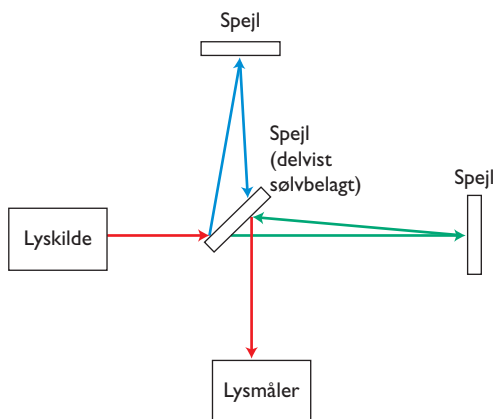


## Året 1905

Selvom den elektromagnetiske bølgeteori hurtigt fik teknologisk anvendelse, var der fundamentale problemer med sammenhængen mellem en mekanisk forståelse af disse fænomener og forståelsen af dem, som den forelå i James Clerk Maxwells teori (s. 181-183). Forsøg på at påvise eksistensen af en æter, der kunne bære bølgerne, var ikke lykkedes. Flere gange i 1880'erne forsøgte man at måle, om lysets hastighed på langs og tværs af Jordens bevægelse igennem rummet var forskellig – hvad den burde være, hvis Jorden bevægede sig igennem en æter, der skulle være basis for eksistensen af lysbølger. Men målingerne viste ikke nogen forskel. Lysets hastighed var den samme, hvordan man end målte den.



Den amerikanske fysiker Albert Michelson (1852-1931) byggede et såkaldt interferometer til at måle æteren, som man i det meste af 1800-tallet mente eksisterede som det medium, hvori lysbølger udbredte sig. Interferometeret sender en lysstråle mod et spejl, som er delvist belagt med et sølvlag, således at lysstrålen deles i to. De to lysstråler bevæger sig væk fra hinanden i to arme, bliver så reflekteret af spejle og samles igen. En lysmåler måler den opståede interferens i den kombinerede lysstråle, der er et resultat af de varierende afstande på de to arme. Enhver lille ændring i den tid, en lysstråle bruger på vejen, vil derfor kunne ses som et skift i positionen på interferensstriberne. Hvis æteren var ens i forhold til hele solsystemet, ville jordens egen bevægelse rundt om Solen skabe en brydning i forhold til æteren – og dermed mønstret, nærmere beregnet til ca.  $\frac{1}{3}$  af en enkel interferensstribe. I teorien altså. Resultatet var dog, at man ikke kunne se nogen som helst forskel, heller ikke efter Michelson byggede bedre instrumenter sammen med fysikeren Edward Morley (1838-1923). Michelson-Morley-eksperimentet anses derfor som det første bevis på, at lysets hastighed altid er den samme, og at der ikke eksisterer nogen æter.

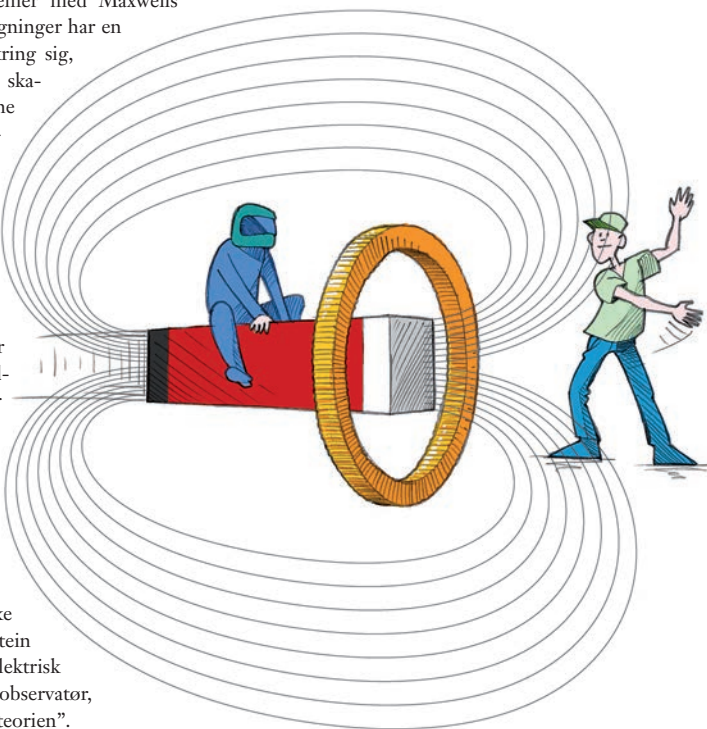
Normalt antager vi, at vi iagttager et fænomen fra et bestemt sted på et bestemt tidspunkt, og at det, vi iagttager, sker samtidigt med, at vi ser det ske. Vi antager også, at beskrivelsen af et fænomen kan ske fra et andet sted eller fra et andet synspunkt, uden at det influerer på, hvad der rent faktisk foregår. De fundamentale lovmæssigheder må være de samme. Et væsentligt fænomen er, at der er symmetri mellem perspektiverne. Om vi beskriver en bil som kørende hen over vejen, eller vejen som forsvindende væk under bilen, er ud fra en hastighedsbetragtning det samme. En bil kører hen over vejen med 100 km/t og overhales af en anden med 110 km/t, alt sammen set i forhold til vejen – men i forhold til bilen kører den overhalende 10 km/t og vejen 100 km/t. Vi kan beskrive disse forhold på

