

TEKST NR 126

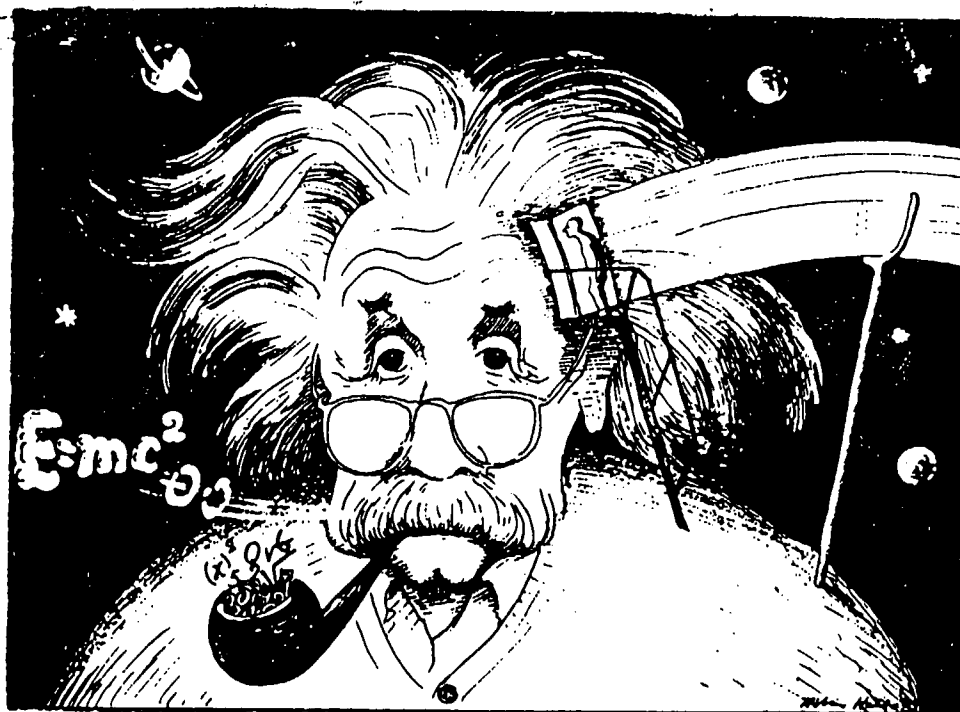
1986

OM UDVIKLINGEN AF

DEN SPECIELLE RELATIVITETSTEORI

–en projektrapport af

Lise Odgaard Gade &
Linda Szkotak Jensen



TEKSTER fra

IMFUFA

ROSKILDE UNIVERSITETSCENTER

INSTITUT FOR STUDIET AF MATEMATIK OG FYSIK SAMT DERES
FUNKTIONER I UNDERVISNING, FORSKNING OG ANVENDELSER

IMFUFA, Roskilde Universitetscenter, Postbox 260, 4000 Roskilde

OM UDVIKLINGEN AF DEN SPECIELLE RELATIVITETSTEORI

IMFUFA tekst nr. 126/86

91 sider

ISSN 0106-6242

ABSTRACT:

Projektet tager udgangspunkt i den meget forsimplede fremstilling af fysikkens erkendelsesmæssige udvikling og betydning, der gives i gymnasie- og universitetslærebøger til fysikundervisning. Udviklingen af den specielle relativitetsteori bruges som standtareksempel i de fleste lærebøger, og vi har derfor brugt denne som case. I projektet gør vi op med nogle af de mange myter, der omgærer netop denne videnskabelige udvikling, ved at karakterisere det brud SR udgjorde i fysikken, og belyse den videnskabelige udviklingsproces, der førte frem til dette. Indholdet i denne belysning er tresidet: Vi foretager først en sammenlignende analyse af Lorentz' originalartikel "Electromagnetic Phenomena in a System Moving with any Velocity less than of Light" fra 1904, og Einsteins "On the Electrodynamics of Moving Bodies" fra 1905. Med baggrund i denne analyse studerer vi en række videnskabshistoriske og -teoretiske analyser af udviklingen af den specielle relativitetsteori.

OM UDVIKLINGEN AF DEN SPECIELLE RELATIVITETSTEORI

FORORD

Denne projektrapport er udarbejdet på Roskilde Universitets Center og dækker eksamenskravene til fysikuddannelsens bredmodul (modul 1) for Lise Odgaard Gade og Linda Szkotak Jensen.

PROJEKTRAPPORT

Lise Odgaard Gade

Linda Szkotak Jensen

VEJLEDERE

Karin Beyer

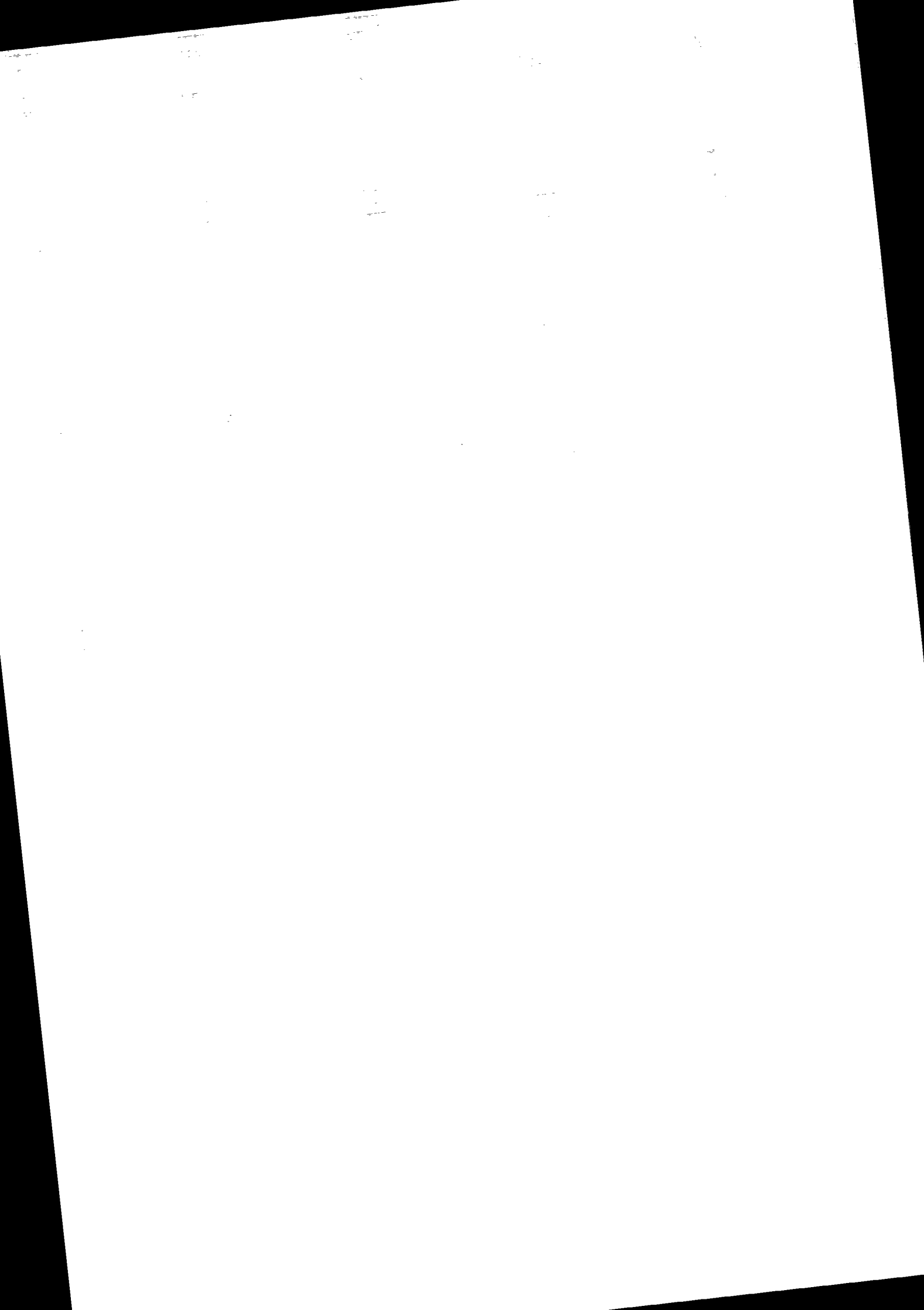
Stig Andur Pedersen

INDHOLDSFORTEGNELSE

Forord.....	1
Indholdsfortegnelse.....	2
1 Indledning og problemformulering.....	3
2 Originalartikel analyse.....	7
2.1 Analyse af Lorentz' artikel fra 1904.....	8
2.2 Analyse af Einsteins artikel fra 1905.....	15
2.3 Sammenligning.....	28
3.Videnskabshistorisk behandling af udviklingen af den specielle relativitetsteori.....	31
3.1 Whittakers analyse.....	32
3.2 Præsentation af Holton og Hirose.....	34
3.2.1 Lorentz' udgangspunkt.....	35
3.2.2 Einsteins udgangspunkt.....	42
3.3 Konklusion.....	53
4.Videnskabsteoretisk behandling af udviklingen af den specielle relativitetsteori.....	57
4.1 Den positivistiske fortolkning af den naturviden- skabelige metode.....	58
4.2 Kuhns videnskabsteori.....	61
4.3 Lakatos om metodologien af videnskabelige forsk- ningsprogrammer.....	64
4.4 Eksperimentets rolle.....	66
4.5 Videnskabelige revolutioner.....	71
4.5.1 Kuhns karakteristik af overgangen fra den new- tonske til den einsteinske mekanik.....	71
4.5.2 Zahar om overgangen fra Lorentz' til Einsteins teori.....	74
4.5.3 Einsteins og Lorentz' forskningsprogrammer. Sammenligning og vurdering.....	77
4.6 Konklusion.....	81
5 Konklusion.....	85
Litteraturliste.....	89

1.

INDLEDNING & PROBLEMFORMULERING



Ett mycket sinnrikt experiment baserat på denna idé utfördes av Michelson och Morley år 1887. Resultatet var negativt. Etervindstyrkan tycktes vara praktiskt taget lika med noll. Tolkat efter bokstaven måste detta innebära att jorden befinner sig i universums centrum och att solen, månen, planeterna och alla andra himlakroppar tumlar runt om jorden i de mest invecklade saltomortaler. Nu vid 1800-talets slut fanns det emellertid ingen som var beredd att acceptera en sådan geocentrisk slutsats. Försök att finna en teoretisk förklaring till dessa negativa resultat gjordes, men förslagen verkade krystade och onaturliga.

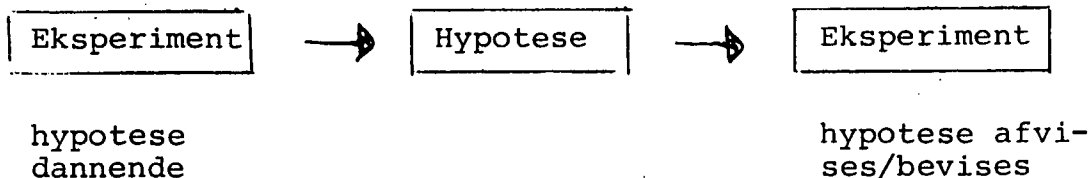
Den speciella relativitetsteorin

Det är här som den unge Einstein träder in i bilden. Han var den förste som vågade dra de korrekta slutsatserna av dessa experimentella resultat. Enligt Einstein kan hela problemet lösas om vi är beredda att acceptera följande två postulater, med alla de logiska konsekvenser som de för med sig:

- 1 Det är för en observatör principiellt omöjligt att genom några som helst fysikaliska experiment avgöra om han befinner sig i vila eller i ett tillstånd av likformig rätlinjig, dvs oaccelererad, rörelse. Detta första postulat kallas den speciella relativitetsprincipen.
- 2 Ljusets hastighet är en universell konstant, densamma för alla observatörer vare sig de befinner sig i vila eller rör sig i förhållande till ljuskällan. Detta kallas postulatet om ljushastighetens konstans.

A & W Fysik
Från naturfilosofi till
modern fysik

Ovenstående citat er et typisk eksempel på, hvordan lærebøger formidler udviklingen af den specielle relativitetsteori. Denne formidling giver en meget receptagtig forståelse af den videnskabelige udvikling, hvor "DEN videnskabelige metode" forstås som et isoleret vekselspil mellem hypoteser og eksperimenter



Vores forargelse over den måde lærebøger formidler udviklingen af den specielle relativitetsteori har i høj grad været drivkrafter for tilblivelsen af dette projekt.

1. INDLEDNING OG PROBLEMFORMULERING.

Formålet med dette projekt er helt overordnet at bidrage til en mere nuanceret forståelse af videnskabsudviklingen. Vi har valgt at opfylde dette formål ved at tage udgangspunkt i en bestemt case, nemlig udviklingen af den specielle relativitetsteori.

Vores ambition har været, at projektet skal kunne bruges af gymnasielærere og andre interesserede til at få indblik i og opnå reel forståelse af den videnskabelige proces, der førte frem til udviklingen af den specielle relativitetsteori, samt at få udtrykt de specielle videnskabshistoriske -og teoretiske pointer, der ligger i denne case. Vi mener, at det er vigtigt, at der i de almindelige lærerinstitutioner sker en saglig formidling af de medvirkende drivkrafter i de videnskabelige udviklingsprocesser, dels for at modvirke fremmedgørelse overfor naturvidenskaben og teknologien, og dels fordi en viden om videnskabens udvikling er af afgørende betydning for en stillingtagen til forskningspolitik og politisk stillingtagen til den teknologiske udvikling.

Valget af case har vi foretaget udfra et ønske om dels at beskæftige os med et centralt brud i fysikkens udvikling, og dels med en periode, som har haft betydning for den moderne fysik for der igennem at få en bedre forståelse af den moderne fysiks grundlag. Vi har valgt udviklingen af den specielle relativitetsteori, da denne udvikling netop er en del af det større brud, der sker i fysikken med overgangen fra den klassiske fysik til den moderne.

Udviklingen af den specielle relativitetsteori bliver ofte fremstillet som en videnskabelig autonom proces, hvor MM-eksperimentet og Einsteins genialitet bliver fremhævet som de vigtigste årsager til denne udvikling. Billedet af Einstein isoleret på et patentkontor i Zürich, hvor han på baggrund af MM-eksperimentet forbedrer Newtons love, så de passer til den empiriske virkelighed, er i den grad blevet en myte, der har indprentet sig i folks bevidsthed om, hvordan udviklingen af den specielle relativitetsteori er foregået.

For at problematisere dette billede har vi studeret, hvordan videnskabshistoriske og videnskabsteoretiske analyser har belyst denne udvikling, og vi har i forlængelse heraf opstillet følgende problemformulering:

- Hvordan kan man karakterisere det brud, der er i fysikken dels ved overgangen fra den Newtonske til den Einsteinske mekanik, og dels ved overgangen fra Lorentz transformationsteori til den specielle relativitetsteori ?
- Hvilke udviklingfaktorer var centrale i den videnskabelige proces, der førte frem til den specielle relativitetsteori ?

