»Relativitetsprincipet«

H. M. Hansen

Fysisk Tidsskrift 15 (1916–17), pp. 18–29

READING COPY — NOT FOR CIRCULATION.
In copyright in Denmark until 31 December 2026 (H. M. Hansen died 13 June 1956; the term is life + 70). Public domain from 1 January 2027. Made for private study; please do not post or forward.

Den Interesse for Relativitetsspørgsmaalet, som flere Artikler i Fysisk Tidsskrift i den *[18]*
senere Tid har givet Vidnesbyrd om, tilskynder mig til at knytte nogle Bemærkninger til disse Artikler. Det forekommer mig nemlig, at baade Professor *Kroman*'s[*)] og Redaktør *Helge Holst*'s Kritik i nogen Grad bygger paa Misforstaaelser især af Lorentz' Opfattelse.

1. Da man havde forsøgt at forklare det negative Resultat af Michelson's Interferensforsøg ved den *Lorentz - Fitzgerald*ske Sammentrækningshypotese (1892), indvendte *Poincaré* (1900), at en saadan ad hoc fremsat Hypotese var en utilfredsstillende Forklaring: det kunde jo blive nødvendigt at indføre nye Hypoteser, hver Gang der fremkom nye Kendsgerninger. Dette skete nu meget snart. Lord *Rayleigh* sluttede i 1902, at dersom den Lorentzske Sammentrækning fandt Sted, maatte Jordens Bevægelse gøre et gennemsigtigt Legeme dobbeltbrydende. En saadan Dobbeltbrydning søgte han forgæves at paavise, og senere har *Brace* gentaget Forsøget med en overordentlig følsom Kompensator, men ligeledes forgæves. *Trouton* og *Noble* søgte i 1903 at paavise et Drejningsmoment, som efter Elektronteorien maa virke paa en ladet Pladekondensator, naar Pladerne danner en Vinkel med Jordens Translationsretning: Kondensatoren var anbragt paa en tilstrækkelig følsom Snovægt: den skulde altsaa dreje sig, naar den blev opladet, men Resultatet var ogsaa negativt. Alle de her omtalte Virkninger skulde ligesom Stribeforskydningen i Michelsonforsøget være Virkninger af 2. Orden, proportionale med Kvadrat ɔ: $\left(\frac{v}{c}\right)^2$ paa Forholdet mellem Jordens Translationshastighed og Lyshastigheden[**)].

[*)] Fys. Tidsskr. XIV, 1, 1915–16.

[**)] En Ændring af Lysteorien for at forklare Michelson-Forsøget, som foreslaaet af Prof. Kroman (S. 7), vilde ogsaa rammes af Poincaré's Indvending, da den jo næppe vilde klare Trouton-Noble-Forsøget.

2. Disse negative Resultater[*)] foranledigede (1904) *Lorentz* til at søge at ændre Grund- *[19]*
laget for Elektronteorien saaledes, at den blev i Stand til at forklare i størst mulig Almindelighed, at elektromagnetiske Fænomener i et vilkaarligt System foregaar uafhængigt af Systemets Bevægelse (naar denne er uden Acceleration). For at naa dette Resultat maatte i det væsentlige gøres følgende nye Antagelser: 1) Selve Elektronerne, der som hvilende (i Forhold til Æteren) antages kugleformede, trækker sig ved jævn Bevægelse sammen i Bevægelsesretningen i det Forhold, som den gamle Lorentz-Fitzgeraldske Hypotese forlangte. 2) Alle Kræfter mellem uladede Partikler indbyrdes (altsaa f. Eks. ogsaa elastiske Kræfter) eller mellem ladede og uladede Partikler forandres ved en Translation paa samme Maade som elektriske Kræfter i et elektrostatisk System.

Disse Antagelser viste sig i Stand til at forklare, at det ikke er muligt at paavise en jævn Translation i Forhold til Æteren. Men det er, som vi skal se, rigtignok en ganske anderledes vidtgaaende Hypotese end den oprindelige Kontraktionshypotese, og det er en Misforstaaelse at tro, at Antagelsen af denne sidste alene er Lorentz' Standpunkt, eller at den alene skulde være i Stand til at forklare alle de ovenfor omtalte Forsøg, der volder Vanskelighederne.