mange måder, men antager, at de faktiske forhold er, som de er, uafhængigt af vores beskrivelse.

Den tyske fysiker Albert Einstein (1879-1955) forbavsede i 1905 verden med en række banebrydende artikler. I en af disse starter Einstein med at konstatere, at det er et afgørende problem i forståelsen af elektromagnetiske fænomener, sådan som Maxwell havde beskrevet dem, at det foreliggende fysiske fænomen var afhængigt af hvilken beskrivelse, man gav. Hvis man bevægede en induktionsspole i forhold til en magnet, opstod der strøm set ud fra spolens beskrivelsesramme, men hvis man derimod beskrev selv samme situation fra magnetens beskrivelsesramme, opstod der ikke strøm. Det kunne ikke være rigtigt. Der burde være strøm eller ikke strøm, uafhængigt af om man beskrev forholdet ud fra magnetfeltets eller spolens synspunkt. Den fysiske virkelighed burde være som den var, lige meget hvilket udgangspunkt man beskrev den fra – alle beskrivelsessystemer burde give de samme resultater.

Einstein overvejede også betingelserne for, at vi overhovedet kunne give beskrivelser af begivenheder og dermed lokalisere dem i tid og rum. Sådanne

Einstein havde produktive problemer med Maxwells elektrodynamik. Ifølge Maxwells ligninger har en magnet i hvile et magnetfelt omkring sig, men hvis magneten er i bevægelse, skabes tilmed et elektrisk felt. Nu kunne man jo tro, at man blot kunne måle på magneten med en lille rund induktionsspole og se, om der er strøm, og dermed om magneten bevæger sig i æteren eller ej. Men det virker ikke, fordi en anden del af Maxwells teori siger, at induktionsspolen i bevægelse sammen med magneten selv skaber en elektrisk strøm, som præcis modsvare magnetens. Man kan derfor ikke finde ud af, om der er strøm i spolen, fordi der i den situation ikke findes nogen måde at finde ud af, om magneten er i bevægelse eller i hvile. En person, som står og "hviler i æteren", ville kunne måle en strøm, men en person, som ridder på magneten, ville ikke kunne måle nogen strøm. For Einstein var ideen om, at eksistensen af en elektrisk strøm var relativ i forhold til en observatør, "årsagen til at postulere relativitetsteorien".

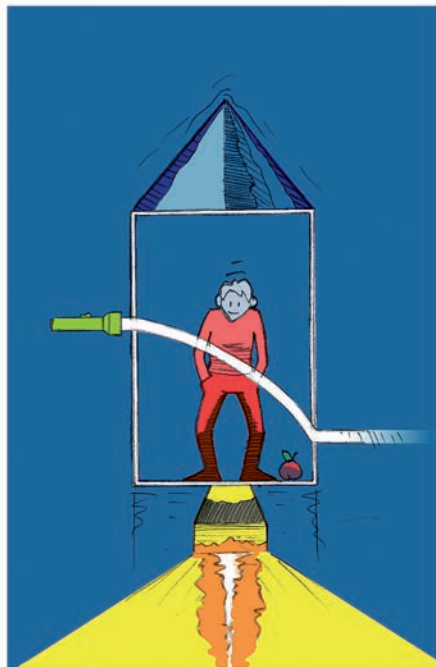




beskrivelser forudsatte – og var faktisk selv begivenheder i – tid og rum. Når man f.eks. hævdede, at en kugle faldt ned fra et bord kl. 23:05:15, så var det faktisk en påstand om, at to begivenheder var samtidige, nemlig kuglens fald og urets visen 23:05:15. Men sådan en påstand forudsatte jo, at både signalet fra uret til vores øje, signalet fra kuglen til øjet og øjets signal til bevidstheden var samtidigt foregående fysiske begivenheder. De to første var imidlertid signaler, der sendtes som lys, og som sådan underlagt lovmæssighederne for lysets bevægelse. Hvis kuglens fald skete langt væk, og uret var tæt på, ville det tage længere tid for lyset af komme fra kuglen til øjet end fra uret til øjet. Kuglens fald ville således blive registreret som foregående senere, end det faktisk foregik. Kunne man overhovedet finde ud af, hvornår det faktisk foregik? Det ville forudsætte, at der fandtes en anden måde at fastsætte tidspunktet for faldet på, og en sådan ville løbe ind i akkurat de samme problemer. Man kunne evt. kompensere for afstandsforskellen eller kræve, at afstanden til kugle og ur skulle være den samme. Men hvordan fastsætter man afstand? Det gør man ved måling, der også involverer opfattelse af signaler, der er fysiske begivenheder og dermed underkastet fysikkens love.

