



Relativitetsteorien

Albert Einsteins navn er uløseligt knyttet til relativitetsteorien. I et kreativt rush på linie med de største kunstneres præstationer skabte han i begyndelsen af århundredet et intellektuelt bygningsværk, der for altid vil påvirke vore tanker om naturen.

Illustration: NASA/Goddard Space Flight Center

Af Benny Lautrup

■ Et gennemgående tema i fysikkens historie er, at oprindeligt forskellige teorier bliver samlet til mere omfattende teorier. Selv Newtons mekanik med tyngdeloven kan ses som en forening af Galileis jordiske kinematik og faldlov med Kopernikus og Keplers forståelse af planeternes bevægelser. Termodynamikken blev omkring 1850 skabt som en samlet teori for energi, varme og mekanisk arbejde, og Maxwell forenede i 1865 elektricitet og magnetisme med sine berømte ligninger. I de sidste år af det 19. århundrede skabte Gibbs og Boltzmann den statistiske mekanik, som forener termodynamikken med Newtons mekanik.

Einsteins specielle relativitetsteori er et fornemt eksempel på en sådan forening, nemlig af

mekanikken og elektromagnetismen. Selv om den samlede teori for elektromagnetisme og newtonsk mekanik forekom besnærende ligetil, førte den alligevel til nogle paradokser, når man forsøgte at forstå leger, der bevægede sig gennem elektromagnetiske felter. Elektromagnetiske bølger ansås desuden for matematisk sammenlignelige med lydølger, men et eksperiment udført af Michelson og Morley i 1887 viste, at dette alligevel ikke kunne være tilfældet. Lyset kunne tilsyneladende ikke "blæses med af ætervinden" i analogi med den velkendte erfaring, at et råb rives med af stormen. Andre eksperimenter syntes også at stride mod analogien mellem lyd og lys. Det så faktisk ud til, at lysets hastighed hverken afhang

af lyskilden eller modtagerens bevægelse. Maxwells forestilling om, at der skulle eksistere en altgennemtrængende elastisk "æter" som bærende medium for elektromagnetiske bølger, var vanskelig at forene med disse eksperimenter.

Entré Einstein

Det var i denne atmosfære, Einstein trådte ind som student ved den tekniske højskole i Zürich i årene 1896-1900. Da det efter afslutningen af studierne ikke lykkedes ham at skaffe sig et egentligt akademisk job, blev han i 1902 ansat som teknisk ekspert af tredje klasse ved patentkontoret i Bern.

1905 blev et annus mirabilis for den unge mand – og for resten af verden. I marts afsluttede han en artikel om forklarings-

gen på den fotoelektriske effekt på grundlag af Plancks kvantehypotese, et arbejde der senere skulle give ham Nobelprisen. I april indsender han en doktorafhandling til højskolen i Zürich om bestemmelsen af molekylers størrelse, og blot elleve dage senere indsender han den artikel om brownske bevægelser, der nogle få år senere skulle føre til en præcis bestemmelse af Avogadros tal og dermed molekylers størrelse. I slutningen af juni indsender han sin første artikel om den specielle relativitetsteori og i slutningen af september den anden.

Rum og tid relative

Titlen på den første artikel, Zur Elektrodynamik bewegten Körper, vidner om, at den ikke stod isoleret, men var et indlæg i den

Den største betydning af Einsteins relativitetsteori har nok været de ekstraordinære og eksotiske fænomener, den forudsiger – for eksempel sorte huller. Billedet er en visualisering af et supermassivt sort hul i centret af galaksen MCG-6-30-15.

←

løbende debat om foreningen af elektromagnetisme og mekanik. I stedet for at gå i rette med Maxwells nye elektromagnetiske teori, viste Einstein, at det var selve fundamentet for den Newtonske mekanik, der stred imod Maxwells ligninger. Med overbevisende og enkel logik udvidede han det relativitetsprincip, der allerede var kendt fra den newtonske mekanik, til at omfatte alle fænomener, også de elektromagnetiske. Han antog desuden, at lyshastigheden var den samme for alle iagttagere, hvorved æteren blev afskaffet fra begyndelsen.

De fysiske og begrebsmæssige konsekvenser af Einsteins enkle analyse af rum og tid var enorme. Først og fremmest betød det, at lyshastigheden var den størst mulige hastighed, men desuden mistede begreber som samtidighed, længde og tidsrum deres absolutte mening og kunne kun defineres relativt til den enkelte iagttager.

I sin anden artikel fra september 1905 viste han, at energi og masse som en konsekvens af relativitetsteorien var ubrydeligt forbundne gennem fysikkens nok berømteste ligning, $E=mc^2$.