3. *Einstein* greb i 1905 uden at kende Lorentz' Arbejde Sagen an paa en anden Maade. Han var ligesom Lorentz kommen til den Opfattelse, at det ikke var tilfældigt, at netop de hidtil anstillede Forsøg paa at paavise Jordens Translation havde givet negative Resultater, men at det var det rimeligste at antage, at hvad Aarsagen dertil end var, var den af en saadan Art, at alle Forsøg i den Retning maatte strande. Han opstillede da — vi kan maaske sige foreløbig — dette som Princip for at drage Konsekvenserne deraf; dette Relativitetsprincip kan f. Eks. formuleres saaledes: Naturlovene er uafhængige af Iagttagerens Bevægelsestilstand, naar denne er uden Acceleration. Der kan altsaa ikke eksistere noget fra de andre udmærket Koordinatsystem, hvorved man kan definere absolut Bevægelse, men alle Systemer, der bevæger sig i Forhold til hverandre med jævn *[20]*
Hastighed, er nøjagtig lige gode til Beskrivelse af et hvilket som helst Naturfænomen.

Hertil føjer Einstein nu det saakaldte Dogme om Lyshastighedens Konstans. Dermed kan det siges at forholde sig paa følgende Maade[*)]: Ved Fastsættelse af, ved hvilke Transformationsligninger man under Antagelse af Relativitetsprincipets Gyldighed gaar over fra et af disse ligeberettigede Systemer til et andet, d. v. s. fra de Erfaringer, som en Iagttager i det ene System gør, slutter til dem, en Iagttager i det andet System vil gøre

[*)] Hertil er senere (1908) kommen et forgæves Forsøg af *Trouton* og *Rankine* paa at paavise en Indflydelse af Jordens Translation paa en Leders Ledningsevne, nemlig en Forskel i Ledningsevnen i Retning af og tværs paa Translationen. En saadan Forskel kunde ventes under Antagelse af Kontraktionshypotesen, saa dette Forsøg er nær beslægtet med Rayleigh-Braces.

[*)] Fys. Tidsskr. X, 262, 1911–12.

angaaende det samme Fænomen, maa vi gaa ud fra et eller andet bekendt Fænomen. Hvilket, maa efter Relativitetsprincipet være ligegyldigt; var det ikke det, d. v. s. fik man forskellige Transformationsligninger ved at gaa ud fra forskellige Fænomener, var jo netop Relativitetsprincipet ikke gyldigt. Men det Fænomen, vi vælger, maa være tilstrækkelig simpelt og kendt med tilstrækkelig stor Nøjagtighed, og derfor bliver der i Virkeligheden kun Tale om eet Fænomen, Lysets Forplantning i det tomme Rum (eller Luft). Om den ved vi netop fra Michelsons Forsøg med en overordentlig stor Nøjagtighed, at den for os, der følger med, finder Sted med samme Hastighed c i alle Retninger. Relativitetsprincipet maa da forlange, at enhver Iagttager i ethvert af de berettigede Systemer skal gøre den samme Erfaring, at Lysets Hastighed i Vakuum ogsaa for ham er ens i alle Retninger og lig c[**)].

4. Hvad angaar Udledelsen af Transformationsligningerne paa det saaledes skabte Grundlag kan jeg nøjes med at henvise til Professor Kromans elegante Fremstilling. Transformationsligningerne er identiske med dem, Lorentz Aaret før havde opstillet; alle Konsekvenserne (specielt alle iagttagelige Konsekvenser) bliver derfor ogsaa identiske, det er kun Fortolkningen der bliver forskellig i Overensstemmelse med de ovenfor omtalte *[21]* forskellige Udgangspunkter. (Adskillige af Konsekvenserne var imidlertid ikke bleven opdagede af Lorentz, men kom først frem ved Einsteins Arbejde.)

