

i et mol. Den italienske kemiker Amedeo Avogadro (1776-1856) havde allerede i begyndelsen af 1800-tallet formuleret den hypotese, at antallet af molekyler i en given mængde af to luftarter sat i forhold til den enkelte luftarts atomvægt var det samme. Men hvor mange? Kunne man finde tallet, ville man også kunne sige noget om atomernes størrelse og vægt. Kemikere havde længe troet på atomer, fysikere var mere skeptiske, og mange mente, at atomer var en rent hypotetisk antagelse, som forklarede nogle ting, men som man ikke havde egentlig empirisk evidens for faktisk fandtes. Einstein og Perrin fremlagde en sådan evidens, og fra omkring 1910 var der stort set ingen, der reelt tvivlede på eksistensen af atomer.

En anden teori, Einstein publicerede i 1905, drejede sig om stråling. Planck havde som nævnt hævdet, at energi – og dermed stråling – kunne forekomme i visse afmålte størrelser, kvanter. Men Planck havde kun undersøgt strålingen fra legemer, der ikke udsendte lys. Einstein formulerede nu en teori om stråling i almindelighed, som ligeledes byggede på en antagelse om, at stråling kun forekommer i små klumper, altså i kvantiseret form. I forbindelse med lys kaldte han disse for fotoner og påviste, at de kunne opfattes som en art partikler. Herudfra kunne han forklare den fotoelektriske effekt, der ellers var forekommet uforståelig. I dag kender man den fra fotoelektriske relæer, der styrer bl.a. åbning og lukning af døre i forretninger og elevatorer – lys påvirker noget metal, og der opstår strøm. Men hvordan kunne denne interaktion mellem stråling og stof finde sted? Ud fra antagelsen om, at lys i virkeligheden var partikler, kunne Einstein forklare fænomenet og give formler for sammenhængen. Formlerne muliggjorde målinger, som dermed kunne af- eller bekræfte teorien. Eksperimenterne viste sig at støtte Einstein, og det var for denne teori, at han i 1921 modtog nobelprisen.

## En omvendning af alle begreber og forestillinger

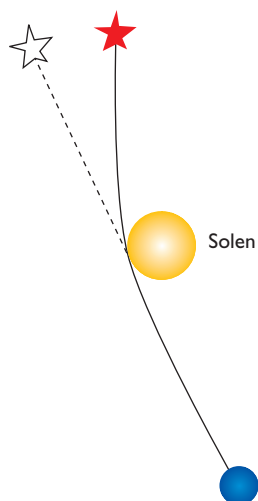
Det blev hurtigt klart, at Einsteins relativitetsteori ændrede begreberne om rum og tid, og om masse og energi. Lys havde pludselig masse og måtte være underlagt tyngdekraften, så forestillingen om, at lyset bevægede sig i rette linjer, måtte strengt taget være forkert.

Men selve fænomenet, at en genstand har masse, måtte også revurderes. Hvis den har masse, fordi den påvirkes af alle andre masser i universet, og de har det samme, så er det egentlig uklart, hvad det vil sige at have masse.

For helheden forudsætter jo delene, de enkelte genstande, men deres masse forudsætter igen helheden, resten af universet. Vi kan uden tvivl veje en genstand og underkaste den acceleration og måle, hvad der sker. Men hvad er det egentlig for fænomener, vi har med at gøre? Ifølge Einsteins teori er samtidighed et relativt begreb. To begivenheder er muligvis samtidige i relation til en observatør, men ikke i forhold til en anden. Størrelsen af massen, længden og tidsrummet afhænger også af hastigheden, så ting og tid forkortes ved meget høje hastigheder, og masser forøges. Afstande kan bestemmes ved hjælp af tid, idet man måler den tid, lyset tager for at bevæge sig en given afstand. Lysets hastighed er konstant, men alle andre hastigheder er relative. Når man antager, at lyset har en endelig hastighed, så kan man kun observere meget fjerne fænomener på den måde, som de forekom tidligere – pga. lysets rejsetid vil synsindtrykket altid være “lidt bagefter”. Rum og tid begyndte for Einstein at hænge sammen på en ny måde, og i en række år søgte han efter en mere generel teori, der kunne beskrive de fysiske begivenheder.

I 1916 publicerede han så sin generelle relativitetsteori, der først og fremmest er en teori om sammenhængen mellem rum, tid og masse, dvs. tyngdekraften. Einstein gik ud fra den simple erfaring, som man f.eks. kender fra flyrejser, nemlig at ens vægt øges, når der accelereres kraftigt, ligesom den falder under kraftig opbremsning – man kan ligefrem opleve øjeblikke af vægtløshed, når flyet passerer igennem et lufthul. Hvor Newton havde påvist, at der skulle sondres mellem træg og tung masse – dvs. mellem den masse, som noget havde, således at det krævede en kraft, for at genstanden kunne accelereres, og så den masse, noget havde, fordi det befandt sig i et tyngdefelt – så mente Einstein, at en sådan distinktion i virkeligheden forudsatte nogle absolutter, som han med sit relativitetsprincip benægtede. Konsekvensen var, at både fænomenet kraft og fænomenet masse var en form for illusioner. Man kunne bruge sådanne begreber, men strengt taget kunne man ikke give dem egentligt empirisk indhold – forstået på den måde, at de egentlig ikke var nødvendige, når man skulle redegøre for de observerede fænomener.

Einstein søgte altså en teoridannelse, der kunne redegøre for det observerede, og som samtidig accepterede, at målinger og observationer var fysiske begivenheder. Han mente, at universet med dets masser og kræfter, som beskrevet med Newtons fysik, i virkeligheden var en struktur, hvor fordelingen af stof i rum og tid skabte de observerede fænomener. For det



Den røde stjerne er stjernens faktiske placering, men fordi vi er vant til at opfatte lysstråler som lige linjer, ses stjernen forskudt (den hvide stjerne).

