

Tiden og rummet efter Einstein

Af lektor emeritus Erik Høg, Astro og Planetfysik, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet



I vort daglige liv er tiden noget, vi kan aflæse på et ur og således få et tidspunkt, altså en talværdi, for noget, der sker i rummet. Vi kan anbringe begivenheder i rækkefølge ved hjælp af tidspunktet for hver begivenhed. Dette tidsbegreb er en selvfølge for os i det daglige, og i fysikken kaldes det 'absolut tid'.

Vi oplever tidens gang på mange måder: Vi ældes gennem de kemiske processer i os, vi tæller dage og år efter et system, som allerede de gamle babylonere fandt på. Vi måler tiden ved hjælp af ure; romere og grækere kendte vandure og solure, sandure er kendt i Europa fra 1300-tallet. Vi bruger pendulure siden de blev opfundet for 350 år siden. Pendulets regelmæssige svingning blev afløst af svingninger i krystaller af kvarts for snart 100 år siden i de nøjagtigste ure, og nu bruges svingninger i atomer.

Måling af tiden var gennem alle tider en vigtig opgave for astronomer indtil for ca. 50 år siden, da man kunne begynde at stole på atomurene. Klokkeren var 12 middag, når solen stod lige i syd, hvilket kunne fastslå ved direkte observation med en kikkert, opstillet som et passageinstrument, dvs. at man i denne kun kan se solen eller stjernerne, når de passerer nord-syd retningen. Solens gang på himlen i løbet af et år blev fulgt af astronomer, hvorved man kunne fastlægge årets begyndelse.

Fysikkens definition af tiden

Imidlertid er jordklodens omdrejning ikke helt konstant, den bliver efterhånden langsommere. Det blev man klar over for henvend 100 år siden, efterhånden som man fik nøjagtigere pendulure og især kvartsure. Et gennemsnitligt døgn er nu 0.0017 sekund længere end det var for 100 år siden, og døgnets længde varierer i løbet af året med 0.0003 sekund. Derfor kunne man ikke længere definere et sekund, ved at et døgn indeholder $24 \times 60 \times 60 = 86400$ sekunder, og løsningen blev at definere et sekund ved hjælp af atomtid, se boks 1. Astronomiske målinger til definition af tiden var ikke gode nok, men det er stadig en vigtig opgave for astronomer sammen med fysikere at definere tiden.

Den historiske udvikling af begreberne rum og tid strækker sig over 2000 år, men denne artikel behandler mest de sidste god hundrede år, begyndende ved 1905, da Albert Einstein (1879- 1955) fremsatte sin relativitetsteori, som er en ny naturlov.



Et passageinstrument anvendes til måling af tidspunktet, når Solen eller en stjerne passerer meridianen, nord-syd linien. Denne type instrument blev konstrueret af Ole Rømer i 1691, og blev anvendt af astronomer op til ca. 1950 for at kunne stille urene rigtigt. Det viste instrument er transportabelt, bygget i 1870.

Denne teori består af to dele, den specielle relativitetsteori fra 1905 og den generelle relativitetsteori, der fulgte i 1915, men de hører sammen og kan betragtes som en helhed. Den specielle relativitetsteori beskriver tiden og rummet for konstante hastigheder. Den generelle relativitetsteori tager tyngdekraften og ændringer af hastighederne med i de matematiske formler, som loven består af.

Newtons teori for tyngdekraften (fremsat i 1687) bevarer sin store gyldighed, men korrigeres af relativitetsteorien i særlige tilfælde. Det var altså helt forkert og misvisende, når The Times of London den 7. november 1919 skrev: "Newtonian Ideas Overthrown". Det var en trespaltet overskrift på forsiden, efter at man havde fået det første bevis for teoriens rigtighed ved en total solformørkelse. Dermed var Einstein pludselig verdensberømt, og det forblev han - med rette.

Atomtid

De nøjagtigste ure i dag anvender svingningerne i særligt egnede atomer, og man får således atomtid.

Atomurene fremstilles på basis af atomteori, kvanteteori. Sammenligning af urene, som er fordelt over hele verden, kræver anvendelse af tidssignaler, hvor

Boks 1. Atomtid

Herom skriver Encyklopædien: "Atomtid er det mest nøjagtige og konsistente tidsmål. International Atom Tid, TAI, blev introduceret i 1972; en atomtidsskala har dog været tilgængelig siden 1956. Den fundamentale enhed er et sekund (SI-enhed), defineret som 9.192.631.770 perioder af strålingen fra cæsium-133 atomet ved overgang mellem grundtilstandens to hyperfinstruktur-niveauer. Sekundet og TAI anvendes som basis for de andre tidsskalaer. Tidligere var sekundet bestemt ud fra Jordens rotation og Jordens bevægelse om Solen. Ansvaret for beregningen af TAI er overdraget til: 'Bureau International des Poids et Mesures' i Sèvres, Frankrig".