Disse spørgsmål vil vi besvare ved at lave en tresidet belysning af udviklingen af den specielle relativitetsteori

Den første er en helt intern videnskabelig vurdering og sammenligning af hhv. Einsteins artikel fra 1905 "On the Electrodynamics of Moving Bodies" og Lorentz' artikel fra 1904 "Electromagnetic Phenomena in a System Moving with any Velocity less than that of Light". Disse to artikler udgør hhv. Lorentz' og Einsteins hovedværker i beskrivelsen af elektromagnetiske fænomener i bevægede systemer. De kommer frem til de samme kinematiske transformationsligninger, og vi foretager derfor vores analyse med henblik på at bestemme forskelle og ligheder i formål, metode, antagelser og konklusioner.

De to andre indgangsvinkler er en hhv. videnskabshistorisk og videnskabsteoretisk belysning. Vores formål hermed er at vise, hvordan disse analyser kan bidrage med en mere nuanceret forståelse af denne udvikling. Dette fører frem til et mere overordnet spørgsmål i vores problemformulering

- Hvordan komplimenterer videnskabshistorien og -teorien hinanden i belysningen og karakteriseringen af en videnskabelig udviklingsproces.

Vi har som videnskabshistorisk begrebsramme vlagt at studere et par enkelte anerkendte historiske analyser. Disse analyser vil i overvejende grad være deksriptive, dvs. analyser, der har til formål at beskrive fortidens hændelser så præcist og fyldigt som muligt uden hensyntagen til at drage nogle generelle konklusioner om den videnskabelige udviklingsproces.

I den videnskabsteoretiske behandling har vi valgt at beskrive udviklingen af den specielle relativitetsteori udfra tre overvejende internalistiske retninger, idet vi betragter udviklingen af den specielle relativitetsteori som en intern videnskabelig udviklingsproces.



2.

ORIGINALARTIKEL-ANALYSE

2. ORIGINALARTIKEL ANALYSE.

Vi vil i dette kapitel analysere hhv. Lorentz' artikel fra 1904 og Einsteins artikel fra 1905. Vi vil foretage analysen med henblik på at bestemme formålet, metoden, antagelserne og konklusionerne i de to artikler. Vores formål er udfra en sammenligning af de to artikler at kvalificere os fagligt til at vurdere de forskellige videnskabshistoriske -og videnskabs-teoretiske forklaringer på udviklingen af den specielle relativitetsteori.

Vi vil så vidt muligt lave analysen udfra originalartiklerne, men for overhovedet at forstå Lorentz' artikel, der i sin udformning er meget vanskeligere at gå til end Einsteins artikel, har vi været nødt til at læse andres analyser af artiklen, og vores analyse vil således i en vis udstrækning være præget af disse og deres syn på udviklingen af den specielle relativitetsteori.

Lorentz var på det tidspunkt han udviklede sin transformations-teori en veletableret og anerkendt fysiker. Han har i en længere periode på mellem 15-20 år været beskæftiget med problemerne omkring optiske og elektromagnetiske fænomener i bevægede systemer, og hans arbejde fra 1904, der resulterer i de velkendte Lorentz-transformationer, er en færdigudvikling og afslutning på dette arbejde. Poincare, som Lorentz har haft et tæt samarbejde med gennem hele perioden, forfiner Lorentz' teori fra 1904 året efter ved nogle matematiske raffineringer. Vi har valgt ikke at gå nærmere ind på Poincares forfining af Lorentz' teori fra 1904.

På det tidspunkt Einstein udvikler det vi i dag kalder den specielle relativitetsteori, var han kun 26 år, og han var langt fra en veletableret fysiker. I året 1905 udgiver han tre artikler med mindre end 8 ugers mellemrum. I den sidste udvikler han teorien for den specielle relativitetsteori. I de to andre behandler han hhv. teorien for den fotoelektriske effekt, hvor han formulerer kvantehypotesen for lys, og teorien for beskrivelsen af de Brownske bevægelser.

2.1. ANALYSE AF LORENTZ' ARTIKEL FRA 1904.

Vi har i vores analyse opdelt Lorentz' artikel i tre afsnit. Det første er et indledende afsnit, hvor Lorentz beskriver formålet med artiklen. I det næste, som er hovedafsnittet udvikler Lorentz sin transformationsteori. Denne teori bruger han til at forklare nogle forsøgsresultater i det sidste afsnit

FORMÅL.

Lorentz henviser i indledningen af artiklen til problemerne med at forklare udeblivelsen af anden ordens effekten af jordens bevægelse i forhold til ætheren i tre forsøg. Det første forsøg er det velkendte Michelson-forsøg og de to andre er udført af Rayleigh/Brace og Trouton/Noble.

Problemerne med at forklare forsøgsresultaterne er dog ikke den eneste årsag til, at Lorentz påny tager problemerne op med bestemmelse af jordens bevægelses indflydelse på optiske og elektromagnetiske fænomener. Lorentz henviser til Poincares kritik af de tidligere teorier for optiske og elektromagnetiske fænomener i bevægede systemer, nemlig det utilfredsstillende i at skulle indføre en ny hypotese for hvert nyt forsøgsresultat.

"The experiments of which I have spoken are not the only reason for which a new examination of the problems connected with the motion of the Earth is desirable. Poincare has objected to the existing theory of electric and optical phenomena in moving bodies that, in order to explain Michelsons negative result, the introduction of a new hypothesis has been required, and that the same necessity may occur each time new facts will be brought to light."

Og videre

"It would be more satisfactory if it were possible to show by means of certain fundamental assumptions and without neglecting terms of one order of magnitude or another, that many electromagnetic actions are entirely independent of the motion of the system."

Lorentz formål med artiklen fra 1904 er altså udfra fundamentale antagelser at vise, at mange elektromagnetiske fænomener er uafhængige af systemets bevægelse.

METODE.

Vi vil i det følgende systematisk gennemgå den metode, der anvendes i artiklen. Det helt basale teoretiske grundlag består af Maxwell-ligningen og Galilei-transformationerne. Lorentz redegør ikke for den anvendte metode, og den virker derfor umiddelbar svært gennemskuelig. I vores analyse af metoden har vi delt den op i tre trin. I det første trin indfører Lorentz uden nærmere forklaringer Lorentz-transformationerne, og udfra disse definerer han et matematisk fiktivt system. Dernæst laver han i de to næste trin en fortolkning af det matematiske system. Inden vi uddyber denne fortolkning, vil vi først gennemgå det første trin.

Lorentz tager udgangspunkt i de fundamentale ligninger fra elektronteorien, der udgør det vi i dag kalder elektrodynamikken.

$$\text{Div}\bar{D} = \rho$$

$$\text{Div}\bar{H} = 0$$

$$\text{Rot}\bar{H} = \frac{1}{c} \left(\frac{\partial \bar{D}}{\partial t} + \rho \bar{v} \right)$$

$$\text{Rot}\bar{D} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \bar{H}}{\partial t}$$

$$\bar{F} = \bar{D} + \frac{1}{c} (\bar{v} \times \bar{H})$$

Lorentz antager, at disse ligninger er gyldige i hvilesystemet i forhold til ætheren. Hvilesystemet sættes i bevægelse med en jævn translatorisk hastighed v . Han transformerer ligningerne for de elektromagnetiske felter i hvilesystemet til det bevægede system ved en Galilei-transformation. Der fremkommer herved nogle ligninger, som overhovedet ikke ligner de oprindelige fundamentale ligninger.

Lorentz definerer nu rent matematisk nogle nye steds- og tidskoordinater udfra systemet i bevægelse.

$$x' = \beta l x$$

$$y' = l y$$

$$z' = l x$$

$$t' = \frac{t}{\beta} - \beta l \frac{v}{c^2} x$$

hvor $\beta^2 = \frac{c^2}{c^2 - v^2}$ og l er en funktion af v . Han definerer endvidere to nye vektorer \bar{D}' og \bar{H}' udfra \bar{D} og \bar{H} i det bevægede system. Ved at indsætte de nye matematiske variable i de fundamentale ligninger fremkommer der nogle ligninger, som omtrentlig svarer til de fundamentale ligninger.

Lorentz kommer ikke frem til nogle ligninger der præcist svarer til de fundamentale ligninger, han har et ekstra led i den første ligning

$$\text{Div} \bar{D}' = \left(1 - \frac{v u_x}{c^2}\right) \rho'$$

hvor u_x er elektronens hastighed i forhold til ætheren. Denne fejl skyldes givetvis, at han ikke Lorentz-transformerer hastigheden af elektronen.

Det er hermed lykkedes Lorentz at finde frem til nogle transformationer under hvilken de fundamentale ligninger næsten er invariante. I nedenstående figur har vi illustreret Lorentz metode.

Hvilesystemet, S_0 Maxwell-ligninger $(x_0, y_0, z_0, t, \bar{D}, \bar{H}, \rho)$	jævn trans. bev. \longrightarrow Galilei-transf. $x = x_0 + vt$ $y = y_0$ $z = z_0$ $t = t$	Det bevægede system, S Ikke Maxwell-ligninger $(x, y, z, t, \bar{D}, \bar{H}, \rho)$
---	---	--

Matematisk system
 Maxwell-ligninger
 $(x', y', z', t', \bar{D}', \bar{H}', \rho')$

Lorentz tilknytter et rum til hver af de to systemer - det bevægede system og det matematiske system. Disse to rum betegner han hhv. S og S'. Der eksisterer en en-entydig afbildning mellem de to rum, eller som Lorentz kalder det, et sæt af korreponderende tilstande mellem de to rum. Lorentz har ingen problemer med at acceptere de nye stedkoordinater, der i en eller anden forstand blot kan betragtes som en forskydning i rummet. Hans problem er derimod at acceptere den nye tidskoordinat t', som han siger kun betegner en lokal tid, hvorimod t i det bevægede system er den rigtige tid. For Lorentz er systemet i bevægelse det virkelige system, som uden videre kan tilknyttes den fysiske virkelighed. Det matematiske system er kun et "fiktivt" system, der ikke uden videre kan tilknyttes nogen fysisk virkelighed. Lorentz giver således ikke nogen fysisk forklaring på sin definition af det matematiske system, og det matematiske system ser umiddelbart ud som noget matematisk hokus-pokus.

Lorentz begynder herefter at fortolke det matematiske system. Denne fortolkning foretager han i to trin. Først viser han ud fra et specielt tilfælde, at de to systemer S og S' kan betragtes som to systemer, der bevæger sig med en jævn translatorisk hastighed i forhold til hinanden. Dernæst viser han ved at indføre en række antagelser, at det matematiske system S' kan forstås som det fysiske system i hvile i forhold til ætheren.

I specielt tilfældet betragter Lorentz to elektrostatiske systemer, dvs at ladningerne i de to systemer ligger stille. De to systemer bevæger sig med en jævn translatorisk hastighed v i forhold til hinanden, og den eneste hastighed der indgår i beskrivelsen af de to systemer er således v.

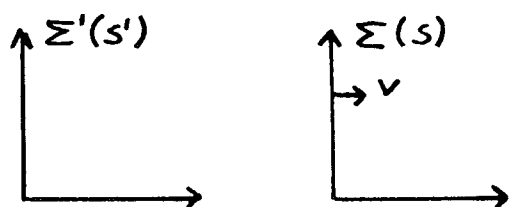
Dette indsættes i ligningerne for det matematiske system, og der fremkommer herved et sæt af ligninger, der nøjagtigt svarer til Maxwell-ligningerne for et elektrostatisk system. Lorentz udleder endvidere en sammenhæng mellem de "ponderomotive" kræfter i S og S'

$$\bar{F}_x = 1^2 \bar{D}'_x, \quad \bar{F}_y = \frac{1^2}{\beta} \bar{D}'_y, \quad \bar{F}_z = \frac{1^2}{\beta} \bar{D}'_z$$

Lorentz fortolker resultatet således:

"The result may be put in a simple form if we compare the moving system Σ , with which we are concerned, to another electrostatic system Σ' which remains at rest, and into which Σ is changed if the dimensions parallel to the axis of x are multiplied by βl , and the dimensions which have the direction of y or that of z , by l - a deformation which $(\beta l, l, l)$ is an appropriate symbol."

De to elektrostatiske systemer betegnes altså med Σ og Σ' , hvor Σ' er systemet i hvile og Σ systemet i bevægelse, og de betragtes som placeret i de to rum S og S' .



De to rum S og S' kan således betragtes som to rum, hvori der kan placeres to fysiske systemer, som bevæger sig med en jævn translatorisk hastighed i forhold til hinanden.

Ud fra den matematiske sammenhæng mellem S og S' udleder Lorentz, at der gælder følgende relationer mellem længder og kræfter i de to systemer:

$$L(\Sigma) = \left(\frac{l}{\beta l}, \frac{l}{l}, \frac{l}{l} \right) L(\Sigma')$$

$$F(\Sigma) = \left(l^2, \frac{l^2}{\beta}, \frac{l^2}{\beta} \right) F(\Sigma')$$

Lorentz giver herefter den endelige fysiske fortolkning af det matematiske system. Han er her nødt til at indføre en række antagelser. Vi vil ikke i detaljer forklare Lorentz' fysiske fortolkning, men blot skitsere det, som er nødvendigt for at forstå forskellen mellem Lorentz' og Einsteins udledninger.

Lorentz' første antagelse er, at elektroner, som i hvile antages at være kugleformede, antages at få deres dimensioner ændret således, at dimensionene i bevægelsesretningen bliver forkortet med βl og vinkelret på bevægelsesretningen med l .

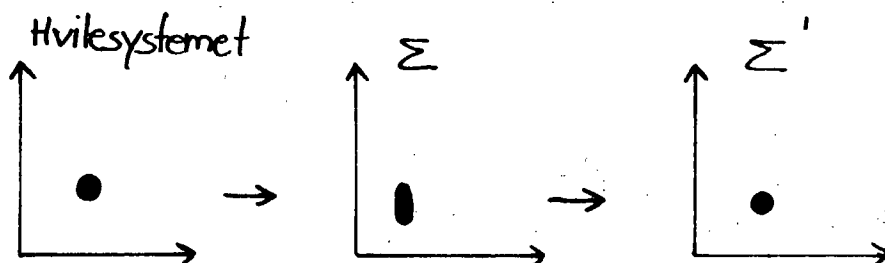
"I shall now suppose that the electrons, which I take to be spheres of radius R in the state of rest, have their dimensions changed by the effect of translation, the dimensions in the direction of motion becoming βl times and those in perpendicular directions l times smaller."

Ifølge Lorentz har vi altså, at elektroner, der befinder sig i hvilesystemet (æthersystemet) er kugleformede, og at elektroner, der befinder sig i et system, som bevæger sig med en jævn translatorisk hastighed i forhold til hvilesystemet er ellipseformede. Denne deformation er ifølge Lorentz en effekt af selve bevægelsen.

Ved at benytte det tidligere udledte resultat, hvor der mellem to systemer Σ og Σ' , der bevæger sig med en jævn translatorisk hastighed i forhold til hinanden gælder følgende relation

$$L(\Sigma') = (\beta l, 1, 1)L(\Sigma)$$

kommer Lorentz frem til at de ellipseformede elektroner i det bevægede system ved transformation over i Σ' igen bliver kugleformede.



Dette fortolker Lorentz således, at Σ' er et udtryk for det fysiske system i hvile i forhold til ætheren, og Σ er det fysiske system i bevægelse.