Lorentz' Fortolkning er følgende: Vi kan benytte Æteren til deri at fastlægge et Koordinatsystem og saaledes definere absolut Hvile og absolut Bevægelse i Forhold til dette Koordinatsystem. Vi kan maaske ogsaa definere absolut Samtidighed for Begivenheder paa forskellige Steder og ordne Tidspunkter i Tidsfølge paa entydig Maade, idet vi i det mindste kan forestille os vilkaarlig store Hastigheder (altsaa paa lignende Maade som i Redaktør Helge Holsts Artikel). Men de i 2. omtalte Grundhypoteser fører til, at naar man meddeler et System en jævn Translation i Forhold til Æteren, forkortes alle Længder i Bevægelsesretningen, og alle Ure giver sig til at gaa langsommere (de elastiske Kræfter i f. Eks. Uroen forandrer sig jo ogsaa), saa at ethvert System efter Lorentz faar sin »effektive Tid«. Disse Ændringer, der jo er udtrykt ved de Lorentz-Einsteinske Transformationsformler, tilfredsstiller derfor ogsaa den af Einstein først paapegede Reciprocitet: Dersom A og B bevæger sig i Forhold til hinanden med en vis relativ Hastighed, saa at de bevæger sig med forskellig Hastighed i Forhold til Æteren, eller at en af dem maaske er i

[**)] Det er yderst faa fysiske Fænomener, vi kender med en tilsvarende Nøjagtighed. Derfor kan der ikke hentes nogen Indvending mod Relativitetsprincipet af den Omstændighed (Kroman S. 22–23), at f. Eks. Aberrationen eller Dopplers Princip faar Udtryk, der afviger fra de sædvanlige med en Faktor $\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}$, da vi ikke tør paastaa, at vore sædvanlige Udtryk er rigtige, og den eksperimentelle Prøve af disse Fænomener ikke kan afgøre Tilstedeværelsen af en Faktor, hvis Værdi ligger saa nær ved 1.

Hvile i Forhold til denne, maa *A* mene nøjagtig det samme om *B* (d. v. s. *B*'s Maalestokke og Ure), som *B* mener om *A*. Det er derfor udelukket, at nogen af dem eller nogen anden *kan* fastslaa, hvem af dem der muligvis hviler i Forhold til Æteren, eller hvem der rigtigt kan afgøre, hvorvidt to Begivenheder paa to forskellige Steder er samtidige eller ej[*)]. Begreberne absolut Hvile, absolut Bevægelse og absolut Samtidighed er efter Lorentz rent teoretiske eller ideale Begreber uden nogen praktisk Betydning.

Einsteins Standpunkt er simplere: Efter ham er der ingen Mening i at tale om absolut Hvile, absolut Bevægelse eller absolut Samtidighed. At man ikke kan forbinde nogen *[22]* Mening med de to første Begreber, naar man stiller sig paa et rent mekanisk Standpunkt og tror paa Newtons Mekanik, er kendt nok, og det har man forlængst vænnet sig til (Professor Kromans Bemærkninger herom (S. 18–19) omtales nedenfor). I hvert Fald i Mekaniken mangler vi det fra de andre udmærkede Koordinatsystemer, der kunde definere absolut Hvile og Bevægelse. Men Antagelsen af en Æter kunde synes at give os et saadant absolut Koordinatsystem, saa at man kunde vente gennem optiske og elektrodynamiske Forsøg at blive i Stand til at skelne mellem Hvile og Bevægelse; imidlertid har de ofte omtalte Forsøg vist os, at det heller ikke er Tilfældet. I Stedet for Mekanikens Relativitetsprincip har Einstein derfor maattet sætte sit eget, der paastaar, at hverken Mekaniken eller nogen anden Gren af Fysiken giver os et saadant absolut Koordinatsystem, og i saa Fald kan man efter hans Opfattelse overhovedet ikke forbinde nogen Mening med at tale om absolut Hvile og Bevægelse. Naar man drager Konsekvenserne af Relativitetsprincipet, viser det sig naturligvis ganske som hos Lorentz, at hvert af de ligeberettigede Systemer faar sin individuelle Opfattelse af Samtidighed for Begivenheder paa forskellige Steder. Følgen deraf maa for Einstein være, at man heller ikke kan forbinde Mening med at tale om en absolut Tid eller absolut Samtidighed.

