

Uredigeret, oversat med *Google Oversæt*, 14. Jan. 2014

Albert Einstein gav en adresse den 5. maj 1920 Leiden Universitet. Han valgte som sit emne Ether og relativitetsteorien. Han underviste i tysk, men vi præsenterer en engelsk oversættelse nedenfor. Foredraget blev udgivet af Methuen & Co Ltd, London, i 1922.

Ether og relativitetsteorien

Ved Albert Einstein

Hvordan kommer det om, at der ved siden af ideen om målelige sag, som er afledt af abstraktion fra hverdagen, fysikere sat ideen om eksistensen af en anden slags stof, æteren? Forklaringen skal sandsynligvis søges i de fænomener, der har givet anledning til teorien om handling på afstand, og i egenskaberne af lys, som har ført til bølgeformet teori. Lad os bruge lidt tid at behandlingen af disse to emner.

Uden for fysik, vi kender intet til handling på afstand. Når vi forsøger at forbinde årsag og virkning i de erfaringer, som naturlige objekter råd os, det synes ved første, som hvis der ikke var andre gensidige tiltag end de umiddelbar kontakt, fx meddelelse af bevægelse ved stød, skubbe og trække, opvarmning eller inducere forbrænding ved hjælp af en flamme, osv. Det er rigtigt, at selv i dagligdags erfaringer vægt, som er i en vis forstand virkning på afstand, spiller en meget vigtig del. Men da vægten af organer i den daglige erfaring møder os som noget konstant, noget der ikke er knyttet til nogen årsag, som er variabel i tid eller sted, vi ikke i hverdagen spekulere om årsagen til tyngdekraften, og derfor ikke blive bevidst om dens karakter som virkning på afstand. Det var Newtons teori om gravitation, der først tildelt en årsag til tyngdekraften ved at fortolke det som virkning på afstand, kommer fra masserne. Newtons teori er nok den største skridt nogensinde er lavet i indsatsen mod årsagssammenhæng af naturfænomener. Og alligevel er denne teori fremkaldte en livlig følelse af ubehag blandt Newtons samtidige, fordi det syntes at være i strid med princippet sprang fra resten af erfaring, at der kan være gensidig handling kun gennem kontakt, og ikke gennem øjeblikkelig handling på afstand.

Det er kun med modvilje, at menneskets begær efter viden udholder en dualisme af denne art. Hvordan blev enhed skal bevares i sin forståelse af naturens kræfter? Enten ved at forsøge at se på kontaktkræfter som værende sig selv fjernt kræfter, som ganske vist er observerbare kun på en meget lille afstand, og det var den vej, som Newtons tilhængere, som helt var under fortrylles af hans lære, for det meste foretrak at tage, eller ved at antage at den newtonske virkning på afstand er kun tilsyneladende øjeblikkelig handling på afstand, men i sandhed overføres via et medium gennemsyrrer rum, enten ved bevægelser eller ved elastisk deformation af dette medie. Således bestræbelse mod en samlet betragtning af arten af kræfter fører til hypotesen om en ether. Denne hypotese, for at være sikker, ikke i første omgang bringe med sig noget forskud i teorien om gravitation eller i fysik generelt, så det blev almindeligt at behandle Newtons kraft som et aksiom ikke yderligere reduceres. Men æteren hypotese var bundet til altid at spille en del i fysisk videnskab, selvom først kun en latent del.

Når du er i den første halvdel af det nittende århundrede vidtrækkende lighed blev afsløret som modervirksomhed mellem egenskaber af lys og de elastiske bølger i målelige organer æteren hypotese fundet frisk støtte. Det viste sig hævet over enhver tvivl, at lyset skal fortolkes som en vibrerende proces i et elastisk, inert medium fylde universel plads. Det syntes

Uredigeret, oversat med *Google Oversæt*, 14. Jan. 2014

også at være en nødvendig konsekvens af det faktum, at lyset er i stand til polarisering, dette medium, æteren, skal være af arten af et fast legeme, fordi tværgående bølger er ikke muligt i en væske, men kun i et fast stof. Således fysikere var bundet at nå frem til teorien om " kvasi-stiv " lysende æter, kan de dele af som udfører nogen bevægelser i forhold til hinanden, bortset fra de små bevægelser deformation, som svarer til lys- bølger.