For Lorentz er Σ det virkelige fysiske system, hvor det er muligt at lave fysiske målinger, og Σ' er et matematisk udtryk for dette virkelige fysiske system set i hvilesystemet i forhold til ætheren. Det er således ikke muligt at lave fysiske målinger i Σ' , da det ikke er muligt at bestemme hvilesystemet i forhold til ætheren.

Lorentz har hermed næsten vist gyldigheden af Lorentz-transformationerne. Han mangler blot at redegøre for, at $l(v) = 1$. Dette opnås ved at sammenholde de udledte transformationer for

kræfter, masser og acceleration og benytte Newtons 2. lov

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

Sammenfattende om Lorentz' metode mener vi, at den er svært gennemskuelig. Han definerer uden nærmere forklaring det matematiske system. Ved at indføre en række antagelser redegør han sidenhen for, at det matematiske system er et udtryk for det bevægede system i hvile i forhold til ætheren.

Lorentz indfører følgende antagelser:

- Hastigheden v af det bevægede system skal være lille i forhold til c .
- Elektronen er kugleformet i hvilesystemet.
- En bevæget elektron ændrer dimensionen i bevægelsesretningen med β .
- Alle kræfter transformeres ved bevægelse som de elektromagnetiske kræfter.
- Elektronens ladning er jævnt fordelt på overfladen i hvilesystemet
- En bevæget elektron er bestemt ved to elektromagnetiske masser - en parallel og en vinkelret på bevægelsesretningen

Senere, hvor Lorentz udvikler sin teori til at gælde beskrivelsen af de molekulære kræfter indfører han yderligere et par antagelser.



Hovedsagen ved Lorentz teori er, at den bygger på eksistensen af ætheren og et absolut referencesystem. Han forklarer længdekontraktionen som en konsekvens af bevægelsen gennem ætheren, dvs. den er en fysisk realitet, der ikke lader sig måle, da selve måleinstrumenterne bliver foverængede af bevægelsen.

2.2. ANALYSE AF EINSTEINS ARTIKEL FRA 1905.

Artiklen indeholder tre hovedafsnit:

I indledningen beskrives de fysiske problemstillinger der tages udgangspunkt i, og grundlaget for udviklingen af teorien præsenteres. På baggrund heraf udleder Einstein i "Den kinematiske Del" de relativistiske love. Disse anvendes på elektrodynamikken i artiklens sidste del: "Den elektrodynamiske del".

FORMÅL.

Intet sted i artiklen formulerer Einstein direkte formålet. Såvel artiklens titel: "On the Elektrodynamics of Moving Bodies", som det at han tager udgangspunkt i asymmetrier i de klassiske forklaringer af visse elektrodynamiske fænomener, tyder dog på, at formålet ikke er at revidere de klassiske mekaniske love, men snarere er at udryde de førnævnte asymmetrier og dermed udvikle en konsistent og komplet beskrivelse af elektrodynamikken og dens anvendelse på bevægede legemer.

Det grundlæggende trin til at opnå dette er Einsteins forkastelse af ideen om absolut hvile, og dermed det absolutte rum og ætherforestillingerne. I stedet postulerer Einstein to grundlæggende principper, som er de eneste basale antagelser, på hvilke han opbygger sin teori om elektrodynamikken af bevægede legemer:

- 1) RELATIVITETSPRINCIPPET: De elektrodynamiske og optiske love vil være de samme i alle referencesystemer, hvor de mekaniske love gælder.
- 2) DEN KONSTANTE LYSHASTIGHED: Lyset udbredes i det tomme rum med en konstant hastighed c , som er uafhængig af det emitterende legemes bevægelsestilstand.

"Examples of this sort, together with the unsuccessful attempts to discover any motion of the earth relatively to "light medium" suggest that the phenomena of electro-dynamics as well as of mechanics possess no properties corresponding to the idea of absolute rest. They suggest rather that, as have already been shown to the first order of small quantities, the same laws of electrodynamics and optics will be valid for all frames of reference for which the equations of mechanics holds good. We will raise this conjecture (the purport of which will hereafter be called the "Principle of Relativity") to the status of a postulate, and also introduce another postulate, which is only apparently irreconcilable with the former, namely, that light is always propagated in empty space with a definite velocity c which is independent of the state of motion of the emitting body. These two postulates suffice for the attainment of a simple and consistent theory of the electrodynamics of moving bodies based on Maxwell's theory for stationary bodies."

Vi mener, at Einsteins egentlige formål med artiklen er at lave en konsistent teori for elektrodynamikken af bevægede legemer, og udledningen af det, som vi idag kalder for den relativistiske mekanik, foretager Einstein som et middel til at opfylde dette mål.

Beskrivelse af asymmetrien i induktionsforsøgene:

Hvis vi bevæger en magnet i forhold til ætheren med hastigheden \vec{v} , og lader lederen ligge stille, vil der opstå et elektrisk felt i rummet svarende til ændringen af det magnetiske felt i tiden. En elektron der ligger stille i lederen, vil påvirkes af en kraft, og derved skabes en strøm. Kraften elektronen påvirkes af, kan beskrives med formlen for Lorentzkraften: $\vec{F} = e(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$, $\vec{E} \neq 0$, $\vec{v} = 0$.

Lader vi nu magneten ligge stille vil der igen induceres en strøm i kredsen. Forklaringen er dog fundamental forskellig fra den første, idet der ikke opstår et elektrisk felt, når det magnetiske felt er statisk. Vi har i stedet, at elektronen påvirkes af Lorentz kraften, da den bevæges i det magnetiske felt: $\vec{F} = e(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$, hvor $\vec{E} = 0$, men $\vec{v} \neq 0$.

Induktionsfænomenet er her forklaret ud fra den klassiske elektromagnetisme, og der er altså ifølge denne en basal ontologisk forskel mellem en situation, hvor en magnet bevæges i ætheren, og en situation hvor den samme magnet er stationær. På den anden side kan vi se af ovenstående beregninger at strømmen, kun er afhængig af den relative hastighed mellem leder og magnet, dvs vi har en asymmetri mellem de to situationer. Einstein kunne ikke acceptere den asymmetriske forklaring på et symmetrisk problem, og fjerner i den specielle relativitetsteori dette modsætningsforhold.

METODE.

I det følgende vil vi præsentere de metoder der anvendes i artiklen lidt nærmere. Det helt basale grundlag for teoriudviklingen er som sagt de to postulater, og sammen med forkastelsen af ideen om absolut hvile udgør de den kerne, der er fundamentalt ændret i forhold til den klassiske mekanik.

Vi vil nu først se lidt nærmere på udledningen af Lorentztransformationen, og endvidere på udledningen af transformationsformlen for E- og B-felter, da denne formel er central som grundlag for den øvrige udvikling af teorien for elektrodynamikken af bevægede legemer.

Udledning af Lorentztransformationen.

Einstein starter "Den kinematiske Del" med at definere begrebet samtidighed, eftersom alle overvejelser om tid, netop er baseret på dette begreb. Hvis vi f.eks. vil tale om tiden i et koordinatsystem, er det nødvendigt at kunne have tiden defineret ved brug af stationære ure i systemet:

"The "time" of an event is that which is given simultaneously with the event by a stationary clock located at the place of the event, this clock being synchronous, and indeed synchronous for all time determinations, with a specified stationary clock."

Bestemmelsen af samtidighed foretager Einstein ud fra en definition af synkroniseringen mellem to ure. Den tid det tager lyset at nå fra et punkt A til et andet punkt B, er lig med den tid det tager at nå fra B til A. Einstein forestiller sig nu, at han i de punkter har to stationære ure, der viser hhv. t_a og t_b , og at en lysstråle udsendes fra A til tiden t_a . Denne når B til tiden t_b og reflekteres tilbage mod A, som den når til tiden t'_a . I følge definitionen er de to ure synkronne, hvis:

$$t_b - t_a = t'_a - t_b$$

Således opnår Einstein vha. et såkaldt tankeeksperiment en forståelse for, hvad der menes med synkronne stationære ure,

der er placeret forskellige steder i rummet.

Ovenstående overvejelser danner et nødvendigt grundlag for udviklingen af transformationsligningerne, idet Einstein med en videreudvikling af sit tankeeksperiment påviser relativiteten af længder og tider. Han sammenligner længde- og tidsmålinger i de to systemer, hvor det ene "ligger stille" (er stationært), mens det andet bevæges med en konstant hastighed i forhold til det første. I følge den klassiske mekanik vil målinger foretaget i det ene system være nøjagtig lig med tilsvarende målinger i det andet. Men via sit tankeeksperiment kommer Einstein frem til et resultat, der er i modstrid med den klassiske opfattelse. Han finder nemlig, at to begivenheder der er samtidige i det ene system, er tidsforskudte hvis de betragtes fra et andet, der bevæger sig jævnt translatorisk i forhold til det første:

"So we see that we cannot attach any absolute significance to the concept of simultaneity, but that two events which, viewed from a system of co-ordinates, are simultaneous when envisaged from a system which is in motion relatively to that system."

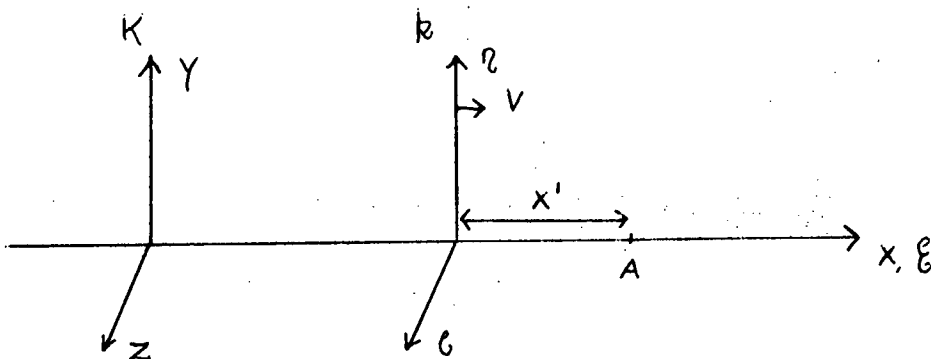
I denne konklusion ligger nødvendigvis en forkastelse af Galileitransformationen (vores kommentar).

Einstein sætter sig for at finde de ligninger, der forbinde målinger i de to systemer; nærmere bestemt transformationen af koordinater og tider fra et "stationært" system til et system, der er i jævn translatorisk bevægelse i forhold til det første. Metoden Einstein anvender til denne er at definere de to systemer og deres indbyrdes bevægelse matematisk, og at matematificere problemstillingen om tids- og længderelativiteten. Han foretager en matematisk analyse af sammenhængen mellem tids- og længdemålinger i de to systemer, og får simpelthen de to størrelser udtrykt i to ligninger med to ubekendte. På baggrund heraf finder han først tidstransformationen, hvorefter han udleder længdetransformationen.

I det følgende vil vi gennemgå Einsteins matematiske analyse til udledning af Lorentztransformationen. Denne er nemlig en helt central del af teoriudviklingen, og viser samtidigt såvel karakteren af Einsteins tankeeksperiment, som den enkle

matematik han anvender:

Einstein definerer nu i rummet et stationært system $K(x, y, z, t)$ og et system $k(\xi, \eta, \zeta, \tau)$, der bevæges jævnt translatorisk med hastigheden v i forhold til det stationære, således at X -akserne for de to referencesystemer er sammenfaldende, og Y - og Z -akserne er parallelle. (se fig.1)



Formålet er nu at finde de ligninger, der forbinder beskrivelsen af en begivenhed i $K(x, y, z, t)$ med beskrivelsen af den samme begivenhed set fra $k(\xi, \eta, \zeta, \tau)$. Einstein antager at rummet er homogent, og antager derfor at linierne er lineære.

Først laver Einstein en hjælpestørrelse $\bar{x} = x - vt$ for at kunne beskrive et punkt i hvile i k uafhængigt af tiden, dvs. kun ud fra værdierne \bar{x} , y , z og t . Denne hjælpestørrelse \bar{x} kan fortolkes som længden fra k 's begyndelsespunkt O , ud til et punkt A set fra K . Punktet A har koordinaten ξ i k og x i K . Punktet O har koordinaten $x = vt$ i K . Længden OA set fra K er derfor $x - vt = \bar{x}$. (se fig.1).

$A^+ B^+ C^+$
 $C^+ \text{inc.} D^-$

τ defineres nu som funktion af \bar{x} , y , z og t , og metoden hertil er at vende tilbage til Einsteins tankeeksperiment,

hvor han bestemmer tiden i et system ved at synkronisere stationære ure placeret rundt omkring i systemet: Et lyssignal udsendes fra punktet O (origin i k) til tiden τ_0 langs x-aksen til punktet x' , hvor det ankommer og reflekteres til tiden τ_1 . Det når tilbage til origin til tiden τ_2 . Da de to ure er synkroniserede gælder det at

$$\tau_1 - \tau_0 = \tau_2 - \tau_1 \quad \Leftrightarrow$$

$$\tau_1 = \frac{1}{2}(\tau_2 - \tau_0)$$

Denne sammenhæng for τ -funktionen kan udtrykkes ved brug af værdierne x' , y , z , t og derfor betragtes lysstråle(tanke-)eksperimentet set fra K:

Et lyssignal sendes afsted fra O mod A og retur. Tiderne set i K er t , $t + \Delta t_1$ og $t + \Delta t_1 + \Delta t_2$ ved tilbagekomsten til O. Herefter beregnes Δt_1 (tiden det tager lyset at nå fra O til A observeret i K):

Lyset bevæger sig med hastigheden c , men mens lyset er på vej, når A at flytte sig lidt: Dette stykke kaldes Δx .

Tidsforbruget fra O til A er altså $t_1 = \frac{x + \Delta x}{c}$.

Men her må $\Delta x = v \Delta t_1$, altså

$$t_1 = \frac{x' + v \Delta t_1}{c} \quad \Leftrightarrow \quad c \Delta t_1 = x' + v \Delta t_1 \quad \Leftrightarrow \quad \Delta t_1 = \frac{x'}{c - v}$$

Tilsvarende findes let: $\Delta t_2 = \frac{x'}{c + v}$.

Altså bliver $t_1 = t + \frac{x'}{c - v}$ og $t_2 = t + \frac{x'}{c - v} + \frac{x'}{c + v}$.

Disse værdier indsættes i $\tau(x', y, z, t)$ i formlen $\frac{1}{2}(\tau_0 + \tau_2) = \tau_1$ og vi får ligningen:

$$\frac{1}{2} \left(\tau(0, 0, 0, t) + \left(0, 0, 0, t + \frac{x'}{c - v} + \frac{x'}{c + v} \right) \right) = \tau(x', 0, 0, t + \frac{x'}{c - v})$$

For at kunne omskrive denne differensligning til en differentiallyigning skal x' være infinitesimal.