Enhver Iagttager kan ogsaa efter Einsteins Opfattelse direkte konstatere, at i Systemer, der bevæger sig i Forhold til ham, er Maalestokkene forkortede og gaar Urene langsommere og har Stedtid ganske som efter Lorentz' Opfattelse[*)]. Der er altsaa ikke Tale om Forkortninger o. s. v. blot som Formodninger i Iagttagerens Bevidsthed. Naar der

[*)] Lorentz' ogsaa af Professor Kroman omtalte Diskussion mellem A og B (Das Relativitätsprinzip, S. 22–23) skal kun oplyse dette Forhold. Hvis der efter Lorentz bliver mindre heftig Strid mellem A og B end efter Einstein, ligger det kun deri, at hvis de er Lorentztilhængere, kan de enes om en fælles ideal Definition af Hvile og Samtidighed; de kan aldrig afgøre, hvis Opfattelse der er den ideale, eller om nogen er det. Men da A og B er Fysikere, vil de være for fornuftige til at føre denne Strid; der er jo egentlig intet at strides om og i hvert Fald ingen Mulighed for en Afgørelse, hverken efter Lorentz' eller Einsteins Opfattelse.

[*)] Vi forudsætter naturligvis her som i det følgende, at Iagttagerne raader over tilstrækkelig fine Maaleinstrumenter, saa at Fænomenernes lille Størrelsesorden ingen Betydning faar. Det vil forhaabentlig ikke forstyrre, at jeg for ikke at gøre Artiklen unødvendig bred mange Steder har undladt at omtale forskellige tilsvarende Forudsætninger.

efter Einstein ikke er Mening i at tale om virkelige Forkortninger o. s. v., ligger det i, at der intet absolut System haves, hvori de »oprindelige« Længder og Urgange kan fastslaas. Men det maa erindres, at ogsaa efter Lorentz' Opfattelse er de virkelige Forkortninger o. s. v. i et vist System ikke de samme som dem, en Iagttager, i Forhold til hvem Systemet bevæger sig, konstaterer, med mindre Iagttageren netop hviler i Forhold til Æteren. *[23]*

Da *Ritz*' Standpunkt[*)] ikke kan fastholdes, haves for Tiden kun disse to Forsøg paa en Løsning af Vanskelighederne; *Wiechert* har kaldt dem det betingede og det ubetingede Relativitetsprincip. Da de fører til identiske iagttagelige Resultater, maa det, som Lorentz mener, for en Fysiker blive en Smagssag, hvilken Opfattelse han foretrækker. Einsteins Synsmaade er fænomenologisk; dens store formelle Simpelhed har betinget, at først gennem den overskuede man alle Relativitetsopfattelsens Konsekvenser. Lorentz' Behandlingsmaade er af en mere atomistisk Natur; den søger at give os en Antydning af en Forstaaelse af de paagældende Fænomeners Mekanisme, fører os til i de negative Resultater af Michelson- og Trouton-Noble-Forsøget og i de negative Resultater, som vi ogsaa venter, at eventuelle nye tilsvarende Forsøg paa at paavise Jordens Translation vil give, at se en Kompensation af modsatte Virkninger.

5. Her skal indskydes et Par Bemærkninger om, hvorvidt Lorentz-Einsteins Opfattelse bekræftes af Erfaringen eller har Mulighed for at blive det. En Afgørelse ad Erfaringens Vej af, hvilket af de to Standpunkter der er »rigtigt«, er i Følge Sagens Natur udelukket.

Det kommer da først i Betragtning, at Michelson- og Trouton-Noble-Forsøget hidtil ikke har kunnet forklares paa anden Maade. Videre har især Undersøgelser af Elektronmassens (den transversale Masses) Variation med Hastigheden faaet Betydning. Her har nye Forsøg af *Schaefer* og *Neumann* (1913) ført til en fra alle Sider anerkendt Bekræftelse af Relativitetsteoriens Fordringer; i det mindste har selv *Kaufmann*, der anstillede de første Forsøg herover og længe mente, at hans Resultater var uforenelige med Relativitetsteoriens Fordringer, nu anerkendt det fuldtud (p. 1227 i hans nye Elektricitetslære, Müller-Pouillet, Bd. IV). Endnu nyere Forsøg af *Guye* og *Lavanchy* (1915) har givet samme Resultat.