Denne teori - også kaldet teorien om den stationære lysende æter - desuden fundet en stærk støtte i et eksperiment, som også er af fundamental betydning i den specielle relativitetsteori, at forsøget med Fizeau, hvorfra man var forpligtet udlede, at den lysende æter ikke deltager i transporten af organer. Fænomenet aberration også begunstiget teorien om kvasi- stive æter.

Udviklingen af teorien om elektricitet ad den vej blevet åbnet af Maxwell og Lorentz gav udviklingen af vores ideer om æteren ganske ejendommelig og uventet drejning. For Maxwell selv æteren faktisk stadig havde egenskaber, som var rent mekanisk, selv om en meget mere kompliceret art end de mekaniske egenskaber af materielle faste organer. Men hverken Maxwell eller hans tilhængere lykkedes at udarbejde en mekanisk model for æter, som kunne levere en tilfredsstillende mekanisk fortolkning af Maxwells love elektro- magnetiske felt. Lovene var klare og enkle, de mekaniske fortolkninger klodset og selvmodsigende. Næsten umærkeligt de teoretiske fysikere tilpasset sig til en situation, som, ud fra deres mekaniske program, var meget deprimerende. De blev særligt påvirket af elektro- dynamiske undersøgelser af Heinrich Hertz. For mens de tidligere havde krævet en afgørende teori om, at det skulle nøjes med de grundlæggende begreber, der udelukkende hører til mekanik (f.eks tæthed, hastigheder, deformationer, spændinger), de gradvist vænnet sig til at indrømme elektriske og magnetiske kraft så grundlæggende begreber, side om side med de mekanikere, uden at det kræver en mekanisk tolkning for dem. Således rent mekaniske syn på naturen gradvist blev opgivet. Men denne ændring førte til en fundamental dualisme, som i det lange løb var uudholdelig. En flugtvej var nu søges i den modsatte retning, ved at reducere principperne for mekanik til de af elektricitet, og dette især da tilliden til den strenge gyldigheden af de ligninger Newtons mekanik blev rystet af de eksperimenter med B -stråler og hurtig katode stråler.

Denne dualisme stadig konfronterer os i unextenuated form, i teorien om Hertz, hvor stof forekommer ikke blot som bærer af hastigheder, kinetisk energi, og mekaniske pres, men også som bærer af elektromagnetiske felter. Da sådanne områder også forekomme i vakuum - dvs i fri ether - ether vises også som bærer af elektromagnetiske felter. Æteren synes umulig at skelne i sine funktioner fra almindeligt stof. Inden uanset det tager del i bevægelse af stof og i det tomme rum, den har overalt en hastighed, så at æteren har en absolut tildelt hastighed i hele rummet. Der er ingen grundlæggende forskel mellem Hertz ' ether og målelige stof (som til dels består, i ether).

Hertz teori lidt ikke kun fra defekt på at tilskrive noget og ether, på den ene side mekaniske stater, og på den anden side elektriske stater, som ikke står i nogen tænkelig forhold til hinanden, det var også i strid med resultat af Fizeau vigtige eksperiment på hastigheden af udbredelsen af lys i væsker i bevægelse, og med andre etablerede eksperimentelle resultater.

Sådan var tingenes tilstand, når HA Lorentz trådt ind på scenen. Han bragte teori i harmoni med erfaring ved hjælp af en vidunderlig forenkling af teoretiske principper. Han opnået dette,

Uredigeret, oversat med *Google Oversæt*, 14. Jan. 2014

det vigtigste fremskridt i teorien om elektricitet siden Maxwell, ved at tage fra ether dets mekaniske og fra uanset dens elektromagnetiske egenskaber. Som i det tomme rum, så også i det indre af materielle kroppe, æteren, og ikke noget set atomistisk, udelukkende var sæde for elektromagnetiske felter. Ifølge Lorentz de elementære partikler af stof alene er i stand til at udføre bevægelser, deres elektromagnetiske aktivitet er udelukkende begrænset til at bære elektriske ladninger. Lorentz lykkedes således at reducere alle elektromagnetiske happenings til Maxwells ligninger for ledig plads.

Med hensyn til den mekaniske karakter Lorentzian æter, kan det siges om det, i en noget legende ånd, at immobilitet er den eneste mekaniske egenskaber, som det ikke er blevet frataget af HA Lorentz. Det kan tilføjes, at hele ændringen i udformningen af æter, som den specielle relativitetsteori medførte, bestod i at tage væk fra æteren sit sidste mekaniske kvalitet, nemlig dens ubevægelighed. Hvordan dette skal forstås, vil straks blive udlagt.

