig mere almindelige er det langt fra en triviell opgave at lave sit eget. Det afslører et enkelt blik på Michael Buddes forsøgsopstilling: Den er et sandt virvar af lasere, der løber på kryds og tværs, samt spejle og andre optiske elementer, som for en udenforstående syntes at stå hulter til bulter, men som alle er placeret med største omhu og præcision. Endelig er der vakuum kammeret, hvori kondensatet dannes, lever og dør. Dette stålkammer holder den skrøbelige atomsky isoleret fra omverdenen, så kondensatet kan overleve længe nok til at blive studeret og manipuleret.

For at producere et Bose-Einstein kondensat skal atomskyens temperatur sænkes til blot 0,0000005 grader over det absolutte nulpunkt. Det er 6 millioner gange koldere end det tomme rum i Universet. For at nå så ekstremt lave temperaturer anvender forskerne en sindrig kombination af laserlys og magnetfelter. Først køles atomerne i en kombination af 6 laserstråler, som danner en slags optisk gelé, der bremser atomerne. Da temperaturen blot er et udtryk for hvor hurtigt atomerne bevæger sig, falder den i takt med at atomerne bevæger sig lagsommere. Men laserkøling alene er normalt ikke nok til at presse temperaturen så meget ned, at et Bose-Einstein kondensat kan dannes. Derfor fortsætter man kølingen ved at slukke for laserlyset og istedet holde fanget atomerne ved hjælp af et magnetfelt. Fra denne magnetiske fælde kan man selektivt "fordampe" de hurtigste atomer, således at de forsvinder fra gassen. De tager en masse energi med sig, og de resterende atomer opnår hermed en lavere temperatur. Processen svarer fuldstændig til den måde en kop kaffe afkøles på, men hvor man kan fjerne den fordampede kaffe blot ved at bæse hen over koppen, kræver det avanceret elektronik at skaffe sig af med de varmest atomer i gasskyen. Men anstrengelserne bærer i sidste ende frugt. I Michael Buddes laboratorium ender man med et kondensat, der består af ca. 1 million atomer, og som er ca. 0.2 mm langt. Med et digitalkamera kan man tage billeder af den kvantemekaniske sky af atomer.

De første eksperimenter bestod mest i at puffe til kondensatet eller ryste det for at se hvordan det reagerede. Herved lærte man en masse om hvordan Bose-Einstein kondensater opfører sig, en viden, der kunne anvendes til at planlægge mere dybdegående eksperimenter. Et eksempel på disse anstrengelser var da danske Lene Hau i 1999 brugte et Bose-Einstein kondensat til at bremse lyset ned til fodgængerhastighed. I Århus planlægger forskerne i Michael Buddes gruppe at udforske kondensatets opførsel i periodiske strukturer dannet af sammenfaldende laserstråler. Disse danner en optisk analog til en æggebakke, hvori atomerne placerer sig i bakkedalene. Når lasernes intensitet er forholdsvis lav kan atomerne frit glide gennem æggebakken ved at udnytte virtuelle kvantetuneller gennem bakketoppene. Men ved at skrue op for laserintensiteten låser man istedet atomerne fast i hver sin bakkedal. Man kan herved skabe helt unikke kvantefysiske systemer, som ikke findes andre steder i Naturen. Det er imidlertid ikke alle atomer, der kan danne et Bose-Einstein kondensat. Faktisk kan man inddеле atomer i to klasser, som kaldes bosoner og fermioner, og det er kun bosonerne, der kan Bose kondensere. Fermionerne har en helt anden opførsel ved ekstremt lave temperaturer, og

på længere sigt er det kvantegasgruppens mål at studere, hvad der sker, når man blander fermioner i Bose-Einstein kondensatet, og at studere egenskaberne af disse Fermi-Bose-blandinger.

Michael Buddes gruppe er ikke alene om at arbejde med kolde atomer. To grupper i København arbejder også på at lave et Bose-Einstein kondensat. På H. C. Ørsted Instituttet vil Jan Thomsen studere kondensater, hvis atomer kan befinde sig i mere end én indre tilstand. Det giver anledning til effekter, der minder om magnetisme. Jörg Helge Müller på Niels Bohr Instituttet vil istedet udnytte BECs unikke optiske egenskaber til at lagre lypulser. På grund af kondensatets høje optiske tæthed er koblingen mellem atomerne og lyset stærkere end for en klassik gas. Derfor skulle det være muligt at overføre information fra en lypuls til et kondensat for senere at læse dem ud igen. Et Bose-Einstein kondensat vil på den måde kunne fungere som en slag kvante-harddisk.

Det første Bose-Einstein kondensat på dansk grund understreger, at vi i Danmark deltager aktivt i den grundforskning, der afdækker de dybere hemmeligheder om den verden vi lever i.