Følgende udledning af differentialligningen kan eventuelt springes over

For overskuelighedens skyld udelader vi y og z i beregningerne. Vi har ligningen

$$\frac{1}{2}(\tau(0, t_0) + \tau(0, t_0 + ax')) = \tau(x', t_0 + bx')$$

hvor $a = (\frac{1}{c-v} + \frac{1}{c+v})$ og $b = \frac{1}{c-v}$

Venstre side af ligningen

$$\tau(0, t_0 + \Delta t_1) = \tau(0, t_0) + \left. \frac{\partial \tau}{\partial t} \right|_{x=0} \Delta t$$

indsættes i venstre side af differensligningen, så denne får formen

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} [\tau(0, t_0) + \tau(0, t_0) + \left. \frac{\partial \tau}{\partial t} \right|_{x=0} \Delta t] \\ &= \tau(0, t_0) + \frac{1}{2} ax' \left. \frac{\partial \tau}{\partial t} \right|_{x=0} \end{aligned}$$

Højre side af ligningen

$$\begin{aligned} \tau(x', t_0 + \Delta t_2) &= \tau(x', t_0) + \left. \frac{\partial \tau}{\partial t} \right|_{x=x'} \Delta t_2 \\ &= \tau(x', t_0) + bx' \left. \frac{\partial \tau}{\partial t} \right|_{x=x'} \end{aligned}$$

Differensligningen omskrives hermed til

$$\tau(0, t_0) + \frac{1}{2} ax' \left. \frac{\partial \tau}{\partial t} \right|_{x=0} = \tau(x', t_0) + bx' \left. \frac{\partial \tau}{\partial t} \right|_{x=x'} \quad (\Leftrightarrow)$$

$$\frac{1}{2} ax' \left. \frac{\partial \tau}{\partial t} \right|_{x=0} = \tau(x', t_0) - \tau(0, t_0) + bx' \left. \frac{\partial \tau}{\partial t} \right|_{x=x'} \quad (=)$$

$$\frac{1}{2} ax' \left. \frac{\partial \tau}{\partial t} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial \tau}{\partial x'} \right|_{x'=0} x' + \left. \frac{\partial \tau}{\partial t} \right|_{t=t_0} + bx' \left. \frac{\partial \tau}{\partial t} \right|_{x=x'} \quad (=)$$

$$0 = \frac{\partial \tau}{\partial x'} + (b + \frac{1}{2}a) \left. \frac{\partial \tau}{\partial t} \right|_{t=t_0}$$

Vi indsætter nu værdierne for a og b , og får

$$0 = \frac{\partial \tau}{\partial x'} + \frac{\partial \tau}{\partial t} \left(\frac{1}{c-v} - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{c-v} + \frac{1}{c+v} \right) \right) \quad (=)$$

$$0 = \frac{\partial \tau}{\partial x'} + \frac{v}{c^2 - v^2} \frac{\partial \tau}{\partial t}$$

Hvilket netop er den differentialligning for τ , som Einstein kommer frem til.

Differentialligningen for τ har altså formen:

$$\frac{\partial \tau}{\partial x'} + \frac{v}{c^2 - v^2} \frac{\partial \tau}{\partial t} = 0,$$

og denne differentialligning har løsningen

$$\tau = a \left(t - \frac{v}{c^2 - v^2} x' \right),$$

hvor a er en ukendt funktion (v) afhængig af hastigheden v , det antages at $\tau = 0$, når $t = 0$ for $\xi = 0$.

Ud fra denne ligning udleder Einstein formlerne for ξ , η og ζ afhængighed af x' , y , z og t . Han indsætter derefter værdien for x' og finder ved symmetribetragtninger at $\varphi(v) = 1$. Dermed har han udledt transformationsformlen:

$$\begin{aligned} \tau &= \beta (t - vx/c^2) \\ \xi &= \beta (x - vt) \\ \eta &= y \\ \zeta &= z \end{aligned}$$

hvor
$$\beta = \frac{1}{1 - v^2/c^2}$$

Sammenfatning af Einsteins metode:

Einstein udleder Lorentztransformationerne ud fra kun to grundlæggende antagelser om lyshastighedens konstans og relativitetsprincippet, ved

- 1) Et tankeeksperiment at udføre en analyse af samtidighedsbegrebet, hvilket fører frem til påvisning af længde- og tidsrelativiteten.
- 2) En matematisk analyse af sammenhængen mellem længde- og tidsmålinger i to systemer, hvor det ene er i jævn translatorisk bevægelse i forhold til det andet.

Udledning af transformationerne for \bar{E} - og \bar{B} -felterne.

Den teoriudvikling Einstein foretager om elektrodynamikken af bevægede legemer, bygger primært på to ting: Lorentztransformationen og relativitetsprincippet. Men herudover udledes i "Den elektrodynamiske Del" transformationsligningerne for \bar{E} - og \bar{B} -felter. Dette udgør tilsammen grundlaget for teoriudviklingen i resten af artiklen.

I det følgende gennemgår vi metoden i udledningen i udledningen af \bar{E} - og \bar{B} -feltstransformationerne. I øvrigt beskrives metoden i udviklingen af artiklen ikke nærmere, idet denne teori ikke er så fundamental som Lorentztransformationerne, men er at betragte som en konsekvens af disse.

I udledningen af transformationsligningerne for de elektriske og magnetiske felter tages udgangspunkt i Maxwell-Hertz-ligningerne for det tomme rum:

$$\text{rot } \bar{E} = - \frac{\partial \bar{B}}{\partial t} \quad \text{og} \quad \text{rot } \bar{B} = \frac{1}{c} \frac{\partial \bar{E}}{\partial t}$$

Einstein sætter $\bar{E}=(X,Y,Z)$ og $\bar{B}=(L,M,N)$ og udskriver ligningerne forformlen :

$$\begin{aligned} \frac{1}{c} \frac{\partial X}{\partial t} &= \frac{\partial N}{\partial Y} - \frac{\partial M}{\partial Z} & \frac{1}{c} \frac{\partial L}{\partial t} &= \frac{\partial Y}{\partial Z} - \frac{\partial Z}{\partial Y} \\ \frac{1}{c} \frac{\partial Y}{\partial t} &= \frac{\partial L}{\partial Z} - \frac{\partial N}{\partial X} & \frac{1}{c} \frac{\partial M}{\partial t} &= \frac{\partial Z}{\partial X} - \frac{\partial X}{\partial Z} \\ \frac{1}{c} \frac{\partial Z}{\partial t} &= \frac{\partial M}{\partial X} - \frac{\partial L}{\partial Y} & \frac{1}{c} \frac{\partial N}{\partial t} &= \frac{\partial X}{\partial Y} - \frac{\partial Y}{\partial X} \end{aligned}$$

Til disse ligninger anvendes transformationsformlen ved at betragte de elektromagnetiske processer i et koordinatsystem i jævn translatorisk bevægelse med hastigheden v .

Følgende er en nærmere redegørelse for disse beregninger: Einstein transformerer efter reglerne:

$$f(x,y,z,t) = f(x(\xi,\tau), \eta, \zeta, t(\xi,\tau))$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial \tau}, \quad \text{hvor} \quad \frac{\partial x}{\partial t} = \beta v \quad \text{og} \quad \frac{\partial t}{\partial \tau} = \beta$$

$$\frac{\partial}{\partial \tau} = \beta \frac{\partial}{\partial t} + \beta v \frac{\partial}{\partial x}$$

Det gælder omvendt at

$$\frac{\partial}{\partial t} = \beta \frac{\partial}{\partial \tau} - \beta v \frac{\partial}{\partial \xi}$$

Tilsvarende:

$$\frac{\partial}{\partial x} = \beta \frac{\partial}{\partial \xi} + \beta \left(\frac{-v}{c^2} \right) \frac{\partial}{\partial \tau}$$

Endvidere gælder:

$$\frac{\partial}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial \eta} \quad \text{og} \quad \frac{\partial}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial \theta}$$

Disse ligninger anvendes til transformation af de seks ovenstående Maxwell-ligninger, men vi vil nøjes med at gennemgå én (ligning 6):

$$\frac{1}{c} \frac{\partial N}{\partial t} = \frac{\partial X}{\partial y} - \frac{\partial Y}{\partial x} \quad \Leftrightarrow$$

$$\frac{1}{c} \frac{\partial N}{\partial t} = \frac{1}{c} \left(\beta \frac{\partial N}{\partial \tau} + \beta v \frac{\partial N}{\partial x} \right) \quad \Leftrightarrow$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{c} \frac{\partial N}{\partial t} &= \beta \frac{\partial X}{\partial \eta} - \beta \left(\beta \frac{\partial Y}{\partial \xi} + \beta \left(\frac{-v}{c^2} \right) \frac{\partial Y}{\partial \tau} \right) \\ &+ \frac{\beta v}{c} \left(\beta \frac{\partial N}{\partial \xi} + \beta \left(\frac{-v}{c^2} \right) \frac{\partial N}{\partial \tau} \right) \end{aligned} \right\} \quad \Leftrightarrow$$

$$\frac{\beta^2}{c} \frac{\partial}{\partial \tau} \left(N - \frac{v}{c} Y \right) = -\beta^2 \frac{\partial}{\partial \xi} \left(Y - \frac{v}{c} N \right) + \beta \frac{\partial X}{\partial \eta} \quad \Leftrightarrow$$

$$\frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial \tau} \left(\beta \left(N - \frac{v}{c} Y \right) \right) = -\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\beta \left(Y - \frac{v}{c} N \right) \right) + \frac{\partial X}{\partial \eta}$$



Det ligningssystem som Einstein kommer frem til for det bevægede system k , er:

$$\begin{aligned} \frac{1}{c} \frac{\partial X}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial \eta} (\beta(N - \frac{v}{c} Y)) - \frac{\partial}{\partial \xi} (\beta(M + \frac{v}{c} Z)) \\ \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} (\beta(Y - \frac{v}{c} N)) &= \frac{\partial L}{\partial \xi} - \frac{\partial}{\partial \xi} (\beta(N - \frac{v}{c} Y)) \\ \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} (\beta(Z + \frac{v}{c} M)) &= \frac{\partial}{\partial \xi} (\beta(M + \frac{v}{c} Z)) - \frac{\partial L}{\partial \eta} \\ \frac{1}{c} \frac{\partial L}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial \xi} (\beta(Y - \frac{v}{c} N)) - \frac{\partial}{\partial \eta} (\beta(Z + \frac{v}{c} M)) \\ \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} (\beta(M + \frac{v}{c} Z)) &= \frac{\partial}{\partial \xi} (\beta(Z + \frac{v}{c} M)) - \frac{\partial X}{\partial \xi} \\ \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} (\beta(N - \frac{v}{c} Y)) &= \frac{\partial X}{\partial \eta} - \frac{\partial}{\partial \xi} (\beta(Y - \frac{v}{c} N)) \end{aligned}$$

hvor $\beta = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$

Disse ligninger som jo er fremkommet ved brug af Lorentztransformationerne, sammenligner Einstein med den form som ligningerne har i det transformerede system. For at gøre det benytter han relativitetsprincippet, der jo siger, at de elektromagnetiske love har samme form i begge systemer. Hvis vi mærker benævnelserne af \bar{E} - og \bar{B} -felterne i det bevægede system, får Maxwell-Hertz-ligningerne formen:

$$\text{Rot } \bar{B}' = \frac{1}{c} \frac{\partial \bar{E}'}{\partial t} \quad \text{Rot } \bar{E}' = - \frac{\partial \bar{B}'}{\partial t}$$

eller udskrevet:

$$\begin{aligned} \frac{1}{c} \frac{\partial X'}{\partial t} &= \frac{\partial N'}{\partial \eta} - \frac{\partial M'}{\partial \xi} & \frac{1}{c} \frac{\partial L'}{\partial t} &= \frac{\partial Y'}{\partial \xi} - \frac{\partial Z'}{\partial \eta} \\ \frac{1}{c} \frac{\partial Y'}{\partial t} &= \frac{\partial L'}{\partial \xi} - \frac{\partial N'}{\partial \xi} & \frac{1}{c} \frac{\partial M'}{\partial t} &= \frac{\partial Z'}{\partial \xi} - \frac{\partial X'}{\partial \xi} \\ \frac{1}{c} \frac{\partial Z'}{\partial t} &= \frac{\partial M'}{\partial \xi} - \frac{\partial L'}{\partial \eta} & \frac{1}{c} \frac{\partial N'}{\partial t} &= \frac{\partial X'}{\partial \eta} - \frac{\partial Y'}{\partial \xi} \end{aligned}$$

De to ligningssystemer sammenlignes og derved fås:

$$x' = \psi(v) X$$

$$L' = \psi(v) L$$

$$Y' = \psi(v) \beta \left(Y - \frac{v}{c} N \right)$$

$$M' = \psi(v) \beta \left(M + \frac{v}{c} Z \right)$$

$$Z' = \psi(v) \beta \left(Z + \frac{v}{c} M \right)$$

$$N' = \psi(v) \beta \left(N - \frac{v}{c} Y \right)$$

Af symmetribetragtninger finder Einstein $\psi(v) = 1$ og følgelig får ligningerne formen:

$$x' = x$$

$$L' = L$$

$$Y' = \beta \left(Y - \frac{v}{c} N \right)$$

$$M' = \beta \left(M + \frac{v}{c} Z \right)$$

$$Z' = \beta \left(Z + \frac{v}{c} M \right)$$

$$N' = \beta \left(N - \frac{v}{c} Y \right)$$

hvilket er transformationsligningerne for \bar{E} - og \bar{B} -felterne i det ladningsfrie rum.

Resultater og fysiske fortolkninger.

"Den elektrodynamiske Del" af artiklen præges i høj grad af de mange resultater som Einstein opnår ved at sammenligne beskrivelser af kendte fysiske love udfra hhv. Lorentztransformationen og relativitetsprincippet. Vi har vist Einsteins udledning af transformationsformlerne for \bar{E} - og \bar{B} -felterne, og disse fortolker Einstein således:

"Elektromotive force plays in the developed theory merely the part of an auxiliary concept, which owes its introduction to the circumstance that electric and magnetic forces do not exist indedently of the state of motion of the system of coordinates."

Dvs. at Lorentzkraften $\bar{F} = q(\bar{E} + \vec{v} \times \bar{B})$ bliver en udledt sætning for det forhold, at elektriske og magnetiske felter er relative i

den forstand, at deres størrelser afhænger af, hvilket koordinatsystem de betragtes fra. Således vil en punktførmig elektrisk enhedsladning, der bevæger sig i et elektromagnetisk felt "opleve" en kraft, som er lig med størrelsen af det elektriske felt i punktet, målt fra ladningens enhedssystem. Denne fysiske fortolkning er netop løsningen på problemet med induktionsforsøgene, som Einstein starter sin artikel med.

På samme måde som vi nu har vist for udledningen af transformationsformlerne for \vec{E} - og \vec{B} -felterne i det ladningsfrie rum, udleder Einstein en lang række transformationsregler for elektriske og optiske fænomener. Denne metodes effektivitet afspejles i at Einstein meget overbevisende og let overskueligt får udledt ligninger for bla. Dopplereffekten, aberation, intensitetsforskydning, transformation af lysenergi, og beregning af stråletryk for lysstråler, der opfanges af en observatør, der i stor afstand bevæges jævnt translatorisk i forhold til lysudsenderen.

I artiklen finder Einstein også transformationsligningerne for de generelle Maxwell-ligninger, der også gælder for rum med konvektionsstrømme. Han viser, at de er forminvariante under Lorentztransformationerne, og konkluderer dermed at, Lorentz's teori for elektrodynamik af bevægede legemer er i overensstemmelse med relativitetsprincippet. Samtidigt viser han, at princippet om ladningsbevarelse også springer ud af transformationerne.