Siden Ole Rømers (1644-1710) tid havde man vidst, at lysets hastighed var endelig, hvorfor erkendelsen af en begivenhed aldrig kunne ske nøjagtig

Einsteins invariansprincip siger, at der ikke findes noget eksperiment, som en person kan udføre i et lille aflukket rum, hvor man ville kunne kende forskel mellem et tyngdefelt og en ækvivalent uniform acceleration. Konsekvensen af dette er, at hvis en elevator er i frit fald i et tyngdefelt, ville en person i denne elevator føle den samme vægtløshed, som hvis elevatoren var i det lufttomme rum langt væk fra stjerner og planeter (modstående side). Hvis der står en person udenfor og sender en lysstråle igennem elevatoren, vil lysstrålen afbøjes modsat den retning, som accelerationen er (til højre). Men da invariansprincippet siger, at der ikke er forskel på en accelererende elevator i det frie rum og en elevator i frit fald i et tyngdefelt, må lysstrålen også afbøjes i et tyngdefelt.



samtidig med begivenheden selv. Einstein gik også ud fra, at lysets hastighed var den samme, uanset hvorfra den blev beskrevet eller målt. Det havde han visse grunde til rent empirisk, men også mere teoretisk. For hvordan skulle man egentlig konstatere, at lyset bevægede sig med forskellig hastighed? Man måtte f.eks. tænke sig, at man i et rumskib bevægede sig med halvdelen af lysets hastighed, og derfra udsendte et lyssignal. Man skulle så regne med, at det bevægede sig med  $1\frac{1}{2}$  gang lysets hastighed i forhold til det referencesystem, der gjorde det muligt at sige, at rumskibet bevægede sig med lysets hastighed. Men igen: hvordan konstatere det, når al måling ville forudsætte brug af lyssignaler?

Einstein gik ud fra, at lyshastigheden altid var den samme, ligegyldigt hvordan man målte den, og at alle fysiske love var strengt objektive i den forstand, at de var de samme i alle referencesystemer. Strengt taget antog han i 1905 alene, at dette var korrekt for referencesystemer, der bevægede sig ikke-accelereret i forhold til hinanden. Senere udvidede han sine betragtninger til at gælde forholdet mellem alle referencesystemer.

Princippet om, at naturlovene måtte være invariante over for, hvilket beskrivelsessystem man anvendte, kaldte Einstein for relativitetsprincippet. Relativitetsprincippet – eller invariansprincippet – og tesen om, at lysets hastighed i alle sådanne beskrivelsessystemer er den samme, er grundlaget for hans relativitetsteori. Ud fra disse antagelser var det muligt at vise, at man kunne ændre på de klassiske ligninger for bevægelse og acceleration, således

at der var symmetri. Antagelserne viste også, at det ville være umuligt at påvise en forskel i lyshastigheden på langs og tværs af Jordens bevægelse i en æter. Faktisk var der slet ingen grund til at antage eksistensen af en æter, for om den var der eller ej, ville hverken gøre fra eller til.

I en anden artikel fra 1905 overvejede Einstein forholdet mellem fysiske genstandes masse, tyngdekraften og den stråling, som findes imellem dem, og som gør, at vi overhovedet kan se dem. Einstein benægtede, at der kunne være et objektivt rum, i hvilket genstande som f.eks. Jorden og Solen og de andre stjerner befandt sig, og i hvilket hver fysisk genstand havde en masse uafhængigt af de andre. For hvordan skulle man konstatere en sådan masse? Enhver måling ville være en fysisk handling i det faktiske foreliggende univers, og som sådan underlagt påvirkninger fra totaliteten af genstande. Kun i et tankeeksperiment i et tomt, abstrakt univers kunne man tænke sig at måle massen af f.eks. Jorden i sig selv, ved at påvirke den med en kendt kraft og så måle dens acceleration, dvs. anvende Newtons anden lov (der siger, at kraft er lig masse gange acceleration). Men hvordan påvirke Jorden med en kraft og foretage målinger, hvis Jorden var den eneste genstand? Einstein var således skeptisk over for ideen om, at genstande i sig selv har masse, men selvfølgelig ikke skeptisk over for gyldigheden af de lovmæssigheder, der gælder for masse – for de var jo empirisk konstaterbare. Hans relativitetsteori satte mekaniske processer, som f.eks. acceleration af en genstand, og elektromagnetiske processer, som f.eks. udsendelse af lys, i samme teoretiske ramme, og ud fra den kunne han nu vise, at der var en sammenhæng mellem udsendelse af stråling, der jo var et energifænomen, og en genstands masse. En genstand, der udsendte stråling og dermed tabte energi, måtte også tabe masse. Man kunne også sige det sådan, at f.eks. lys som strålingsenergi selv måtte besidde masse.