TAI er et gennemsnit af visningen på mange atomure fordelt på laboratorier over hele jorden. Det forhindrer også, at verdens officielle tidsregning påvirkes af, om et enkelt atomur bliver ødelagt. Nøjagtigheden af TAI er bedre end 10-14, svarende til en tusindedel sekund på 3000 år.

man må tage hensyn til relativitetsteorien. Således spiller begge de store fysiske teorier, kvanteteori og relativitetsteori, afgørende roller for den moderne tidsmåling. De burde hellere kaldes naturlove, fordi ordet teori i daglig tale ofte bruges om noget, der er usikkert.

Tid, rum og bevægelse

Fysikerne har erkendt, at begrebet absolut tid eller dagligdags tid ikke dur ved store hastigheder og slet ikke i nærheden af lysets hastighed, hvor man kommer til selvmodsigelser. Man kan ikke altid angive rækkefølgen af begivenheder, hvis de sker på steder, der bevæger sig i forhold til hinanden. Man må anvende begreberne tid og rum ifølge relativitetsteorien, for at få en modsigelsesfri beskrivelse af tiden og rummet. Det er også nødvendigt ved lavere hastigheder, hvis der kræves meget stor nøjagtighed.

Det var Einsteins publikation i 1905, der gjorde dette klart. Han hævdede, at lyshastigheden i vacuum c skal have samme værdi, uafhængigt af lyskildens hastighed, og det er senere bekræftet gennem nøjagtige målinger.

Einstein viser, at et ur går langsommere, hvis man sender det på en rundrejse, i forhold til et ur, som ikke er på rejse. Hvis rejsen går med jævn hastighed v og har varigheden t , vil det rejsende ur have tabt $0,5t(v/c)^2$, når man sammenligner med et ur, man selv har beholdt. Også det har vist sig at stemme. Einstein skrev: ”Man slutter deraf, at et ur ved Jordens ækvator vil gå en lille smule langsommere end et ganske ens ur ved en af polerne. Det drejer sig om $4 \cdot 10^{-5}$ sekunder på et år, så lidt at man slet ikke kunne måle det dengang.

Einsteins teori har bevist sin rigtighed, men den matematiske formulering blev ændret i 1908 på et meget vigtigt punkt af Hermann Minkowski (1864-1909) i hans nye elektrodynamiske teorier i 1908. Han sagde: ”De syn på rum og tid, jeg ønsker at præsentere, kommer fra den eksperimentelle fysik, og deri ligger deres styrke. De er radikale. I fremtiden vil rum for sig og tid for sig være dømt til at svinde ind som skygger, og kun en slags forening af de to vil bevare en uafhængig realitet.”

Minkowski tilførte relativitetsteorien en smuk og simpel matematiske ide om rum-tiden, som er brugt lige siden, og som beskriver fænomenerne på en matematisk meget enkel måde: ”Tre-dimensional geometri bliver et kapitel i fire-dimensional fysik.”

Relativitetsteorien er senere blevet bekræftet i stor detalje, og den har øvet en dybtgående indflydelse på den fysiske tankebygning.

Praktisk betydning af relativitetsteorien

Relativitetsteorien er afgørende for udsendelse af nøjagtige tidssignaler i International Atom Tid, TAI, som nævnt ovenfor. Disse tidssignaler benyttes til rumfart og navigation.

Det er nødvendigt at anvende relativitetsteorien ved beregning af baner og kontrol af satellitter omkring Jorden og i det interplanetare rum. Man beregner banen ved hjælp af Newtons formler påført de små korrektioner, der kræves af relativitetsteorien. En direkte anvendelse af relativitetsteoriens formler til beregningen er i princippet mulig, men alt for kompliceret i praksis. Relativitetsteorien har afgørende betydning for Global Positioning System, GPS. Uden relativitetsteorien ville GPS systemet ikke kunne fungere.

Både den specielle og den generelle relativitetsteori anvendes i GPS. Satellitternes baner hælder 55 grader mod ækvator, de er næsten cirkulære med radius på 26.500 km og omløbstid på 12 timer. I disse baner kræver den specielle relativitetsteori korrektioner op til 100 nanosekunder for at undgå tilsvarende positionsfejl på 30 m. Den generelle relativitetsteori siger, at et ur i satellitten løber 38 mikrosekunder per døgn hurtigere end det samme ur på Jorden. Det klares ved at sætte urets takt tilsvarende inden opsendelsen.