Endelig skal det understreges, at hele artiklen præges af Einsteins gennemførte fysiske fortolkninger af det han laver. Det gælder ligefra de fundamentale antagelser og definitioner (f.eks. begrebet tid) til sammenligning af delresultater (som f.eks. at han spekulerer over at energi og frekvens transformeres ens), og til de fysiske fortolkninger af de "egentlige" resultater, hvorpå hans forklaring af induktionsforsøgene er et eksempel.

2.3. Sammenligning.

Vi vil nu med baggrund i de to foregående afsnit sammenligne de to behandlede originalartikler. Lorentz og Einstein kommer rent matematisk frem til de samme transformationsligninger, men derudover er der svært at finde ligheder mellem de to artikler: de er vidt forskellige med hensyn til både formål, opbygning og metode. Lorentz' formål er udfra fundamentale antagelser at vise, at mange elektromagnetiske fænomener er uafhængige af systemets bevægelse, hvorimod Einsteins mere overordnede formål er at udvikle en konsistent teori for elektrodynamikken i bevægede systemer.

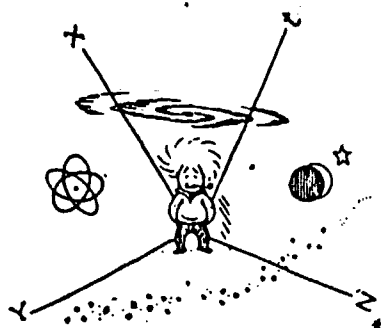
Begge tager i deres teoriopbygning udgangspunkt i problemer med at kunne forklare forskellige konkrete eksperimentielle resultater. Lorentz undrer sig over nul-resultaterne i forsøgene på, at påvise den effekt, som jordens relative bevægelse i forhold til ætheren i følge den klassiske teori har på elektrodynamiske fænomener. Dvs. hvorfor de eksperimentielle kendsgerninger modsiger de teoretiske hypoteser. Einstein tager udgangspunkt i induktionsforsøgene, og ser et problem i de asymmetriske forklaringer på det samme fysiske fænomen. Dvs. hvorfor teorien ikke er i stand til at forklare to i princippet ens fysiske fænomener på samme måde. Lorentz og Einstein accepterer begge elektrodynamikken med Maxwell-ligningerne som en fundamental gældende teoriopbygning. Forskellen i grundlaget for dem ligger i deres syn på den klassiske mekanik. Einstein søger at løse sit problem om teoriernes utilstrækkelighed ved at revidere en del af den klassiske mekanik, mens Lorentz holder fast i denne som ligeså fundamental som elektrodynamikken. Hvor Einstein i udledningen af transformationsligningerne tager afstand fra en del af den klassiske mekaniske begrebsramme ved at forkaste ideen om ætheren og det absolutte rum, fastholder Lorentz netop eksistensen af disse begreber. Einstein mente altså, at for at lave en konsistent teori for elektromagnetiske fænomener i bevægede systemer var det nødvendigt at forkaste æterteorien og Galleitransformationerne. Lorentz fastholder derimod den klassiske mekanik, og ser i stedet problemet i oversættelsen af denne begrebsramme til elektrodynamikken.

En anden vigtig forskel på de to artikler ligger i selve den metode, hvorved Lorentz og Einstein kommer frem til transformationsligningerne. Lorentz metode er uden nærmere forklaringer at definere transformationsligningerne og det, vi kalder "det matematiske system". Ved derefter løbende at indføre en række antagelser sandsynliggør Lorentz, at det matematiske system kan betragtes som et udtryk for det virkelige fysiske system i hvile i forhold til ætheren. Einstein udleder transformationsligningerne ud fra to grundlæggende antagelser og en analyse af samtidighedsbegrebet, hvor han tager de gamle klassiske kinematiske begreber som tid og rum op til overvejelse, og han laver nærmest en redefinition af disse begreber. Einstein udleder sin teori ud fra nogle få antagelser, der præsenteres fra starten af artiklen, og hans metode virker derfor mere enkel og overbevisende end Lorentz, som kræver løbende indførelse af en række antagelser. Der er simpelthen en kvalitativ forskel i den måde, de opstiller og anvender deres antagelser. Einstein begrænser antallet af antagelser til mindst mulige, og stræber mod at gøre dem så generelle som muligt. Lorentz indfører relativt mange antagelser, hvoraf nogle har temlig specifik karakter.

Der er også stor forskel i den fysiske fortolkning Lorentz og Einstein tillægger deres teorier. For Lorentz er det matematiske system fiktivt i den forstand, at det ikke er muligt at lave fysiske målinger i det matematiske system. Længde- og tidskontraktionerne er for Lorentz en konsekvens af selve bevægelsen gennem ætheren, hvor også måleinstrumenterne bliver forvrænget. For Einstein er længde- og tidskontraktionerne derimod en kinematisk effekt, der er mulig at måle. Einstein betragter de to systemer, der bevæger sig med en jævn translatorisk hastighed i forhold til hinanden, som to virkelige fysiske systemer, hvor det er muligt at lave målinger i dem begge. Groft sagt er den vigtigste forskel mellem Lorentz og Einsteins teorier, at Einstein laver en fysisk fortolkning af transformationsligningerne, hvorimod de for Lorentz blot er matematiske definitioner.

Alt i alt er vores vurdering af de to teorier, at "Relativitetsteorien" virker mere konsistent og fundamental end "Teorien om de korresponderende tilstande", på trods af at de rent faktisk

har samme forklaringskraft, da transformationsligningerne jo er de samme i dem begge.



EINSTEIN

I anledning af 70-aarsdagen.

»En sten fra mit hjærte.«
Peder Laale.

Han samlede for evigt tid og rum
og gjorde verden endelig og krum.
Han slog den bro fra stof til energi,
ad hvilken stoffets urkraft gjordes fri.

Samtidighedens relativitet
bevist pr. himmeltegn af dens profet!
Dens løste gaader er endnu genstridige
for deres løsers — relativt — samtidige.

3.

VIDENSKABSHISTORISK BEHANDLING

AF UDVIKLINGEN AF

DEN SPECIELLE RELATIVITETSTEORI

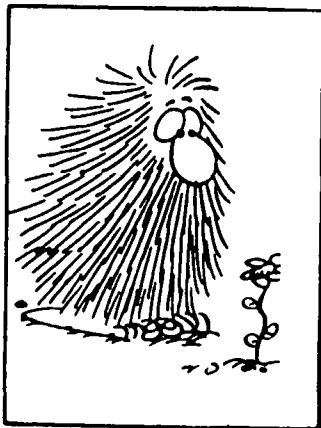
3. VIDENSKABSHISTORISK BEHANDLING AF UDVIKLINGEN AF DEN SPECIELLE RELATIVITETSTEORI.

I dette afsnit vil vi redegøre for, hvordan forskellige videnskabshistorikere har beskrevet udviklingen af den specielle relativitetsteori. Formålet er at vise og vurdere det "billede" videnskabshistorikerne giver af denne udvikling. Vores mål er ikke at lave en ny fremstilling, men at sammenholde nogle enkelte centrale beskrivelser.

Blandt videnskabshistorikere eksisterer der groft sagt to forskellige måder at opfatte udviklingen af den specielle relativitetsteori. Ifølge den ene opfattelse hævdes det, at Einsteins specielle relativitetsteori blot er en videre udvikling af Lorentz'/Poincares transformationsteori, og der er således ikke tale om noget afgørende brud mellem de to teorier. Ifølge den anden er der derimod tale om et afgørende brud mellem de to teorier.

Edmund Whittaker står som fortalsmand for den første opfattelse, og hans fremstilling har haft stor betydning, da den i lang tid har været betragtet som en af de mest lødige historiske beskrivelser af denne udvikling. Den anden opfattelse, hvor Gerald Holton og Tetu Hirosige er to af de mest anerkendte repræsentanter, kan derfor ses som en reaktion på Whittakers fremstilling, men samtidig også som en tilbagevisning af den positivistiske fremstilling vi omtalte i indledningen.

Vi har opbygget afsnittet således, at vi først ganske kort gennemgår Whittakers fremstilling, som skal ses som en kontrast til Holtons og Hirosiges. Derefter giver vi en mere uddybende beskrivelse af Holtons og Hirosiges argumenter, hvor vi skelner mellem deres beskrivelse af hhv. Lorentz' og Einsteins udgangspunkt.



3.1. WHITTAKERS HISTORISKE ANALYSE.

Whittaker har efter en anset karriere som teoretisk fysiker skrevet værket "A History of the Aether and Electricity", som er en meget grundig og veldokumenteret historisk fremstilling af ellærens udvikling frem til 1920'erne. I dette værk behandler han udviklingen af den specielle relativitetsteori. Det interessante ved denne behandling er Whittakers fuldstændige underkendelse af Einsteins betydnig. Han mener, at det var Lorentz og Poincare der først udviklede den specielle relativitetsteori, og at Einstein blot byggede videre på deres teori.

"In the autumn of 1905, in the same volume of the Annalen der Physik as his paper on the Brownian motion, Einstein published a paper which set forth the relativity theory of Poincare and Lorentz with some amplifications, and which attracted much attention." (28)

Whittaker skriver, at et af de største problemer man havde indenfor fysikken i slutningen af 1800 tallet var bestemmelsen af jordens relative hastighed i forhold til ætheren. Dette problem har ifølge Whittaker en nøje sammenhang med begreberne absolut og relativ bevægelse, som er en del af det begrebslige grundlag for den klassiske mekanik.

De utallige mislykkedes forsøg, der blev lavet i slutningen af 1800 tallet på at bestemme jordens relative hastighed i forhold til ætheren medførte, at Poincare lige inden århundredeskiftet fik den tanke "that absolute motion is undetectable in principle, whether by dynamical, optical or electrical means" (28). Dette konkluderer Whittaker udfra Poincares "Lectures at the Sorbonne" fra 1899, hvor Poincare skriver:

"I regard it as very probable that optical phenomena depend only on the relative motions of the material bodies, luminous sources, and optical apparatus concerned, and that this is true not merely as far as quantities of the order of square of the aberration, but rigorously." (28)

I den videre argumentation henviser Whittaker til to taler Poincare afholdte i hhv. år 1900 ved en international kongres i fysik i Paris og år 1904 ved "Congress of Arts and Science at St. Louis, USA. Whittaker citerer fra Poincares tale fra

1900

"Our aether, does it really exist ? I do not believe that more precise observation could ever reveal anything more than relative displacements."

Poincare mente, at det var nødvendigt med et generelt fysisk princip til beskrivelse af fraværet af første, anden og måske endnu højere ordens effekt af jordens relative bevægelse i forhold til ætheren. I sin tale kaldte Poincare dette princip for relativitetsprincippet. Whittaker citerer Poincare:

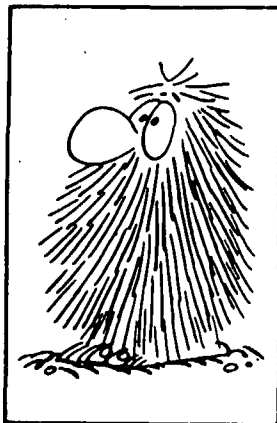
"According to the Principle of Relativity, the laws of physical phenomena must be the same for a "fixed" observer as for an observer, who has uniform motion of translation relative to him, so that we have not, and cannot possibly have any means of discerning whether we are, or are not, carried along in such a motion." (28)

Og lidt senere

"From all these results there must arise an entirely new kind of dynamics, which will be characterised above all by the rule, that no velocity can exceed the velocity of light." (28)

Whittakers fremstilling er et eksempel på en historieskrivning, der udelukkende beskriver den videnskabelige udviklingsproces som en udvikling af de formelle lovmæssigheder. Indholdet af de fysiske teorier er alene bestemt af de matematiske formulerede lovmæssigheder, og de videnskabelige resultater bedømmes således kun udfra det formelle indhold.

Whittaker har udfra dette synspunkt ret i, at det var Lorentz, der først udviklede den specielle relativitetsteori med Lorentztransformationerne, og at Einstein ikke bidrog med nævneværdige nye videnskabelige resultater i artiklen fra 1905.



3.2. PRESENTATION AF HOLTON OG HIROSIGE.

Som tidligere nævnt tilbageviser Holton i sin senere grundige historiske analyse Whittakers fremstilling. Vi vil ikke komme nærmere ind på Holtons tilbagevisning, men blot nævne en af hans konklusioner:

"but whereas Lorentz had assumed these equations (transformationsligningerne) a priori in order to obtain the covariance of Maxwell equations in free space, Einstein derived them from the two fundamental postulates of the RT." (7)

Dette er i overensstemmelse med vore egne konklusioner fra analysen af Lorentz og Einsteins artikler, og vi deler helt det synspunkt, at der er en væsensforskel mellem Lorentz' og Einsteins teorier.

I det følgende vil vi uddybe Holtons og Hirosiges beskrivelser. Vi vil stort set holde os til deres fremstillinger, og kun komme ind på andre, hvis de kan supplere væsentlig.

Holton og Hirosige har begge med baggrund i en fysisk uddannelse beskrevet udviklingen af den specielle relativitetsteori.

Holton gennemfører en historisk dokumentation ved anvendelse af originalartikler, breve, lærebøger etc. Hans formål er dels at tilbagevise den almindelige opfattelse af en direkte sammenhæng mellem MM-eksperimentet og Einsteins specielle relativitetsteori, og dels at påvise en videnskabsteoretisk påvirkning fra Ernst Mach som en af de væsentligste inspirationskilder.

Hirosiges formål er udfra en fysisk analyse af de problemer, der har optaget hhv. Einstein og Lorentz, at vise, at de har haft et forskelligt udgangspunkt i udviklingen af deres teorier.

3.2.1. Lorentz' udgangspunkt.

Lorentz opbygger sin transformationsteori udfra sin tidligere udviklet elektronteori. Denne har en nøje sammenhæng med ætherproblemet, da den bygger på hypotesen om den stationære æther. Hirosige fremhæver derfor nødvendigheden af at forstå ætherproblemet's karakter i det forrige århundrede, for at forstå forskellen mellem Lorentz' og Einsteins udgangspunkt.

Vi vil i det følgende først beskrive ætherproblemet's karakter i det forrige århundrede. Derefter vil vi beskrive Lorentz' udvikling af elektronteorien og hans videre arbejde med at beskrive elektromagnetiske fænomener i bevægede systemer.

Ætherproblemet's karakter.

Fysikere har forestillet sig ætheren som et medium, der var overalt i rummet, lige siden Descartes introducerede den i starten af 1600 tallet. Dens vigtigste funktion var at fungere som et transmitterende medium for kraftpåvirkninger, således at man undgik antagelsen "action at a distance", hvor to legemer uden nogen forbindelse påvirker hinanden.

Ætheren fik i starten af 1800 tallet, hvor et af de store problemer var at forklare lysets natur, stor betydning indenfor fysikken. I starten af 1800 tallet eksisterede der to teorier for lysets natur, nemlig partikelteorien (Newton), hvor lys forstås som en strøm af partikler og bølgeteorien (Huygens), hvor lys forstås som en bølgeudbredelse. Ifølge den klassiske forståelse af bølger, udbreder bølger sig igennem et medium, og ergo måtte lysbølgerne også udbrede sig igennem et medium, nemlig den såkaldte æther. Med baggrund i en række vellykkede interferens forsøg med lys blev bølgeteorien i midten af 1800 tallet efterhånden accepteret af de fleste fysikere.