Rummets indre geometri

I sine første artikler fokuserede Einstein på elektromagnetismens forening med mekanikken og gik uden om tyngdekraften, men dette spørgsmål tog han op i årene fra 1905 til 1915. Galileis grundlæggende observation, at tyngdekraften accelererer alle legemer på den samme måde, blev vendt om og gjort til et postulat, ækvivalensprincippet, med det indhold, at det principielt ikke er muligt at skelne acceleration fra tyngdekraft inden for tilstrækkeligt små områder af rum og

tid. Dette princip muliggjorde foreningen af tyngdekraften, elektromagnetismen, og den specielle relativitetsteori i den almene eller generelle relativitetsteori. Mens skabelsen af den specielle relativitetsteori var en ungdomsbedrift, er hans artikel om den almene relativitetsteori, Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie fra 1916, et formidabelt manddomsværk, der stadig kan læses som en fin introduktion til emnet.

Konsekvensen af foreningen af tyngdekraften med den specielle relativitetsteori er, at tyngdekræfter nu kan opfattes som udslag af rummets indre geometri. Der, hvor der findes varierende tyngdekræfter, er rum og tid ikke længere flade men krummer i sig selv, og jo større variationen i tyngdekraften er, desto større er krumningen. Krumningen er en indre egen- skab ved rum og tid, som altså ikke behøver at krumme ind i noget som helst.

Ekstotiske fænomener

Den første eksperimentelle bekræftelse af den almene teori blev allerede foretaget af Einstein selv med beregningen af nogle bittesmå, men allerede dengang velkendte, forstyrrelser i planeten Merkurs bane. Den næste kom i 1919 med Eddingtons observation af lysets afbøjning i nærheden af Solen under en solformørkelse, og førte nærmest til en helgenkåring af Einstein. Gennem resten af det 20. århundrede fortsatte den eksperimentelle efterprøvning af den almene teori. Men teoriens største betydning har nok været de ekstraordinære og eksotiske fænomener, den forudsiger. Ud over den nu veletablerede universelle ekspansion af universet, begyndende med Big Bang, forudsiger den sorte huller, gravitationelle linser der afbøjer lyset omkring fjerne galakser, og tyngdebølger eller gravitationsstråling.

Indtil for forholdsvis nylig blev disse fænomener mest betragtet som kuriøse, og mange betvivlede, at det nogensinde ville blive muligt at bekræfte deres eksistens. I de senere år er der imidlertid gennem astrono-

miske observationer kommet meget stærk evidens for eksistensen af enorme sorte huller i galaksernes centre, og gravitationelle linser er blevet observeret mange steder i universet og anvendes nu som en slags galaktiske forstørrelsesglas til at se meget fjerntliggende objekter. Gravitationsstrålingen er set indirekte i hurtigt roterende binære stjernesystemer, hvor mindst en af stjernerne er en neutronstjerne.

Teorier om alting

Foreningen af den almene relativitetsteori og kvantemekanikken er endnu ikke sket, selv om teoretikerne begyndende med Einstein i mere end et halv århundrede har gjort sig de største anstrengelser i denne retning. En samlet teori for alle kræfter er fysikkens drøm. Det kan endda være, at den allerede er konstrueret og går under navnet superstringteorien, uden at det endnu har været muligt at bekræfte denne eksperimentelt. Ikke desto mindre er der beregninger, som antyder, at det syn på vores verden, som denne forening af alle kræfter vil give os, er langt mere eksotisk, end nogen tidligere havde forestillet sig. Sorte huller, der langsomt fordamper, ormehuller som forbinder fjerne områder i rum og tid, og skum-agtigt fluktuerende struktur på de mindste afstande.

Kosmologien står i dag i den paradoksale situation, at astronomiske observationer mere end antyder, at omkring 95% af stoffet og energien i universet ikke udsender lys, men dog påvirker galaksernes opførsel og universets ekspansion. Det lysende stof, som kan observeres direkte, udgør altså kun cirka 5% af alt, hvad der findes. Resten er stadig ukendt, selv om det ikke mangler på forslag til, hvad det kan være.

På trods af vores enormt forøgede kendskab til universet, står vi derfor i dag i en paradoksal situation, der er sammenlignelig med den, Einstein mødte for 100 år siden. Det kan meget vel være i opklaringen af dette paradoks, den næste Einstein vil dukke op. ■

$$E = mc^2$$

Om forfatteren



Benny Lautrup er lektor ved Niels Bohr Institutet Københavns Universitet
E-mail: lautrup@nbi.dk

Videre læsning

Abraham Pais: *Subtle is the Lord, Oxford University Press* (1982).

Artiklen er bygget på en artikel oprindelig udgivet i *Hovedområdet* (månedstidsskrift for Det naturvidenskabelige Fakultet under Københavns Universitet), 10. september 1999.