Systemet blev udviklet i 1970erne i USA til militært brug. GPS blev frigivet til civil anvendelse i 1983 efter at et koreansk fly var blevet skudt ned over sovjetisk territorium. Systemet var fuldt udbygget i 1995, og i 2000 tillod USA, at nøjagtigheden for civilt brug blev forbedret fra 100 m til 20 m.

Arkæologer kan nu om dage tegne deres udgravninger med en nøjagtighed på ca. 2 cm i det globale geografiske koordinatsystem. Man kan faktisk opnå 1 mm nøjagtighed, når man har et geodætisk referencepunkt i nærheden og anvender en GPS modtager med to frekvenser.

GPS systemet er i sig selv et vigtigt industriprodukt med de over 50 satellitter, der kredser omkring Jorden, således at brugeren altid kan komme i forbindelse med nogle af dem og få oplyst sit sted og hastighed på Jorden - i bil, skib eller fly. Brug af GPS er vigtig for transport, både militært og civilt og dermed for industrien. Satellitter omkring Jorden benytter direkte GPS til bestemmelse af positionen såvel som til tidsbestemmelse.



Timeglas eller sandur er en tidsmåler af ukendt oprindelse; kendt i Europa fra ca. 1300. Det er et gammelt symbol på tidens gang, altings forgængelighed og på døden.

Fjernsyn og vejmeldinger kan stamme fra satellitter, hvor relativitetsteorien også anvendes på en eller anden måde, selvom man kan opsende og styre ret avancerede satellitter helt baseret på Newtons mekanik.

Imidlertid kan man flere steder læse, at relativitetsteorien ikke har nogen videre konsekvenser i vores dagligdag. Denne opfattelse ses i Encyklopædien på nettet i 2012 og i bindet fra 2000, hvor der står 15 spalter om relativitetsteoriens indhold og videnskabelige betydning for f.eks. sorte huller og vores forståelse af universet. Om den praktiske betydning af den specielle relativitetsteori står slet intet, og om den generelle står: "... den spiller kun en beskednen rolle for 1900-tallets teknologiske udvikling og står i så henseende tilbage for kvanteteorien."

Det var rigtigt i år 2000, da dette blev skrevet, for GPS var ikke blevet dagligdag. Men ved en sammenligning må man huske, at de to teorier har betydning på ganske forskellige teknologiske områder: Kvanteteorien bruges ved bygning af apparater, ure og satellitter, mens relativitetsteorien bruges for at få urene og satellitterne til at virke, som de skal.

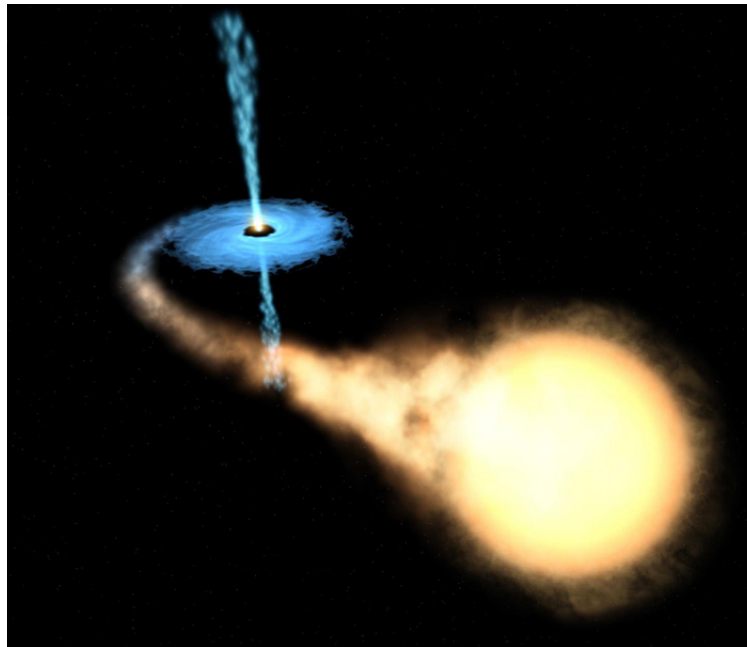
Den videnskabelige betydning af relativitetsteorien var klar snart efter Einsteins publikation i 1905, det år som fysikere omtaler som det vidunderlige år, *annum mirabilis*, fordi Einstein i samme år fremsatte tre andre teorier, der var lige så epokegørende, og hvoraf det ene (om den fotoelektriske effekt) indbragte Einstein nobelprisen i 1921.