Imidlertid opstod der med bølgeteorien mange problemer med forståelsen af ætherens natur. I starten var problemet overhovedet af forstå ætherens stofflige natur og mekaniske egenskaber, som efterhånden blev mere og mere mystiske og selvmodsigende. Der fremkom flere forskellige teorier for ætheren,

men mod slutningen af 1800 tallet var den almindelige opfattelse, at ætheren var et medium helt forskelligt fra alt andet normalt forekommende stof.

I slutningen af 1800 tallet begyndte ætherproblemet at skifte karakter, idet det centrale blev at bestemme om, ætheren frit kunne gennemtrænge alt fast stof, således at den var upåvirket af materielle legemers bevægelse igennem den. Der eksisterede på dette tidspunkt to konkurrerende teorier, hvor den ene, Fresnels teori gik ud på at ætheren var upåvirket, og den anden, Stokes teori, at den var påvirket af materielle legemers bevægelse igennem den. Ifølge Stokes teori blev en del af ætheren revet med af de materielle legemers bevægelse, således at ætheren lige omkring disse lå stille. Hvorimod ætheren ifølge Fresnels teori var stationær i forhold til rummet, og dermed vil de materielle legemer i bevægelse have en relativ hastighed i forhold til ætheren.

Det var et stort problem at afgøre, hvilken af de to teorier, der var den rigtige. Fresnels teori var den teori, som bedst forklarede aberrationsforsøgene (måling af vinkelforskydningen af stjerners lys), men den var ikke i stand til at forklare, hvorfor det ikke var muligt at måle nogen effekt af jordens bevægelse gennem ætheren i optiske og elektromagnetiske fænomener. Fresnels teori blev dog i det væsentligste accepteret som den teori, der førte til mindst modsigelser.

Hirosige fastslår to ting i forbindelse med ætherproblemet karakter. For det første, at eksistensen af ætheren var en realitet, og for det andet, at ætherproblemet ikke på noget tidspunkt havde noget at gøre med bestemmelsen af et absolut referencesystem, som det bl.a. er fremhævet af Whittaker. I forlængelse heraf påpeger Hirosige, at det centrale i de forsøg, heriblandt MM-eksperimentet, der havde til formål at bestemme jordens hastighed i forhold til ætheren, ikke var påvisning af ætheren eller et absolut referencesystem, men til gengæld påvisning af ætherens frie gennemtrængelighed i faste legemer. Forsøgenes negative resultat bevirkede derfor hverken, at eksistensen af ætheren eller et absolut referencesystem kom i tvivl. Problemet blev at forklare forsøgenes resultat udfra de eksisterende ætherteorier.

Lorentz' transformationsteori.

Fra 1880'erne var Lorentz beskæftiget med ætherproblemet i forbindelse med elektrodynamikken. Tidligere havde ætherproblemet kun været tilknyttet optiske fænomener, men med Maxwells forening af lysbølger og elektromagnetiske bølger forandrede ætherproblemet status, idet det også fik betydning for forståelsen af elektromagnetiske fænomener.

I en artikel "On the Influence of the Motion of the Earth on Luniferous Phenomena" fra 1886 skriver Lorentz, at det centrale i ætherproblemet var at bestemme sammenhængen mellem ætheren og materielle legemer, Denne sammenhæng kunne kun bestemmes eksperimentielt. Han var på dette tidspunkt meget forsigtig med at drage konklusioner om ætherens bevægelse, men Hirosige mener dog, at der kun er ringe tvivl om, at Lorentz allerede da var tilhænger af hypotesen om den stationære æther.

I "La Theorie Elektronagnetique de Maxwell et son Application aux Corps Mouvants" fra 1892 lægger Lorentz fundamentet for sin elektronteori. Lorentz elektronteori udgør det vi i dag kalder elektrodynamikken. Grunden til, at han døbte den "elektronteorien" var, at man dengang opfattede alle elektromagnetiske fænomener som en vekselvirkning mellem separate elektriske ladninger, som man kaldte elektroner.

Lorentz væsentligste merit med elektronteorien består ifølge Schaffner og Hirosige i, at han med en modifikation af Maxwells teori opnåede en teoretisk distinktion mellem processer i ætheren og stof.

Maxwelle ligninger beskriver udbredelsen af de elektromagnetiske felter i den ladningsfrie æther.

$$\text{Div}\bar{D} = 0$$

$$\text{Div}\bar{H} = 0$$

$$\text{Rot}\bar{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \bar{D}}{\partial t}$$

$$\text{Rot}\bar{D} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \bar{H}}{\partial t}$$

Ved at tilføje nogle ekstra hypoteser og lave en model, hvor de materielle partikler er opbygget af ladede partikler (elektroner

troner) blev Lorentz i stand til at modificere Maxwells ligninger således, at de beskriver vekslevirkningen mellem de frie felter i ætheren og de materielle partikler.

Lorentz blev ifølge Schaffner nødt til at tilføje de fire følgende hypoteser:

1. There are very small charged particles, known at first as "ions" and later (beginning about 1900) as electrons. These particles are the origin of the dielectric displacement and in their interior equation (1) becomes modified to $\text{div} \bar{D} = \rho$, where ρ is a measure of the charge density. It is only with these particles that the electromagnetic ether has any causal connection.
2. The motion of these particles constituted a current of magnitude ρv , where v is the "absolute" velocity (in the ether) of the moving electrons.
3. The ether permeates and can move freely through all matter (including electrons).
4. Lorentz provided an equation relating the mechanical force per unit charge the electrons experience as a result of the electrical and magnetic forces affecting them, $\bar{F} = \bar{d} + \frac{1}{c}(\bar{v} \times \bar{H})$ (27)

Lorentz opfattede altså ætheren som elektromagnetisk uden mekanisk forbindelse med stof. Han undgik hermed at forklare ætherens mekaniske egenskaber. Forbindelsen mellem ætheren og stof optræder kun gennem de kugleformede ladede partikler, også kaldet elektroner, der er indeholdt i alle stofmolekyler. Ætheren gennemtrænger frit alt stof, og den forandres ikke, når stof bevæger sig igennem den. Lorentz laver således sin elektronteori udfra hypotesen om den stationære æther, og hans problem bliver hermed at forklare, hvorfor det ikke er muligt at måle nogen effekt af jordens bevægelse gennem ætheren i optiske og elektromagnetiske fænomener.



Den matematiske basis for Lorentz' elektronteori består af 5 ligninger, hvor de fire første er modifikationen af Maxwells ligninger:

$$\text{Div}\bar{D} = \rho$$

$$\text{Div}\bar{H} = 0$$

$$\text{Rot}\bar{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \bar{D}}{\partial t} + \rho \bar{v}$$

$$\text{Rot}\bar{D} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \bar{H}}{\partial t}$$

$$\bar{F} = \bar{D} + \frac{1}{c}(\bar{v} \times \bar{H})$$

Med disse ligninger blev Lorentz i stand til at forklare en række elektromagnetiske forsøgsresultater, som metallers ledningsevne, Zeeman effekten mm.. Elektronteorien fik pga. den store forklaringskraft en uhyre central placering indenfor fysikken. I det følgende vil vi kun beskæftige os med elektronteorien i forbindelse med Lorentz' videre arbejde med beskrivelsen af elektromagnetiske fænomener i bevægede systemer. Lorentz udviklede denne teori i årene fra 1892 til 1904.

I 1892 antog Lorentz, at de fem grundligninger var gyldige i hvilesystemet (æthersystemet). Han transformerede disse ligninger ved en Galilei-transformation til at gælde i et system, der bevæger sig med en jævn translatorisk hastighed i forhold til det første. Der fremkom herved nogle ligninger, der var langt mere komplicerede end de oprindelige, og som afhang af den relative hastighed mellem de to systemer. Problemet med disse ligninger var at forklare udeblivelsen af den forventede effekt af jordens bevægelse gennem ætheren. Udeblivelsen af 1. ordens effekten (v/c) var tidligere blevet forklaret, så problemet var at forklare udeblivelsen af 2. ordens effekten. Lorentz opstillede i 1892 hypotesen om "længdekontraktionen", som siger, at et materielt legeme ændrer dimensionen i bevægelsesretningen med $\sqrt{1 - v^2/c^2}$. Med denne hypotese var det muligt at forklare det negative resultat af MM-eksperimentet. Ifølge Hirose (og andre) var Lorentz selv utilfreds med hypotesen, men han prøvede retfærdiggøre den som en konsekvens af de molekylære kræfters deformation gennem ætheren.

I artiklen "An Essay on the Theory of Electrical and Optical Phenomena in Moving Bodies" fra 1895 foresimplede Lorentz sin

teori fra 1892. Formålet var udfra elektronteorien at redegøre for alle kendte kendsgerninger. Ved at indføre nogle nye transformationsligninger under hvilke de fundamentale ligninger forbliver invariante mht. 1. orden, fik Lorentz inkorporeret den kendsgerning, at det var umuligt at måle nogen 1. ordens effekt af jordens bevægelse i optiske og elektromagnetiske fænomener. Lorentz mente ifølge Goldberg stadig i 1895, at det skulle være muligt ved mere præcise eksperimenter at måle 2. ordens effekten. Han forklarede igen det negative resultat af MM-eksperimentet vha. hypotesen om længdekontraktionen.

I 1899 forfinede Lorentz endnu engang sin teori ved at indføre Lorentztransformationerne. Ifølge Hirosige løste Lorentz dog først ætherproblemet tilfredsstillende i 1904, hvor han med udgangspunkt i de fundamentale ligninger viste, at mange elektromagnetiske fænomener er uafhængige af jordens bevægelse. Hypotesen om den stationære æther kunne hermed accepteres uden, at den førte til modstrid med de eksperimentielle kendsgerninger.

Opsamling.

Som det fremgår af det foregående, udviklede Lorentz sin transformationsteori med baggrund i ætherproblemet. Han troede på eksistensen af det privilegerede æthersystem, og han forklarede sine tid- og rumtransformationer som en effekt af selve bevægelsen gennem ætheren.

Han bibeholdte den klassiske mekaniske begrebsramme med æthersystemet og absolut hvile som noget overordnet. Indenfor denne begrebsramme troede Lorentz ifølge Hirosige og McCormach på en forening af fysikkens fundament gennem elektrodynamikkens kontinuerte feltbeskrivelse. Lorentz løsrev sig således fra det mekaniske verdenssyn, hvor mekanikkens diskrete partikelbeskrivelse bruges som model til beskrivelse af alle fysiske fænomener.

Han fratog ætheren alle mekaniske egenskaber undtagen hvile, og ætherens tilstand var fuldstændig bestemt ved egenskaber-

ne ved det elektromagnetiske felt.

"Lorentz greatest contribution to the development of electromagnetic theory is that he took the electromagnetic fields, which Maxwell, Hertz and others had considered a state of the dielectric, as an independent physical reality; he considered it to be the state of the ether, Lorentz ether is a nonmechanical entity in the sense that its physical state is entirely determined by electromagnetic excitation."

Lorentz undgik således problemerne med at forklare ætherens mekaniske egenskaber, hvilket indtil da havde været et stort problem.



Ligningssystemet på
side 107 er kendt under
mit navn.

H. A. Lorentz 1852-1928

Hollandsk teoretisk fysiker,
opdagede
Lorentz transformationen, han var
en af fysikkens 93 eminencer
og Einsteins ven.

3.2.2. Einsteins udgangspunkt.

I dette afsnit vil vi beskrive Einsteins baggrund for udviklingen af den specielle relativitetsteori.

Vi tager udgangspunkt i Holtons, Hirosiges og McCormachs historiske beskrivelser. Disse gør alle i mere eller mindre grad op med den opfattelse, at Einstein skulle have udviklet den specielle relativitetsteori på baggrund af MM-eksperimentet.

Vi vil opbygge afsnittet således, at vi først gennemgår Holtons og Hirosiges fremstillinger af Einsteins udgangspunkt, og derefter gennemgår McCormachs beskrivelse for til sidst at sammenholde de tre beskrivelser.

Holtons og Hirosiges behandlinger

Et af Holtons formål har været at tilbagevise MM-eksperimentets direkte indflydelse på Einstein i udviklingen af den specielle relativitetsteori. Dette gør Holton udfra en grundig historisk analyse af originalartikler, breve, lærebøger etc. Denne analyse er meget anerkendt, og mange videnskabshistorikere henviser til og bygger videre på Holtons arbejde.

Holton skriver i sin analyse af Einsteins artikel fra 1905, at formålet med artiklen var at:

"provide an electrodynamics of moving bodies, based on the laws previously formulated in Maxwells electrodynamics for bodies at rest." (11)

Han påpeger, at Einsteins hovedargument, som han beskriver i starten af indledningen i artiklen, ikke har været uoverensstemmelse mellem teori og praksis, men asymmetrier indenfor selve teorien. Han påpeger videre, at Einstein i indledningen ikke refererer direkte til MM-eksperimentet eller nogen af de andre eksperimenter, der har haft til formål at måle effekten af jordens bevægelse i forhold til ætheren på optiske og elektromagnetiske fænomener. Idet hele taget henviser Einstein ved navns nævnelse kun til et par få gammelkendte eksperimenter. Det er et meget generelt træk i Einsteins arbejde, at han ikke henviser til nye eksperimentielle kendsgerninger. Det samme forhold gør sig gældende i Einsteins to andre artikler fra

1905. Idet hele taget er de tre artikler meget ensartet i opbygning:

"Each begins with the statement of formal asymmetries or other incongruities of a predominantly aesthetic nature..., then proposes a principle - preferably one of the generality of say, the Second Law of Thermodynamics, to cite Einsteins repeated analogi - which removes the asymmetries as one of the deduced consequences, and at the end produces one or more experimentally verifiable predictions." (7)

Holton mener, at den ensartet opbygning af de tre artikler viser Einsteins vurdering af forholdet mellem teori og praksis. Einstein har i alle tre artikler været interesseret i at løse asymmetrier indenfor selve de fysiske teorier, og har derfor ikke været optaget af at forklare enkeltstående eksperimenter, som bl.a. MM-eksperimentet. Idet hele taget har den eksperimentielle praksis ikke haft særlig betydning for Einstein i teoriudviklingen i de tre artikler. Dette er ifølge Holton i overensstemmelse med Einstein senere erklærede synspunkt, at der er ingen logisk vej fra erfaringen til dannelsen af en ny teori.

"A theory can be tested by experience, but there is no way from experience to setting up of a theory." (11)

MM-eksperimentet eller nogle af de andre "ætherforsøg" har således ikke haft den store indflydelse på Einstein i udviklingen af den specielle relativitetsteori.

"Indeed the role of the Michelson experiment in the genesis of Einsteins theory appears to have been so small and indirect that one may speculate that it would have made no difference to Einsteins work if the experiment had never been made at all." (11)

Hirosige er enig med Holton i, at MM-eksperimentet ikke har haft den store betydning for Einstein. Dette mener Hirosige bundet i, at Einstein ikke har været optaget af at løse ætherproblemet, og dette er netop et af hovedpunkterne, hvorpå Einstein adskiller sig fra Lorentz, Poincare og mange andre af datidens fysiker.