Rum-tid teorien og kinematik den specielle relativitetsteori blev modelleret på Maxwell - Lorentz teori af det elektromagnetiske felt. Denne teori opfylder derfor betingelserne i den specielle relativitetsteori, men når den ses fra sidstnævnte det erhverver et nyt aspekt. For hvis K være et koordinatsystem relativt hvortil Lorentzian ether er i hvile, Maxwell - Lorentz ligninger gælder primært med henvisning til K. Men ved specielle relativitetsteori de samme ligninger uden nogen ændring af mening også holder i forhold til et nyt system af koordinater K' , som bevæger sig i en ensartet oversættelse relativt til K. nu kommer den ængstelige spørgsmål: - Hvorfor skal jeg i teorien adskille K -systemet over alle K' systemer, som er fysisk svarer til det i alle henseender, ved at antage, at æteren er i hvile i forhold til K -systemet? For teoretikeren en sådan asymmetri i den teoretiske struktur, uden nogen tilsvarende asymmetri i systemet af erfaring, er utålelig. Hvis vi antager æteren til at være i hvile i forhold til K, men i bevægelse i forhold til K' , den fysiske ækvivalens K og K' forekommer mig fra den logiske synspunkt, ikke faktisk ligefrem forkert, men ikke desto mindre uacceptabelt.

Den næste position, som det er muligt at tage i lyset af denne tingenes tilstand viste sig at være følgende. Æteren findes ikke på alle. De elektromagnetiske felter er ikke stater i et medium, og er ikke bundet ned til enhver ihændeher, men de er uafhængige realiteter, som ikke kan reduceres til noget andet, præcis ligesom atomer af målelige sag. Denne opfattelse antyder selve lettere som ifølge Lorentz teori, elektromagnetisk stråling, ligesom målelige sag, bringer impuls og energi med det, og som ifølge den specielle relativitetsteori, både stof og stråling er, men specielle former for distribueret energi, målelige masse miste sin isolation og fremstår som en særlig form for energi.

Mere nøje overvejelser lærer os imidlertid, at den specielle relativitetsteori ikke tvinge os til at benægte æter. Vi kan antage eksistensen af en æter, kun vi må opgive at tilskrive en bestemt tilstand af bevægelse til det, dvs vi skal af abstraktion tage fra det sidste mekaniske egenskab, som Lorentz stadig havde forladt det. Vi skal senere se, at dette synspunkt, det conceivability som jeg skal straks bestræbe sig på at gøre mere forståelig ved en noget standsning sammenligning, er begrundet i resultaterne af den generelle relativitetsteori.

Tænk på bølger på overfladen af vandet. Her kan vi beskrive to helt forskellige ting. Enten kan vi observere, hvordan bølgeformet overflade danner grænsen mellem vand og luft ændrer i løbet af tiden, eller andetsteds ved hjælp af små flåde, for eksempel - kan vi observere, hvordan positionen af de adskilte partikler af vand ændrer i tiden. Hvis eksistensen af sådanne

Uredigeret, oversat med *Google Oversæt*, 14. Jan. 2014

flydere til at spore bevægelsen af partiklerne i en væske var en fundamental umulighed i fysik - om, i virkeligheden intet andet, hvad var observerbare end formen af den plads besat af vandet, da det varierer i tid, vi skulle har ikke grundlag for den antagelse, at vand består af bevægelige partikler. Men alle de samme, vi kunne karakterisere det som et medium.

Vi har noget som dette i det elektromagnetiske felt. For vi kan forestille feltet til os selv som bestående af linjer af kraft. Hvis vi ønsker at fortolke disse linjer af kraft til os selv som noget materiale i almindelig forstand, er vi fristet til at fortolke de dynamiske processer som bevægelser af disse linjer af kraft, således at hver enkelt linje i kraft spores gennem tiden. Det er imidlertid velkendt, at denne måde at betragte det elektromagnetiske felt fører til modsætninger.

Generalisere må vi sige dette: - Der kan formodes at blive udvidet fysiske objekter, som ikke kan anvendes idéen om bevægelse. De må ikke opfattes som bestående af partikler, der tillader sig selv at blive særskilt spores gennem tiden. I Minkowski formsprog dette udtrykkes som følger: - Ikke alle udvidede kropsbygning i de fire- dimensional verden kan betragtes som bestående af verdens - tråde. Den specielle relativitetsteori forbyder os at antage æteren at bestå af partikler observerbare gennem tiden, men hypotesen om ether i sig selv ikke er i strid med den specielle relativitetsteori. Kun vi skal være på vagt over for at tilskrive en tilstand af bevægelse til æteren.