De tre første teorier blev offentliggjort i samme bind af tidsskriftet *Annalen der Physik*, og dette bind blev hurtigt så slidt på Niels Bohr Institutet af mange ivrige hænder, at det blev taget af hylden, hvor der for mange år siden stod en besked om, at man kunne få det hos bibliotekaren, der opbevarede en sådan kostbarhed i et særligt rum. Beskeden findes ikke længere, og bibliotekaren siger, at bindet er stjålet.

Sorte huller

Det mest besynderlige resultat af den generelle relativitetsteori var beskrivelsen af et sort hul. De sorte huller taler i den grad til den menneskelige fantasi, selv børn ved jo, at alting omkring et sort hul bliver bare suget ind. Det er ganske vist ikke helt rigtigt, for det afhænger af, hvordan stoffet bevæger sig, og hvor nær det er ved det sorte hul. I almindelighed roterer stoffet i en skive omkring det sorte hul, inden det bliver opslugt.

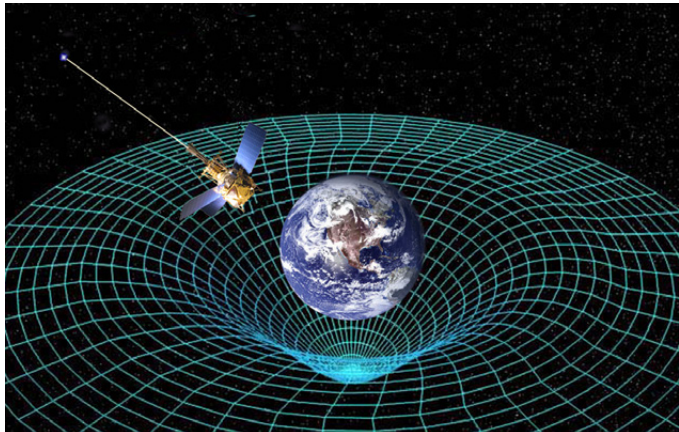
Et sort hul er en særlig tilstandsform for masse. Al massen er koncentreret i et centrum, og der findes ingen atomer. Uden om dette punkt findes et kugleformet tomt rum, og hvis noget kommer derind, bliver det omgående optaget i det sorte hul i centrum, hvor rum-tiden har uendelig stor krumning. Dette rum har en radius på 3 kilometer, hvis massen er som Solens. Rum-tiden ændres enormt nær hullet, så et radarsignal man kunne tænkes at sende mod det sorte hul, vil aldrig nå frem til hullet, skønt det bevæger sig med lyshastighed. Tiden set udefra går altså langsommere tæt ved et sort hul, men det vil ikke opleves sådan for den, der nærmer sig hullet med et ur. Hans ur vil ikke gå langsommere, han vil falde ind i hullet uden at mærke noget med selve tiden, men han vil være udsat for enorme



En stjerne i forgrunden og et sort hul i baggrunden. Det sorte hulls tyngdekraft "suger" stof fra stjernen til sig. Stoffet hvirvler rundt i en skive og kommer til sidst tæt på det sorte hul i midten, hvor det forsvinder. Skiven skaber også de to jets, der peger op og ned, det er røntgenstråling. Denne stråling kommer altså ikke ud af selve det sorte hul, men fra stoffet i skiven, der hvor det er tættest på det sorte hul. Billedet er tegnet på basis af beregninger. ESA, NASA, Felix Mirabel.

kræfter fra tyngden. Disse kræfter vil strække ham i retning af det sorte hul, og de vil presse ham sammen vinkelret herpå: Han bliver lang og tynd. Alt dette kan beregnes af relativitetsteorien, men kan ikke direkte observeres.

Den matematiske beskrivelse af et sort hul blev fremsat allerede i 1915 af Martin Schwarzschild (1873-1916), og heri ligger en tragisk historie om, hvad et geni var i stand til at præstere under ekstreme vilkår og mærket af en dødelig sygdom. I november samme år havde Einstein angivet de matematiske ligninger, og et sort hul beskrives ved en nøjagtig løsning til disse ligninger. Schwarzschild fandt frem til denne løsning, mens han tjente ved fronten i Rusland. Her havde han pådraget sig en sjælden sygdom (pemphigus), der tog livet af ham i maj 1916.



Einsteins generelle relativitetsteori beskriver gravitationen geometrisk som rum-tidens krumning i nærheden af et tungt objekt. I 2011 bekræftede præcisionsmålinger med NASAs Gravity Probe B satellit relativitetsteoriens resultater for tyngdefeltet i nærheden af Jorden. NASA.