I denne Forbindelse er det rimeligt at erindre om, at de Maxwellske Ligninger, som ansaas for et rigtigt Udtryk for vore Erfaringer angaaende elektrodynamiske Fænomener i Vakuum, tilfredsstiller Relativitetsprincipet; men paa den anden Side har jo rigtignok den Newtonske Mekanik, som ansaas for et rigtigt Udtryk for vore Erfaringer angaaende *[24]* mekaniske Fænomener, maattet forandres. Imidlertid er selv den efter almindelig Opfattelse uhyre Nøjagtighed, hvormed den Newtonske Mekanik er bekræftet i Astronomien,

[*)] Sml. P. *Ehrenfest*: Æterhypotesens Krise. Fys. Tidsskr. XII, 242, 1913–14.

dog ikke større, eller rettere den Forandring i Mekaniken, som Relativitetsprincipet forlanger, kvantitativt saa lille, at Overensstemmelsen med den nye Mekanik bliver lige saa god, ja i Virkeligheden bedre. Thi den gamle Mekanik formaaede som bekendt ikke at forklare et Beløb paa 43″ pr. Aarhundrede i Merkurs Perihelbevægelse. Disse 43″ kan, som nylig (1915) vist af Einstein, forklares ved hans udvidede Relativitetsteori, der ogsaa omfatter Gravitationen, men desværre kan der ikke gaas nærmere ind paa dette her.

Det er vel endelig ikke overflødigt at erindre om, at der naturligvis intet Forsøg kendes, som strider mod Relativitetsprincipet; i saa Fald maatte dette jo, naar Forsøget var paalideligt gennemført, straks falde; det vilde altsaa tillige betyde, at ogsaa de Lorentzske Hypoteser maatte opgives eller ændres.

Hvad Eksperimenterne i Øjeblikket kan sige angaaende Relativitetsprincipet, maa da sammenfattes derhen, at det foreløbigt opstillede Relativitetsprincip ikke endnu har ført til iagttagelige Konsekvenser, som strider mod Erfaringen, men at denne tværtimod i de ganske vist ret faa Tilfælde, hvor en eksperimentel Prøve hidtil har været mulig, har bekræftet det.

6. Jeg skal derefter gaa over til nærmere at omtale enkelte Hovedpunkter af Professor Kromans interessante Arbejde. Hovedsagen er naturligvis Forsøget (S. 15) paa at paavise, at Einsteins Lære strider mod Logikens Modsigelsessætning.

Der er Tale om to Iagttagere A og B, hver hørende til sit af to Systemer, der bevæger sig i Forhold til hinanden med den konstante Hastighed v; A og B har hver i sit System ordnet sine Ures Visning under den Forudsætning, at Lysets Hastighed for hver af dem er c i alle Retninger. Efter Einstein har hver af dem Ret i sin Fremfærd, da ingen af dem har Acceleration. Der indvendes nu: Her er altsaa to Sandheder, men dette strider mod Logikens Modsigelsessætning. Efter min Mening er det nu ikke uden videre indlysende, at dette er Tilfældet; de to Ting, der skulde være uforenelige, er to forskellige Iagttageres Fremgangsmaade over for to forskellige Opgaver, nemlig Indstillingen af hver Iagttagers Sæt Ure. Imidlertid skal Modsætningen komme tydeligt frem, naar man spørger, hvad B *[25]* skulde have gjort, hvis han ogsaa havde troet sit System bevæget (uden Acceleration). Men dette Spørgsmaal er meningsløst (stadig under Forudsætning af, at Erfaringen som hidtil vedblivende viser det umuligt at fastslaa en absolut Bevægelse i Forhold til en eventuel Æter). Hvis B skulde have troet sig bevæget, maatte han for at kunne gøre noget ved de foreliggende Spørgsmaal have kendt sin Hastighed, hvilket han er ude af Stand til. Hans eneste mulige Standpunkt er at lade, som om hans System hviler, enten han saa med Einstein mener, at der overhovedet ikke er Mening i at tale om absolut Bevægelse, eller med Lorentz, at han blot er ude af Stand til at faa at vide, om han hviler i Forhold

til Æteren eller ej. At *B* skulde give *A* Fortrin for sig selv og antage *A* hvilende, kan der ingen Grund anføres for.

»*B*'s System er forkortet, siger *A*. Nej, siger *B*.« Mellem disse to Standpunkter forlanges det, at Fysikeren som Tredjemand skal skaffe Enhed. Men som foran berørt er der egentlig intet at strides om mellem *A* og *B*. Det kan ikke gøre *B* noget, at *A* mener om hans System, at Maalestokkene er forkortede og Urene gaar for langsomt og viser Stedtid. *B* har ved at indrette sig, som han gjorde, faaet Enhed i sit System og det paa en saadan Maade, at han finder simple og overskuelige Naturlove. Og naar *A* og *B* er Fysikere (d. v. s. begge kender Resultatet af Michelson-Forsøget og de øvrige tilsvarende Forsøg), ved hver af dem jo, hvorfor den anden bærer sig ad som han gør.