"In contrast to Einstein, Lorentz, Poincare and most other contemporary physicists saw the Michelson-Morley experiment as one of the most urgent problems requiring their theoretical efforts. This difference of attitude toward the experiment between Einstein and the others stems from the difference between the problems which then preoccupied them. The problem that Einstein viewed as fundamental for physics at that time was different from the central issue of the ether problem which had been discussed by Lorentz, Poincare and other contemporary physicists." (6)

Hirosige mener ligesom Holton, at Einstein var interesseret i af løse formelle uoverensstemmelser mellem de fysiske teorier, og at formålet med den specielle relativitetsteori netop var at løse formelle uoverensstemmelser mellem mekanikken og elektrodynamikken.

"He felt the necessity of rebuilding physics on some formal principle. He was especially concerned about formal incongruities between physical theories. The theory of relativity was a fruit of his efforts to eliminate such incongruities." (6)

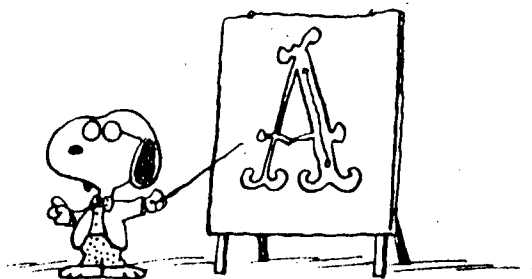
Einstein har ifølge Hirosige helt fra 1890'erne været beskæftiget med beskrivelsen af elektromagnetiske fænomener i bevægede systemer.

Einstein indså, at Plancks strålingslov er i modstrid med Maxwells teori, hvor lys beskrives ved kontinuerte bølgefunktioner, og dette fik ham til at se problemet i et bredere perspektiv. Han erkender, at der lå nogle formelle uoverensstemmelser mellem mekanikken og elektrodynamikken, og at det var nødvendigt med en rekonstruktion af det fysiske grundlag for at fjerne de formelle uoverensstemmelser. Han mente, at problemet kun kunne løses ved opdagelsen af nye universelle principper. Ifølge Hirosige er Einsteins relativitetsprincip et led i hans bestræbelser på at forene det fysiske fundament mellem elektrodynamikken og mekanikken. Ligeledes var Einsteins lyskvantehypotese led i disse bestræbelser

"His other great achievement of 1905, the theory of light quanta, was also intended to remove a fundamental formal difference between mechanics and electromagnetism, namely, the difference of having discrete fundamental entity, the mass point, in mechanics and a continuous one, the field, in electromagnetism." (6)

Et andet af Holtons formål er at vise, hvad der så har inspireret Einstein, når det ikke var nogen af de nye eksperimentielle kendsgerninger med MM-eksperimentet i spidsen.

I følge Holton foregik en stor del af Einsteins uddannelse ved hjemmestudium. Her fik han kendskab til Maxwells elektromagnetiske teori gennem læsning af værker af Gustav Robert Kirchoff, Hermann Helmholtz, Heinrich Hertz og en ifølge Holton næsten forglemt lærer August Föppl.



Einstein fik ved læsning af Föppl kendskab til Maxwells teori på en anderledes måde, end den der på daværende tidspunkt blev formidlet på universitetet. Föppl var ikke i stand til at opgive ideen om ætheren, men han var opmærksom på, hvor de fundamentale problemer lå i den mekaniske fortolkning af elektrodynamikken, og han påpegede, at det var nødvendigt med en dybtgående revision af begrebet "rum" for at løse disse problemer. I sin beskrivelse af disse problemer brugte han bl.a. det eksempel, som Einstein senere indleder sin artikel med.

En anden vigtig inspirationskilde var fysikeren og filosofen Ernst Mach, som Einstein fik kendskab til ved læsning af bl.a. Hertz.

Mach var en af de mest fremtrædende repræsentanter for den positivistiske skole i slutningen af det forrige århundrede. Hans videnskabssyn udspringer af empirismen, der som grundlæggende princip har at al erkendelse kommer fra erfaringen. Mach mente, at videnskabens opgave var at studere regulariteterne i erfaringerne for at organisere den så økonomisk som muligt, og det var meningsløst at prøve at gå bagom erfaringen og søge at erkende ting, som ligger udenfor vore sanser. Hans problem var at finde frem til nogle universielle principper, der kunne

bruges indenfor alle videnskaber.

Holton skriver, at Machs videnskabssyn var meget udbredt i specielt de tysktalende lande omkring århundrede-skiftet. Holton karakteriserer tiden op til århundrede-skiftet som

"a time of turmoil in the physical sciences as well as in the philosophy of sciences." (10)

Det mekaniske verdenssyn med troen på foreningen af det fysiske fundament gennem det mekaniske grundlag, var med elektrodynamikken og termodynamikken efterhånden blevet forkastet. Til erstatning for det mekaniske verdenssyn opstod der to fremherskende programmer, nemlig det elektromagnetiske og det energetiske program. Kort sagt gik det elektromagnetiske program ud på en forening af det fysiske fundament gennem elektrodynamikken med den kontinuerte feltbeskrivelse. Lorentz var her med elektronteorien en af stjernefigurerne. Det energetiske program, hvor Ernst Mach og Wilhelm Ostwald var to af hoved fortalere, tog derimod udgangspunkt i termodynamikken, hvor det ikke nødvendigt at antage noget om de bagvedliggende mekanismer for at beskrive en sammenhæng mellem de observable størrelser.

Holton ser Machs indflydelse som en reaktion på den fysiske krise, hvor det mekaniske verdenssyn er kørt fast, og Machs videnskabssyn med dens skarpe kritik af mekanikkens grundlag har derfor gjort et stort indtryk på mange unge fysikere.

"To many of the younger physicists of the time, attacking the problems of physics with conceptions inherited from classical nineteenth-century physics did not seem to lead anywhere. And here Machs iconoclasm and incisive critical courage, if not the details of his philosophy, made a strong impression on his readers." (10)

Han mener ikke der er nogen tvivl om, at Machs bog "The Sciences of Mechanics" har gjort et stort indtryk på Einstein. I denne tilbageviser Mach den dogmatiske holdning, at mekanikken er det fundamentale grundlag i al fysisk tænkning, og han kritiserer begreberne absolut tid og rum i Newtons Principia. Hans program er at eliminere alle metafysiske størrelser fra videnskaben.

Holton mener, at Mach har påvirket Einstein på to måder:

"In brief, the answer is that Machist component - a strong component, even if not the whole story - shows up prominently in two related respects: first, by Einsteins insistence from the beginning of his relativity paper that the fundamental problems of physics cannot be understood until an epistemological analysis is carried out, particularly so with respect to the meaning of the conceptions of space and time, and second, by Einsteins identification of reality with what is given by sensation, the "events", rather than putting reality on a plane beyond and behind sense experience." (10)

Mach har altså ifølge Holton påvirket Einstein til at se den fysiske krise som en teoretisk krise, der kun kan løses ved en epistemologisk analyse af specielt den klassiske opfattelse af tid og rum. Einsteins måde at se den fysiske krise er i stærk modsætning til bl.a. Poincare, der ser krisen som en krise, der hovedsageligt drejer sig om eksperimentielle problemer, og som derfor hverken involverer epistemologiske eller fundamentale nuovervejelser. Einstein har endvidere været inspireret af Mach i den relativistiske forståelse af tid og rum, som nogle reelle fysiske målelige størrelser, der kun har betydning i kraft af, at vi er i stand til at måle dem. Mach hævdede jo netop, at det kun er de fysiske målelige størrelser og deres indbyrdes relationer, der har betydning i vor erkendelse af virkeligheden.

Hirosige mener, at Mach har haft den største indflydelse på Einstein i forkastelsen af det mekaniske verdenssyn:

"In view of the close correspondence between the scientists views of nature and science and his formulation of the problems of scientific research, Machs refutation of the mechanistic worldview was of crucial importance for the formation of the theory of relativity. Certainly, Machs criticism of the concepts of absolute space and time, holding that determinations in space and time are no more than the determinations of an event by other events, must have been suggestive to Einstein. But it could be suggestive only after he, viewing the problem situation from a new aspect, had discovered the new problem to be attacked, that is, only after Machs refutation of the mechanistic worldview had provided him with the new perspective. In this sense I see Mach as having made the most fundamental contribution to the emergence of Einsteins theory of relativity." (6)

Hirosige påpeger endvidere, at Einstein i sit postulat om relativitetsprincippet var nødt til at acceptere elektrodynamikken og mekanikken som to ligestillede teorier.

"Einstein reached the theory of relativity by searching for a unification of mechanics and electromagnetic theory at a higher level. For the idea of postulating a universal principle of relativity to arise, it was crucial importance that mechanics and electromagnetism were considered to be of equal standing."(6)

Einsteins påvirkning fra Mach i den relativistiske forståelse af tid og rum er en af de væsentligste årsagen til, at mange positivistiske bruger udviklingen af den specielle relativitetsteori som et standardeksempel på en videnskabelig udvikling, der udspringer af den positivistiske tankegang. Videnskabshistorikeren Elie Zahar tilbageviser i sin artikel "Mach, Einstein, and the Rise of Modern Science" det synspunkt, at Einsteins specielle relativitetsteori er udviklet på baggrund af den positivistiske tankegang. Zahar anfægter ikke, at Einstein har været påvirket af Mach, men blot at der eksisterer en objektiv sammenhæng mellem Machs filosofi og udviklingen af den specielle relativitetsteori. Zahar påstår, at den specielle relativitetsteori andrig ville have set dagens lys, hvis Einstein havde holdt fast ved de Machistiske principper. Et af Zahars argumenter er, at Einstein definerer samtidighed udfra de to postulater, som indeholder en indirekte definition af hastighed. Dette er ganske uacceptabelt udfra et Machistisk syn, idet de videnskabelige definitioner ikke må defineres vha. de indgående størrelser



McCormmachs behandling

I artiklen "Einstein, Lorentz, and the Electron Theory" giver McCormmach en beskrivelse af, hvilke fysiske problemstillinger Einstein har været optaget af at løse. Et af McCormmachs formål med artiklen er, at vise en sammenhæng mellem de fysiske problemstillinger Einstein var beskæftiget med, og her specielt sammenhængen mellem Einsteins lyskvantehypotese og den specielle relativitetsteori.

Einstein blev gennem sin fysiske uddannelse på det polytekniske institut i Zurich opdraget med det mekaniske verdenssyn, dvs. et verdenssyn, hvor den mekaniske beskrivelsesramme er basis for alle fysiske teorier.

McCormmach påpeger, at Einstein var meget fascineret af mekanikken med dens udbredelse indenfor andre grene af fysikken. Det ses gennem Einsteins notesbøger, at han specielt var interesseret i det mekaniske grundlag for den kinetiske molekyleteori og varmelæren.

"Mechanics had fascinated him then for its extension into branches of physics, especially the kinetic theory of gases, that were not in any obvious way mechanical." (23)

I tiden lige efter sin uddannelse var Einstein meget optaget af foreningen mellem termodynamikken og mekanikken. Han var optaget af den statistiske beskrivelse af den kinetiske molekyleteori, hvor han så en sammenhæng mellem molekyllernes indbyrdes vekselvirkning og Newtons partikelbeskrivelse. Endvidere indså Einstein, i følge McCormmach, at den kinetiske molekyleteori var et tilstrækkeligt grundlag for termodynamikken, og han påviste, at det var muligt udfra den kinetiske molekyleteori at komme frem til termodynamikkens 2. hovedsætning og varmeligevægtsloven. Den kinetiske molekyleteori (statistisk mekanik) skabte hermed en korrespondance mellem en mekanisk funderet microbeskrivelse af stof og termodynamikkens macrobeskrivelse.

Hermed fik Einstein etableret en sammenhæng mellem mekanikken og termodynamikken, hvor mekanikken med enkelt-partikelbeskrivelsen var en beskrivelse på microniveauet, og termodynamikken med den "mudrede" mange partikelbeskrivelse (en beskrivelse,

hvor det er umuligt at skelne de enkelte partikler fra hinanden) en beskrivelse på macroniveauet.

Einstein udgav for første gang en artikel om stråling i 1904. McCormach mener dog, at han allerede tidligere, helt tilbage til sin studietid, har været optaget af nogle af de fundamentale problemer med bølgebeskrivelsen af lys.

"And one of the extramechanical applications of mechanics that had most fascinated him in his studies days was the theory of light as a wave motion in a quasi-rigid elastic ether." (23)

Einstein skrev ikke direkte, om han på dette tidspunkt forstod ætheren som et mekanisk eller ikke-mekanisk legeme. McCormach konkluderer dog ud fra Einsteins andet arbejde og hans fascination af det mekanistiske verdenssyn, at han højst sandsynligt har forstået ætheren som et mekanisk legeme. McCormach skriver videre, at Einstein givetvis har stiftet bekendtskab med Maxwells elektromagnetiske teori for lys gennem læsning af tyske oversættelser og fra tyske tekster af August Föppl og Boltzmann, som begge ligesom Maxwell forstod den elektromagnetiske feltteori som en del af mekanikken.

Omkring 1903 begyndte Einstein at interessere sig for elektron-teorien, og der er ifølge McCormach ingen tvivl om, at han her fordybte sig i Lorentz' teori fra henholdsvis 1892 og 1895.

Einstein blev optaget af dualismen mellem det mekanistiske og elektromagnetiske verdensbillede, hvor det første er en diskret (partikelteori) beskrivelse af virkeligheden og det andet en kontinuert (feltteori) beskrivelse af virkeligheden.

Einstein mente det var nødvendigt med en ny teori om lysets natur, og at problemet lå i den kontinuerte feltbeskrivelse. McCormach mener, at grunden til Einstein netop så problemet her, hovedsageligt skyldes hans tidligere arbejde indenfor den kinetiske molekyleteori og termodynamikken, hvor han opfattede den mekaniske partikelbeskrivelse som en form for fundament. Einstein indså, at Maxwell-ligningerne på samme måde som termodynamikken kun var approximativt sande og altså en beskrivelse på macroniveauet. Han opstillede lyskvante-hypotesen, hvor bølgefænomenerne for lys varen konsekvens af den gennemsnitlige dynamiske opførsel af en samlet mængde lyskvanter, på samme måde som termodynamik-

Med Einsteins lyskvantehypotese var det nødvendigt med en ny teori for elektrodynamikken. Ifølge McCormach erkender Einstein, at en ny teori for elektrodynamikken må bygge på nogle universielle principper. Igen har han termodynamikken som sit forbillede - som en teori, der bygger på nogle få grundlæggende principper.

McCormach mener, at Einsteins forkastelse af ætherens eksistens kan ses som en konsekvens af hans lyskvante-hypotese.

"In his light-quantum paper he had concluded that on the microscopic scale, the energy of light could not be described by continuous spatical functions, which would rule out the possibility of a continuous ether."

og videre

"The ether question was critical. Absolute translatory motions and continuous spatial energy distributions are unknown in particle mechanics, while they appear necessarily in electromagnetic theory if an stationary, continuous ether is presupposed. By discarding the ether the specialness of electromagnetic concepts can be partially eliminated, and the relativity and particle concepts of mechanics can be applied to the electromagnetic field as well." (23)

Således påpeger McCormach, at der er en tæt sammenhæng mellem lyskvante-hypotesen og den specielle relativitetsteori. De er begge led i Einsteins bestræbelser på at forene det fysiske fundament udra en overordnet skelnen mellem beskrivelsen af virkeligheden på micro- og macroniveau. Einstein har været interesseret i en helhedsforståelse af det fysiske fundament, hvor de forskellige fysiske teorier indenfor de forskellige grene af fysikken kan blive klassificeret i forhold til hinanden.