Bestemt, set fra den specielle relativitetsteori, vises æter hypotese først at være en tom hypotese. I ligningerne af det elektromagnetiske felt forekommer der, ud over de tætheder af den elektriske ladning, kun intensiteten af feltet. Den karriere af elektromagnetiske processer i vakuum synes at være helt bestemt af disse ligninger, upåvirket af andre fysiske mængder. De elektromagnetiske felter som ultimative, irreducible realiteter, og i første omgang synes det overflødigt at postulere en homogen, isotrop æter - medium, og at overveje elektromagnetiske felter som tilstande af dette medie.

Men på den anden side er der et vægtigt argument for at blive fremført til fordel for den æter hypotese. At benægte æteren er i sidste ende at antage, at det tomme rum ikke har nogen fysiske kvaliteter uanset. De grundlæggende fakta om mekanik harmoniserer ikke med dette synspunkt. For den mekaniske opførsel af en legemlig system, svæver frit i det tomme rum ikke kun afhænger af relative positioner (afstande) og relative hastigheder, men også om sin tilstand af rotation, som fysisk kan tages som et kendetegn ikke stilles til rådighed fra systemet i sig selv. For at være i stand til at se på rotation af systemet, i det mindste formelt, som noget virkeligt, Newton objectivises plads. Eftersom han klasser hans absolutte rum sammen med virkelige ting for ham rotation i forhold til et absolut plads er også noget virkeligt. Newton kunne ikke mindre godt have kaldt hans absolutte rum " Ether " det væsentlige er blot, at udover observerbare objekter, skal en anden ting, som ikke opfattes, ses som reel, for at muliggøre eller rotation for at blive set på som noget real.

Det er rigtigt, at Mach forsøgte at undgå at skulle acceptere som virkelig noget, som ikke kan observeres ved at bestræbe sig på at erstatte i mekanik en gennemsnitlig acceleration med reference til den helhed af masserne i universet i stedet for en acceleration med henvisning til absolutte rum. Men inertial modstand imod relative acceleration af fjerne masserne forudsætter handling på afstand, og som den moderne fysiker ikke mener, at han kan acceptere denne handling på afstand, han kommer tilbage en gang mere, hvis han følger Mach, til æteren, hvilket skal tjene som medium for virkningerne af inert. Men denne

Uredigeret, oversat med *Google Oversæt*, 14. Jan. 2014

opfattelse af æteren, som vi er ledet af Machs tankegang afviger især fra ether som udtænkt af Newton, som Fresnel-, og Lorentz. Machs ether ikke eneste betingelser opførsel af inerte masserne, men er også betinget i sin tilstand af dem.

Machs idé finder sin fulde udvikling i æteren i den generelle relativitetsteori. Ifølge denne teori metriske kvaliteter af kontinuum af rum-tid afviger i miljøet af de forskellige punkter i rum-tid, og er delvist betinget af forhold, der eksisterer uden for det område, under overvejelse. Dette rum - tid variabilitet af de gensidige relationer de standarder for tid og rum, eller måske den erkendelse af, at " det tomme rum " i sin fysiske forhold er hverken homogen eller isotrop, overbevisende os til at beskrive sin tilstand med ti funktioner (gravitation potentialer GMN), har, tror jeg, afsagt endelig af den opfattelse, at rummet er fysisk tom. Men dermed udformningen af æteren igen har erhvervet en forståelig indhold, selv om dette indhold er meget forskellig fra det æteren af den mekaniske bølgeformet teori af lys. Æteren af den almene relativitetsteori er et medium, som selv er blottet for alle mekaniske og kinematiske egenskaber, men hjælper med at bestemme mekaniske (og elektromagnetiske) hændelser.

Hvad er fundamentalt nyt i æteren af den generelle relativitetsteori i modsætning til æteren af Lorentz består i dette, at staten med førstnævnte er på hvert sted bestemmes af forbindelser med sagen og den tilstand af æteren i de omkringliggende steder, som er egnede til lov i form af differentiallyigninger, mens tilstanden af Lorentzian ether i mangel af elektromagnetiske felter er betinget af noget uden for sig selv, og er overalt den samme. Æteren af den almene relativitetsteori transmutes begrebsmæssigt i æteren af Lorentz hvis vi erstatte konstanter for de funktioner af plads, som beskriver den førstnævnte, der ses bort fra de årsager, der tilstand dens tilstand. Således kan vi også sige, tror jeg, at æteren af den almene relativitetsteori er resultatet af Lorentzian ether, gennem relativation.