Imidlertid har, som vi har set, Lorentz været den Tredjemand, som kunde skaffe den søgte Enhed mellem *A*'s og *B*'s Standpunkt; de der forlanger denne Enhed, stiller sig følgelig blot paa Lorentz' Standpunkt. Kortere end det blev sammenfattet i 4., kan det maaske siges saaledes: Lorentz' Antagelser om Elektroner, Kræfter o. s. v. (se 2.) fører til, at i Systemer der bevæger sig i Forhold til Æteren, trækker alle Længder sig sammen og forandrer alle Ure deres Gang paa en saadan Maade, at Iagttagere i to forskellige Systemer kommer til at dømme om hinanden, som Relativitetssætningerne fordrer.

Det vil nu forstaas, at Lorentz og Einstein maa være enige om en Rejses foryngende Virkning (Kroman S. 28). Den rejsende Mand behøver efter Lorentz' Mening ikke at stille sit Ur til at gaa langsommere, det besørger Bevægelsen i Forhold til Æteren gennem den derved fremkaldte Forandring i Kræfterne af sig selv, og denne samme Forandring *[26]* af Kræfterne maa ogsaa faa de organiske Processer til at forløbe langsommere. Einstein derimod giver i Overensstemmelse med sit fænomenologiske Standpunkt ingen Forklaring paa, hvordan det skal tænkes at »gaa til«. Fænomenet er en Konsekvens af Forudsætningen, af Relativitetsprincipet, og i samme Grad som de af Relativitetsprincipets Konsekvenser, som kan prøves, viser sig at slaa til, i samme Grad nødes man til at tro ogsaa paa denne specielle Konsekvens, selv om denne i Øjeblikket vanskeligt kan tænkes prøvet. Tilfredsstiller et saadant fænomenologisk Standpunkt ikke, har man den Udvej at holde sig til Lorentz' Opfattelse eller gøre sig andre lignende Forestillinger om Fænomenets Mekanisme.

S. 21 indvendes, at Tanken ikke kan fatte, at et Lyspunkt samtidig skulde kunne være paa to Steder. Denne Indvending forstaar jeg næppe helt. (At Transformationsligningerne, som er fundne ud fra den Forudsætning, at Lysets Hastighed i begge Systemer i alle Retninger er *c*, fører til det Resultat, at den er *c*, er jo ikke mærkeligt). Fra Lorentz' Standpunkt er Sagen imidlertid simpel nok: i Følge dette kan vi altid tænke os angivet

entydigt, hvor i Æteren Lysblinket er naaet hen, dets absolutte Koordinater. Blot kan hverken A eller B maale andet end dets relative Koordinater, nemlig fastslaa, hvor Lysblinket befinder sig i deres Systemer. De finder derfor hver sit Udtryk for, hvor det er, men disse Udtryk betegner til samme absolutte Tid det samme Sted i Æteren, det samme absolutte Sted. Einstein kender intet Middel til at angive Lysblinkets absolutte Sted og kan som ofte nævnt ikke forbinde nogen Mening med at tale om dets absolutte Sted. Men naar Lysglimtet passerer A (Koordinat x i A's System) i det Øjeblik, Klokken dér er t, saa tillader Formlerne entydigt at udregne, hvor B, som vi tænker os passere A i samme Øjeblik, befinder sig i sit System (Koordinat x'), og hvad han mener, Klokken dér er (t'). Og han vil da mene, at Lysblinket netop til Tiden t' er naaet til x'.

7. Endnu skal kun knyttes nogle Bemærkninger til Professor Kromans Omtale (S. 17–19) af Relativitetsprincipet i Newtons Mekanik. Ingen Relativist vil benægte, at Einstein har udtalt noget nyt, som ikke findes hos Newton, men ingen Fysiker vil paa den anden Side benægte, at den Newtonske Mekanik ogsaa har *sit* Relativitetsprincip. Stiller vi os paa et rent mekanisk Standpunkt, og tror vi paa Newtons Mekanik, saa kommer vi ikke *[27]* uden om, at Hvile og jævn retlinet Bevægelse er ganske ligestillede Begreber, er »fysisk ét og det samme«. Hvad der for én Iagttager er Hvile, er for en anden lige saa berettiget Iagttager en jævn retlinet Bevægelse. Derimellem kan aldrig træffes Afgørelse. At dette er rigtigt, ses let af det matematiske Udtryk for Newtons Mekanik[*]. Men her skal jeg nøjes med at omtale Eksemplet S. 19 nærmere.