Sorte huller blev således beskrevet for længe siden, men om de virkelig fandtes i vort Univers, vidste man ikke indtil for bare fyrré år siden. Siden er de påvist gennem mange slags observationer, og vi ved nu, at de spiller en stor rolle i Universets ”husholdning”, for eksempel ved Big Bang, ved tunge stjerner og ved galakser.

Tunge stjerner ender som sorte huller ved en supernova eksplosion, når de har opbrugt al deres energi ved fusion af grundstoffer. Ved denne eksplosion styrter stjernen sammen på grund af tyngdekraften. Derved frigøres på mindre end et minut mere energi af tyngdekraften, end Solen frigør ved fusion på milliarder af år. I dette korte øjeblik udsendes gammastråler så intense, at vi kan observere dem, selvom de kommer fra de fjerneste egne af universet. Strålerne har da været milliarder af år undervejs til Jorden.

Meget tyder på, at de fleste galakser, ikke kun vores Mælkevej, har et super-tungt sort hul i centrum. Så der er mange milliarder supertunge sorte huller derude i verdensrummet. Vi ved endnu ikke, hvordan det supertunge sorte hul i Mælkevejens centrum er dannet, men vi kender dets masse, som er 4 millioner gange større end Solens.

Universet og Big Bang

Relativitetsteorien spiller på mange måder en afgørende rolle for vores forståelse af universets struktur, udvidelse og hele udvikling. Kort sagt: udenfor vores

nærmeste omegn i universet, kan man ikke forstå noget som helst uden anvendelse af relativitetsteorien.

Relativitetsteorien kan beskrive gravitationen og hele universet matematisk, geometrisk uden selvmodsigelser. Alle steder i universet er ligeberettigede, udvidelsen begyndte ikke i et bestemt punkt, men alle steder samtidig, og der er ingen grænse noget sted, selv hvis universet har et endeligt rumfang. Relativitetsteorien giver matematikken til at beskrive, hvordan universet ser ud, også hvis det er uendeligt, men ikke hvorfor det ser sådan ud. Denne teori angiver gravitationen, massetiltrækningen, der bremser udvidelsen, men intet om de kræfter, der driver udvidelsen, og om dem ved man kun lidt.

Man har formodning om, at såkaldt ’mørk energi’ spiller en stor rolle for universets udvidelse, og at den generelle relativitetsteori skal modificeres af denne grund. Det håber man at få svar på fra observationer med ESAs kommende satellit, Euclid, der skal sendes op i 2019. Danske astronomer er med i udviklingen af Euclid.

Da Einstein angav den generelle relativitetsteori i 1915, så han selv og andre fysikere den mulighed, at teorierne for elektromagnetisme og gravitation tilsammen kunne danne basis for en teori for al materie og for atomernes struktur. Men det viste sig få år senere, at atomerne krævede en helt anden teori: kvantemekanikken. I dag håber man stadig at kunne forene relativitetsteori og kvantemekanik, eller rettere at kunne afløse dem med en tredje teori, måske en såkaldt ’strengteori’, men også nu et hundrede år efter ser man, at der er lang vej endnu.

Til slut til det gode gamle spørgsmål: ”Hvad var der før Big Bang?” Under de ekstreme forhold kort efter Big Bang, i Plancktiden på 10⁻⁴³ sekund, mister selve relativitetsteorien sin gyldighed. Da gælder denne naturlov ikke mere og heller ikke kvante-mekanikken. De er ikke gyldige, idet tid og rum smelter sammen. Forholdene i dette tidsrum beskrives som en kogende suppe af små sorte huller, mindre end en atomkerne, der dannes og forsvinder igen. Det har under disse forhold ingen mening overhovedet at tale om tiden og selvfølgelig endnu mindre om, hvad der var før Big Bang. Et godt bud er, at tiden begyndte ved Big Bang. Hvilken mening har det overhovedet at spørge om tiden, hvis der slet ikke fandtes noget?

Når man alligevel fortsætter med at spørge, hvad der var før Big Bang, er det fordi mange har begrebet absolut tid i tankerne, uden at ane, at det kan være forkert. Dette tidsbegreb var uafhængigt af rummet og blev brugt i fysik og astronomi, indtil man opdagede manglerne for godt 100 år siden. Det er tankevækkende for mig at opleve, hvor vanskeligt det er at få tilhørere til at godtage, hvad videnskaben siger om disse sammenhænge omkring tid og rum. Mange mener, at der altid må være et før, som der er i dagligdagen. Men deri ligger en spændende udfordring til ikke at give op med at svare på disse spørgsmål.