Med hensyn til den del, som den nye ether er at spille i fysik i fremtiden endnu, vi er ikke klare. Vi ved, at det bestemmer de metriske relationer i rum-tid kontinuum, fx de configurative muligheder for faste legemer samt gravitationsfelter, men vi ved ikke, om det har en væsentlig andel i strukturen af de elektriske elementarpartikler udgør sagen. Vi ved heller ikke, om det kun er i nærheden af målelige masserne, at dens struktur adskiller sig væsentligt fra de Lorentzian ether; om geometri af rum af kosmisk udstrækning er ca euklidisk. Men vi kan hævde på grund af den relativistiske ligninger gravitation at der skal være en afgang fra euklidiske relationer, med mellemrum af kosmisk størrelsesorden, hvis der findes en positiv middeltæthed, uanset hvor lille, af stof i universet.

I dette tilfælde må universet nødvendigvis være rumligt grænseløse og finite størrelsesorden, idet dens størrelse bestemmes af værdien af den gennemsnitlige tæthed.

Hvis vi betragter tyngdefeltet og det elektromagnetiske felt ud fra æteren hypotese, finder vi en bemærkelsesværdig forskel mellem de to. Der kan ikke være plads eller nogen del af rummet uden gravitations potentialer, for disse tillægger rummet sine metriske kvaliteter, uden hvilke det ikke kan forestille sig overhovedet. Eksistensen af tyngdefeltet er uløseligt forbundet med eksistensen af rummet. På den anden side en del af rummet kan meget vel forestille sig uden et elektromagnetisk felt, og således i modsætning til gravitationsfelt synes elektromagnetiske felt kun sekundært forbundet med ether, den formelle karakter af det elektromagnetiske felt, da det endnu i ingen måde bestemt af det af gravitationel æter. Fra den nuværende tilstand af teori ser det ud som om det elektromagnetiske felt, i modsætning til tyngdefeltet, hviler på en helt ny formel motiv, som om naturen kunne lige så godt have

Uredigeret, oversat med *Google Oversæt*, 14. Jan. 2014

begavet den gravitationelle ether med områder af ganske anden type, for eksempel med felterne i en skalar potentiale, i stedet for inden for den elektromagnetiske type.

Idet der ifølge vores nuværende forestillinger de elementære partikler af stof er også i deres essens, intet andet end fortætninger af det elektromagnetiske felt, vores nuværende opfattelse af universet præsenterer to virkeligheder, som er helt adskilt fra hinanden begrebsmæssigt, selvom forbundet kausalt, nemlig, gravitationel ether og elektromagnetisk felt, eller - som de også kan kaldes - rum og stof.

Selvfølgelig ville det være et stort fremskridt, hvis vi kunne lykkes ved at forstå tyngdefeltet og det elektromagnetiske felt sammen som én samlet kropsbygning. Så for første gang den epoke i teoretisk fysik grundlagt af Faraday og Maxwell ville nå en tilfredsstillende konklusion. Kontrasten mellem ether og sagen ville blegne, og gennem den almene relativitetsteori, ville hele fysikkens blive en komplet system af tanker, ligesom geometri, kinematik, og teorien om gravitation. En overordentlig genial forsøg i denne retning er foretaget af matematikeren H Weyl, men jeg tror ikke, at hans teori vil holde sin terræn i forhold til virkeligheden. Yderligere, overvejer den nærmeste fremtid i teoretisk fysik, vi burde ikke ubetinget at afvise muligheden for, at de forhold, som indgår i kvanteteorien kan sætte grænser for det område teori hvor det ikke længere kan passere.

Opridset, kan vi sige, at i henhold til den generelle relativitetsteori rum er udstyret med fysiske kvaliteter, i denne forstand, derfor eksisterer der en ether. Ifølge den almene relativitetsteori rum uden æter er utænkeligt, for i et sådant rum er der ikke blot ville være nogen formering af lys, men også ingen mulighed for eksistens for standarder for tid og rum (måling - stænger og ure), der derfor ikke rum- tidsintervaller i fysisk forstand. Men denne æter må ikke opfattes som udstyret med kvaliteten karakteristisk for målelige medier, som består af flere dele, som kan spores gennem tiden. Ideen om bevægelse, kan ikke anvendes på den.