Der er Tale om en Vogn af Massen m, der fra Tiden 0 til Tiden t trækkes med Accelerationen γ uden Gnidning hen ad et Skibs Dæk. I 1. Tilfælde hviler Skibet, i 2. Tilfælde sejler det med konstant Hastighed v i samme Retning, som Vognen trækkes. At der ikke er Identitet mellem de to Tilfælde, er givet nok, men det forlanger Mekanikens Relativitetsprincip rigtignok heller ikke. Det forlanger kun, at en medbevæget Iagttager, en Iagttager paa Skibet skal finde Identitet mellem, hvad der sker paa Skibet i de to Tilfælde, og dette er rigtigt. Hellere end at lade det være en flyvende Fugl, som trækker Vognen, vil vi foreløbig lade en Mand i Forstavnen af Skibet trække den. Han udfører (til alt Held for Sømændene) det samme Arbejde, enten Skibet ligger stille eller bevæger sig, nemlig Kraften $m\gamma$ Gange Vejen $\frac{1}{2}\gamma t^2$[**], og for ham og i det hele for Iagttagere paa Skibet, altsaa medbevægede Iagttagere, er Vognens kinetiske Energi ogsaa i begge Tilfælde $\frac{1}{2}m\gamma^2 t^2$; et saa stort Arbejde kan Vognen i begge Tilfælde udføre, før den igen staar stille paa Skibet. Men for Iagttagere udefra er der som sagt ikke Identitet; vi kan

[*] Sml. S. 252 i min tidligere Artikel (Fys. Tidsskr. X, 251, 1911–12).

[**] At Vejen i begge Tilfælde er $\frac{1}{2}\gamma t^2$ ses lettest ved at huske paa, at saa meget maa Manden forkorte Snoren, hvori han trækker Vognen.

udvide Eksemplet til at oplyse Forholdet helt ved at tænke os en Vogn til paa Skibet, ens med den omtalte og behandlet paa samme Maade, blot trækkes den af en Mand, der sidder paa Land, f. Eks. paa et Bolværk, som Skibet netop glider forbi; lad ham hedde L, medens Sømanden, der trak den første Vogn, hedder S. Det Arbejde, L maa udføre, er forskelligt i de to Tilfælde, paa det stilleliggende Skib naturligvis som før $\frac{1}{2}m\gamma^2t^2$ men paa det bevægede Skib $(\frac{1}{2}\gamma t^2 + vt)\, m\gamma$, altsaa $m\gamma vt$ mere end før, stemmende med, at L mener, at Vognens kinetiske Energi nu bliver $\frac{1}{2}m(\gamma t + v)^2 = \frac{1}{2}m\gamma^2t^2 + m\gamma vt + \frac{1}{2}mv^2$. Det sidste Led $\frac{1}{2}mv^2$ hidrører jo fra, at Vognen deltager i Skibets Bevægelse med Hastigheden v. L maa nu mene, at den anden Vogn har den samme kinetiske Energi; Spørgsmaalet *[28]* er da for L, hvorfra Energimængden $m\gamma vt$ for denne Vogn stammer; den stammer fra Skibet, der har ført S Vejen vt frem mod Kraften $m\gamma$, som han trak i Snoren med, og som Snoren derfor ogsaa trak i ham med. Men omvendt forstaar S maaske ikke, hvorfor L har maattet slide $m\gamma vt$ mere med sin Vogn, da denne jo for S ogsaa kun har Energien $\frac{1}{2}m\gamma^2t^2$. Det overskydende Arbejde er midlertid brugt til at flytte L Vejen vt tilbage, set fra eller i Forhold til Skibet, idet han under denne Bevægelse var paavirket af Kraften $m\gamma$. L's og S's Synsmaade er naturligvis lige berettigede, lige rigtige; sandsynligvis har ingen af dem hvilet absolut, eller rettere, vi mangler som før nævnt i hvert fald i Mekaniken det fra de andre udmærkede Koordinatsystem, der kunde definere absolut Hvile og Bevægelse.