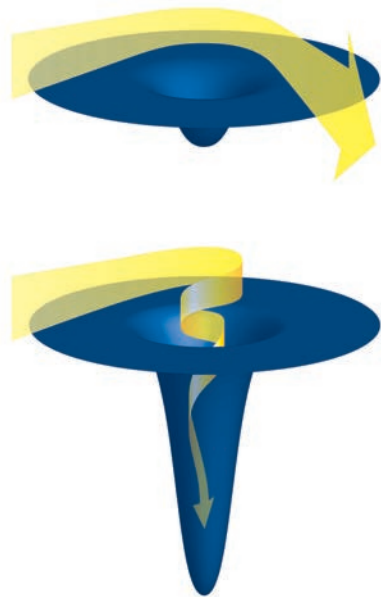
første kunne rum og tid ikke adskilles – det viste allerede hans analyser af samtidighed – og derudover var masse, som den konstateredes i og med, at legemer udøvede tiltrækning på hinanden, i virkeligheden udtryk for den totale struktur i helheden af rumtid og masse. Lyset bevægede sig i en vis forstand i rette linjer, blot var de rette linjer ikke rette i euklidisk forstand, da en “lyspartikels” bane altid ville være påvirket af strukturen i rumtiden, der igen var et resultat af stoffets fordeling i universet. Der var således “i virkeligheden” ingen tiltrækning mellem Solen og Jorden, på den måde at de gensidigt påvirkede hinanden. Den konstaterede bevægelse i forholdet mellem Sol og Jord skyldtes i stedet, at Jorden bevægede sig i en kortest mulig bane i rumtiden.

Det interessante ved Einsteins teori var nu, at han, med god matematisk hjælp, var i stand til at formulere den sådan, at han også kunne give nogle helt konkrete bud på empiriske konsekvenser. En af disse var, at plane-

ten Merkur, der var tættest på Solen, skulle ændre sin bane lidt hvert år. Det var en ændring, man faktisk havde konstateret, men som Newtons teori om planeternes bane absolut ikke kunne gøre rede for. En anden var, at lys skulle afbøjes i forbindelse med, at det passerede forbi store mængder stof. Det kunne testes ved solformørkelser. I forbindelse med en sådan i 1919 blev der gennemført flere målinger, der klart viste, at Einsteins teori førte til de korrekte forudsigelser, mens Newtons var ukorrekt. Ved et møde i den engelske videnskabelige sammenslutning The Royal Society den 6. november 1919 blev Einsteins teori diskuteret, og der blev gennemført tests. Opdageren af elektronen, Joseph J. Thomson, kaldte bekræftelsen af Einsteins teori, og dermed afkræftelsen af Newtons, for “en af de mest betydningsfulde, hvis ikke *den* mest betydningsfulde, begivenhed i den menneskelige tænknings historie.”

Newtons teori om tyngdekraften og hans forklaringer af solsystemets fænomener havde i næsten 250 år været det mest autoritative eksempel på videnskabelig erkendelse og indsats. Nu forelå der klar evidens for, at hans tanker ikke var korrekte. Newtons teori, som få forstod, men som mange kunne danne sig en forestilling om, var blevet erstattet af en matematisk avan-

Lys bevæger sig altid langs den korteste vej mellem to punkter i rumtiden. Dette kaldes også en "geodætisk vej". I euklidisk geometri er den en ret linje (se s. 163), men på overfladen af en kugle former den cirkelbaner. I sin generelle relativitetsteori beskriver Einstein tyngdekraften som resultatet af en afbøjet rumtid. Jo stærkere tyngdekraften er, jo mere krum er rumtiden, og nogle gange så meget, så lyset ikke kan slippe væk. Så er det et sort hul.



ceret teori, som meget få forstod, og som var utrolig svær at danne sig en forestilling om.

Men Einstein mente ikke kun at have frembragt en effektiv og succesrig matematisk formalisme, han mente også, at han havde fremlagt en teori om verden. Einstein søgte en sammenhængende fysisk teori, der var empirisk stringent – dvs. kunne redegøre for observationer og muliggøre korrekte forudsigelser – men som også havde fysisk mening, i den forstand at den gav os et billede af, hvordan verden rent faktisk var indrettet. Lys og masse opfører sig, som de gør, fordi verden har en bestemt struktur, en struktur som netop kan beskrives matematisk. Det kan – mærkeligt nok – ske med en matematisk teori, som mennesket, der selv er en del af verden, kan frembringe. Det var for Einstein et stort mysterium.

## Vores plads i kosmos

Einsteins generelle relativitetsteori måtte have konsekvenser for forståelsen af universets opbygning. Einstein fremlagde allerede i 1917 den væsentlige konsekvens af sin teori, nemlig at universet ikke var uendeligt, men endeligt. Det var klart, at sammenhængen mellem rum og stof var en anden end den, Newton havde antaget. Rummet var ifølge Einstein ikke en beholder, som genstandene befinder sig i – dvs. en beholder, hvis egenskaber er uafhængige af genstandene. Rummets struktur var efter hans teori derimod struktureret ud fra fordelingen af de genstande, det indeholdt, lidt ligesom tunge kugler på en skummadras. Det er derfor, en lysstråle opfører sig, som den gør, når den bevæger sig igennem rummet. Newtons tyngdeteori måtte medføre, at alle genstande i rummet blev tiltrukket af hinanden og derfor måtte bevæge