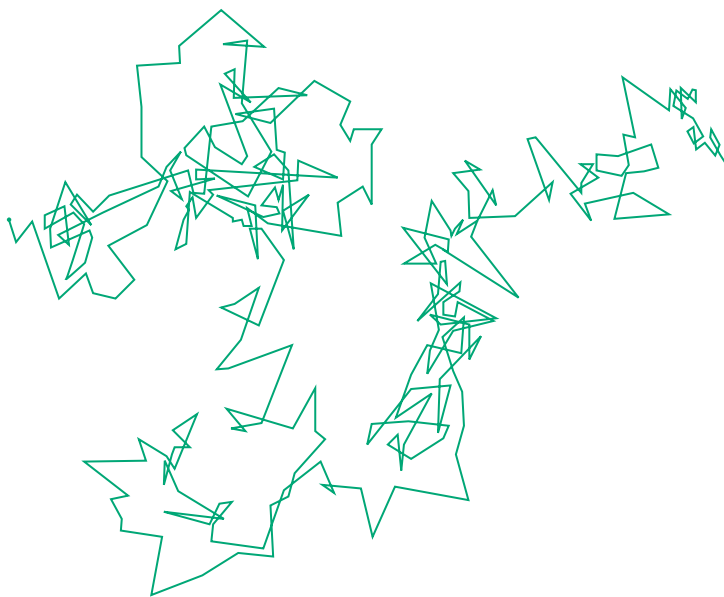
Den sammenhæng, han formulerede, fik formen  $E = mc^2$ , der siger, at den energi, der udsendes fra et legeme i form f.eks. af stråling, svarer til en given mængde stof, hvor forholdet imellem de to bestemmes af lysets hastighed i anden potens. Hvis man altså kunne omdanne stof helt til energi i form af varme eller anden type stråling, så ville der i 1 kg stof være en utrolig mængde energi. Man kan forestille sig virkningen af en sten på 1 kg, der falder fra et par meters højde – den kinetiske energi er ganske stor. Einstein viste nu, at det potentielle energiindhold i en sådan sten var 10.000.000.000.000.000 (dvs. ti millioner milliarder) gange større. Hvis bare

en rimelig stor del af et stofs masse kunne omdannes til stråling, måtte man derfor kunne opnå processer med enormt energiindhold. Atombomberne i 1945 står som skræmmende beviser på Einsteins forudsigelser. Solens stråling medfører ud fra samme teori et massetab på 4,4 millioner tons i sekundet. Så der udstråles ekstreme mængder energi, hvoraf en meget lille del rammer Jorden og muliggør livet – og at læse denne tekst.

Ud over sin relativitetsteori publicerede Einstein i 1905 også to andre teorier. Den ene handlede om de såkaldte brownske bevægelser, der forekom, når man så på meget små partikler nedsænket i væske.

De bevægede sig hid og did på tilsyneladende tilfældig vis. Einstein fremlagde den hypotese, at disse bevægelser skyldtes et bombardement af molekyler i væsken, der også bevægede sig tilfældigt rundt. Man havde teorier om molekylernes bevægelse, men ikke nogen forståelse af de brownske bevægelseres egenskaber, f.eks. gennemsnitslængden i bevægelserne mellem retningsskift. Einstein var i stand til at give en præcis teori om disse forhold, der senere muliggjorde, at den franske fysiker Jean Baptiste Perrin (1870-1942) kunne foretage en række målinger og udregninger, der gav tal for molekylernes og dermed atomernes størrelse. Perrin kunne også regne sig frem til en værdi for Avogadros tal, et tal, der sagde noget om antallet af molekyler i en given mængde af en luftart, og dermed antallet af molekyler

Robert Brown (1773-1858) opdagede de såkaldte brownske bevægelser i 1827, da han gennem et mikroskop observerede pollenpartikler, der hvirvlede rundt i vand. Einstein viste, at de brownske bevægelser også findes i væskerne selv, hvor de forårsager termodynamiske effekter som tryk og temperatur. Einstein fandt dermed en fysisk begrundelse for den statistiske termodynamik à la Boltzmann og Maxwell (s. 164, 177-179 og 277-279), som virkede meget mere acceptabel end den klassiske termodynamik, som benyttede sig af målbare, men ubegrundede begreber som energi, temperatur, tryk, masse og rumfang.





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.