Fuglen i det oprindelige Eksempel svarer til L eller S, alt eftersom man regner den hørende til Omverdenen eller til Skibet. Naar Eksemplet her er behandlet saa udførligt, er det ogsaa for at gøre opmærksom paa, at det, at man besidder Mekanikens Relativitetsprincip, godt kan forenes med, at man analyserer de enkelte Tilfælde nærmere og i Enkelthederne forfølger, hvorledes det hænger sammen med dette Relativitetsprincip; en lignende Bemærkning kunde gøres til Redaktør Helge Holst's Omtale af Fizeaus Forsøg.

8. Endelig skal jeg ganske kort berøre Redaktør *Helge Holst*'s Artikel, til hvilken jo ogsaa adskillgt af det foranstaaende har Adresse. Den af Redaktør Holst hævdede Opfattelse af Samtidighedsbegrebets Indhold falder aabenbart sammen med den af Lorentz antydede, og der er ingen Tvivl om, at denne Opfattelse *kan* fastholdes. Men det maa bemærkes, at det afgørende jo slet ikke er, at det at vi ikke raader over hurtigere Bud end Lysstraalen, faar Betydning over for den *Nøjagtighed*, hvormed vi kan udføre Samtidighedsbestemmelser for Begivenheder paa forskellige Steder (H. H. S. 3). Vanskeligheden kommer, efter at Michelson-Forsøget i Strid med, hvad man vilde vente, har lært os, at Lysets Hastighed i alle Retninger her paa Jorden er c. Thi man kan jo ikke godt tænke sig, at Michelson-Forsøget vilde give andet Resultat f. Eks. paa Mars end her paa Jorden; men dermed er vi inde i den principielle Uoverensstemmelse mellem vor og Marsmenne-

skernes Tidsopfattelse, igen inde i Diskussionen mellem *A* og *B*. Hvorvidt man da vil tillægge den fremsatte Opfattelse af Samtidighedsbegrebets absolutte Indhold Mening *[29]* (eller Interesse), bliver for Fysikere som før nævnt en Smagssag.

Den anden Fremgangsmaade, Anvendelsen af Ure, der tages om Bord i de bevægede Systemer, forandrer intet heri. Paa den Maade tilvejebringes en saadan Overensstemmelse mellem de forskellige Systemers Tidsenhed (resp. ved Maalestokoverføring Overensstemmelse i Længdeenheden), at dersom Systemerne bevæger sig med samme Hastighed, altsaa er i relativ Hvile, maaler de med samme Enhed. Men naar de faar relativ Hastighed, konstaterer alligevel en Iagttager i det ene System de kendte Uoverensstemmelser mellem hans og det andet Systems Længde- og Tidsenheder o. s. v., som er udtrykt ved Lorentz-Einstein-Transformationsformlerne. (Vi forudsætter selvfølgelig stadig, at Relativitetssætningerne gælder, d. v. s. at alle Forsøg af Michelson- og Trouton-Noble-Forsøgets Art giver negative Resultater). Den Aarsag til Forandringerne, som Lorentz søger i Ætervinden, søger Einstein — i Overensstemmelse med sit fænomenologiske Standpunkt — i Rummets og Tidens Natur, uden at han gør sig Mekanismeforestillinger.

Man maa med Interesse afvente yderligere Indlæg fra erkendelsesteoretisk Side i disse Spørgsmaal, bygget i samme Grad som de her omhandlede Arbejder paa en omfattende Viden om Spørgsmaalets fysiske Side. Samtidig maa Fysikernes Arbejde være rettet mod at finde nye Konsekvenser af Relativitetsprincipet, som egner sig til at prøves eksperimentelt, og prøve dem, for at fastslaa endnu bedre end hidtil sket, at vi ikke fysisk kan skelne mellem Hvile og Bevægelse, eller altsaa at Udgangspunktet, Relativitetsprincipet, er et rigtigt Udtryk for vor fysiske Viden om disse Spørgsmaal.

Vi har her slet ikke kunnet gaa ind paa *Einsteins* nyere almindeligere Relativitetsteori, hvor accelererede Bevægelser omhandles og Gravitationen ogsaa er indordnet, men dertil vil der antagelig blive Lejlighed i en senere Artikel.