-

3.3. KONKLUSION.

Vi har i det foregående afsnit behandlet 3 forskellige videnskabshistorkers syn på Einsteins udgangspunkt i udviklingen af den specielle relativitetsteori. Vi vil nu vise, hvordan disse tre analyser supplerer hinanden og bidrager med forskellige historiske pointer til forståelsen af denne udvikling.

Holton tilbageviser udfra en grundig historisk analyse MM-eksperimentets direkte indflydelse på Einstein i udviklingen af den specielle relativitetsteori. Han viser i stedet, at en af Einsteins vigtigste inspirationskilder har været en videnskabsfilosofisk påvirkning fra Mach.

Holton og Hirosige mener begge, at Einstein har udviklet den specielle relativitetsteori som et led sine bestræbelser på rent teoretisk af forene det fysiske fundament. Einstein har ikke været optaget af at løse uoverensstemmelser mellem teori og praksis, men har i stedet været optaget af at løse uoverensstemmelser indenfor selve de fysiske teorier. Holton mener, at Einstein gennem påvirkning fra Mach har indset, at de fundamentale fysiske problemer kun kunne løses ved en epistemologisk analyse af specielt tid og rum. Hirosige mener, at Mach i første omgang har påvirket Einstein til en fuldstændig løsrivelse og forkastelse af det mekaniske verdenssyn, hvor mekanikens love er fundamentale i beskrivelsen af alle fysiske fænomener.

McCormmachs behandling af Einsteins udgangspunkt adskiller sig en del for Holtons og Hirosiges, idet hans formål har været at vise en faglig sammenhæng i Einsteins arbejde. Gennem sit arbejde indenfor termodynamikken og den statistiske mekanik har Einstein indset en sammenhæng mellem beskrivelsen af de fysiske fænomener på micro -og macro niveau. Han indser endvidere at elektrodynamikken med den kontinuerte feltbeskrivelse kun kan være sand på macro niveauet, og at en forening af det fysiske fundament derfor ikke kan ske via. denne, men må ske via den diskrete partikelbeskrivelse.

McCormmach giver således en indre faglig forståelse af den specielle relativitetsteoris udvikling, hvor Holton og Hiro-sige viser, hvorfra Einstein er blevet inspireret, hvor de viser videnskabsfilosofiens betydning for den videnskabelige udvikling.

De mener alle tre, at Einsteins arbejde var et brud i den videnskabelige udvikling, men der er stor forskel i deres behandling af bruddets karakter. Holton mener, at der med den specielle relativitetsteori er tale om et af de helt store brud indenfor fysikken. Han sammenligner Einsteins arbejde med Newtons Principia.

"To find another work that illuminates as richly the relationship between physics, mathematics, and epistemology, or between experiment and theory, or one with the same range of scientific, philosophical, and general intellectual implications, one would have to go back to Newtons Principia."

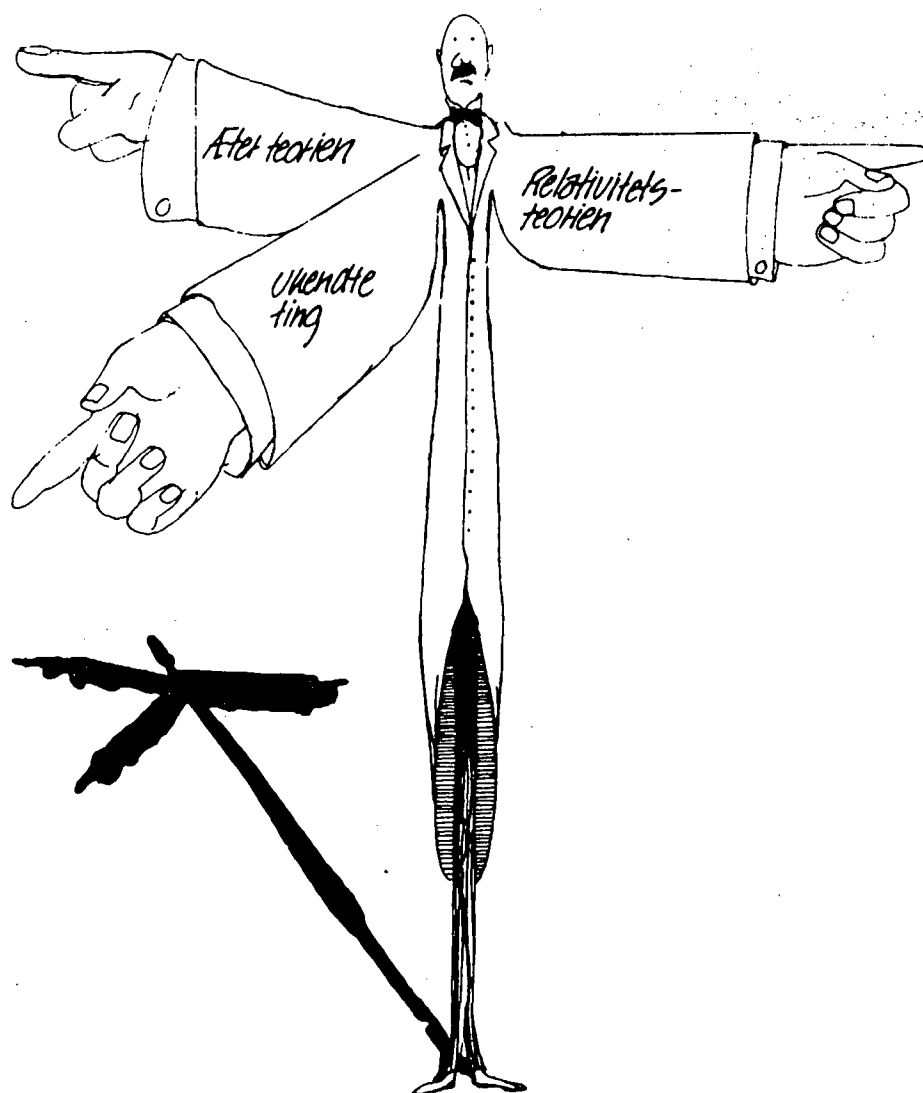
Den specielle relativitetsteori er ifølge Holton et brud med den Newtonske mekaniks begrebsramme med absolut tid og rum. Holton behandler ikke særlig meget bruddet mellem Lorentz og Einstein udover, at han tilbageviser Whittakers konklusioner. Hiro-sige mener ligesom Holton, at den specielle relativitetsteori er et brud med den klassiske mekaniks begrebsramme, og det er her Einstein i det væsentligste adskiller sig fra Lorentz, der jo netop fastholder sig til denne.

McCormmach behandler ikke så meget bruddet mellem den klassiske mekanik og den specielle relativitetsteori, men ser mere på bruddet mellem Lorentz og Einstein. Dette brud forklarer McCormmach som et brud mellem den kontinuerte feltbeskrivelse indenfor elektrodynamikken og den diskrete partikelbeskrivelse indenfor mekanikken.

Som afsluttende kommentar kan det siges, at de videnskabshistoriske behandlinger vi har haft fat i overvejende har været deskriptive. Dvs. at de først og fremmest har følt forpligtiget til at formidle de "egentlige" historiske kendsgerninger i denne specielle udviklingsproces uden at tage stilling til de overordnede teorier for, hvordan den videnskabelige

generelt foregår. De tillægger således ikke videnskabsfilosofien nogen betydning i formidlingen af videnskabshistorien

Vi mener dog, at der implicit i den historiske formidling ligger en måske mere eller mindre bevidst stillingtagen til videnskabsfilosofien, og at dette bl.a. viser sig i deres fremhævelse af forskellige historiske pointer.



4.

VIDENSKABSTEORETISK BEHANDLING

AF UDVIKLINGEN AF

DEN SPECIELLE RELATIVITETSTEORI

4. VIDENSKABSTEORETISK BEHANDLING AF UDVIKLINGEN AF DEN SPECIELLE RELATIVITETSTEORI.

Hvis man vil forstå noget om hvordan videnskaben udvikles, er det ikke nok blot at se på den enkeltstående historiske episode, man bliver nødt til at have diskussionen op på et generelt niveau. Og det er netop formålet med dette kapitel.

Vores oprindelige tanke var, i projektet at nærme os udviklingen af den specielle relativitetsteori fra hhv. en videnskabshistorisk og -teoretisk indgangsvinkel. Meningen var så, at vi i det historiske afsnit kunne komme med "den sandfærdige beretning" om hvordan videnskabsudviklingen foregik, og at vi derefter kunne analysere denne udvikling kvalitativt. Vi ville med videnskabsteorien dels sige noget mere generelt om udvikling af videnskaben ud fra eksemplet, og dels karakterisere bruddet som fremkomsten af den specielle relativitetsteori udgjorde i fysikken. Dette formål er også blevet opfyldt, men ikke på den forsimplede måde vi havde forestillet os. "Videnskabshistorie uden videnskabshistorie er tom, og videnskabshistorie uden videnskabshistorie er blind." Et Lakatos-citat vi har måttet sande rigtigheden af. Konsekvensen er blevet, at dette kapitel er blevet en del mere "gråt", dvs. mere en blanding af videnskabsteori og -historie end projektet måske lægger op til.

Som vi skrev i indledningen af projektet, har vi valgt at beskrive udviklingen af SR ud fra overvejende internalistiske videnskabsteoretiske retninger. En af hensigterne med projektet er, at gøre op med nogle af myterne omkring fremkomsten af SR. Den traditionelle opfattelse af videnskabens udvikling, er i høj grad et resultat af det positivistiske verdensbillede. Vi starter derfor dette kapitel med at give et eksempel på en positivistisk forklaringsmodel på udviklingen af SR, og håber derved også, at give et lødigt billede af de videnskabsteoretiske holdninger, som vi prøver at gøre op med.

Resten af kapitlet indeholder så den egentlige videnskabsteoretiske behandling af vores case. Med udgangspunkt i Popper, Kuhn og Lakatos vil vi overveje eksperimentets rolle i udviklingen af SR, og karakterisere det videnskabelige brud, der ligger i overgangen fra Newtons mekanik til SR. Endvidere vil vi præsentere de

tre videnskabsteoretikers generelle forklaringer på, hvorledes videnskaben udvikler sig.

4.1. DEN POSIVITISTISKE FORTOLKNING AF DEN NATURVIDENSKABELIGE METODE.

Som et eksempel på den positivistiske opfattelse af "den naturvidenskabelige metode", vil vi kort beskrive den danske videnskabsteoretiker Jørgen Jørgensens holdning.

Ifølge den hypotetisk deduktive metode foregår udviklingen af naturvidenskabelig erkendelse gennem følgende hovedstadier: Observation, hypotesedannelse, deduktion og verifikation af deduktionens resultater. Ved brug af denne metode er det formålet for naturvidenskaberne at klarlægge objektivt eksisterende genstande, deres egenskaber og indbyrdes sammenhænge. Endvidere er det naturvidenskabens opgave at forklare, hvorfor disse objekter og deres sammenhænge fremtræder for os, som de faktisk gør.

Den naturvidenskabelige erkendelse udvikles af forskere ved brug af psykologiske erkendelsesmidler: Sansningen, fantasieren og tænkningen, og herudover kan iagttagelsesinstrumenter anvendes, som en slags forøgelse af de direkte sanseoplevelser.

I observationsstadiet iagttages naturen ved brug af sanserne og diverse iagttagelsesinstrumenter, og forskerne beskriver, klassificerer og sammenligner de observerede fænomener. Dernæst dannes hypoteser om de sansede objekters beskaffenhed og deres objektive sammenhæng. I denne fase dannes generalisationer og idealiserede modelforestillinger. Ved at udlede iagttagelige konsekvenser af de dannede hypoteser og undersøge om disse passer sammen med iagttagelserne, afprøves om generalisationerne og modellerne passer med virkeligheden, hvilket enten fører til falsifikation eller verifikation. (3)



Som naturvidenskabelige forskere, går fysikerne ud fra at der eksisterer en objektiv verden, og de betragter observationer som et udtryk for den objektive virkelighed, hvis disse varierer uafhængigt af iagttagelserne. Fysikere søger derfor hele tiden, at eliminere eventuelle subjektafhængige træk ved iagttagelserne. Dette gøres ved en række mere eller mindre bevidste kontrolmetoder, som f.eks. viljeskontrol, opmærksomhedskontrol, gentagelseskontrol, intersensorisk kontrol og signalhastighedskontrol (13).

I sin bog "Indledning til logikken og metodelæren" fremhæver Jørgen Jørgensen udviklingen af den specielle relativitetsteori som eksemplarisk for den naturvidenskabelige metode. Den ovennævnte signalhastighedskontrol spiller selv sagt en betydelig rolle i Jørgen Jørgensens behandling af denne udvikling. Vores mistanke om at denne specielle form for kontrol er tilpasset netop Einsteins relativitetsteori, vil vi lade ligge for nu at beskrive, hvordan Jørgen Jørgensen forklarer udviklingen af den specielle relativitetsteori, og hvorfor den udkonkurerede Lorentz's transformationsteori:

Michelsons forsøg på at prøve på at påvise jordens bevægelse i forhold til lysætheren, har en helt central betydning i JJ's billede af hvorledes relativitetsteorien udvikledes; Forsøgets negative resultat gav stødet til såvel Lorentz's transformationsteori som Einsteins relativitetsteori, idet det dog havde forskellig metodologisk placering for de to teorier. I Lorentz anvendelse af "den naturvidenskabelige metode" har forsøget nemlig status som et verifikationsforsøg for Ætherteorien, idet man ud fra denne teoris hypoteser, havde udledt at en experimentel konsekvens var, at lyset skulle bevæge sig med forskellig hastigheder, når det udsendtes samtidigt i dels jordens bevægelsesretning og dels vinkelret på denne. Forsøgets negative resultat gav Lorentz anledning til at formulere (og acceptere) hjælpehypotesen om, at alle legemer forkortes i bevægelsesretningen, når de bevæges i lysætheren. Problemet ved den hjælpehypotese er i følge JJ, at den er uverificerbar, og at dette var årsagen til at Einsteins relativitetsteori fik overtaget.

For Einstein var MM-forsøgene det eksperimentielle grundlag, på hvilket han opstillede de hypoteser, der udgør den specielle re-

lativitetsteori. Processen, der førte frem til SR, var et resultat af en analyse om konsekvenserne af udbredelseshastigheden af lyset. JJ ophæver denne analyse af effekterne af den endelige signalhastighed til en form for kontrol - signalhastighedskontrol. Denne kontrol har i følge JJ en almenyldig karakter i forskernes higen efter at opnå en objektiv viden om naturen. Einsteins be- drift i forhold til Lorentz er altså, at afsløre den kilde til systematiske fejl ved varigheds- og længdemålinger, der udgøres af lyshastighedens endelighed. En fejlkilde der "snyder" vores umiddelbare senseerfaringer. (13)

I det hele taget har ikke kun Jørgen Jørgensen men positivisterne generelt, set Einsteins teori som en repræsentant for positivismens succes med at fjerne overflødig metafysik fra den klassiske fysik. Med Mach som inspirationskilde, mener de at, Einstein fik redskabet til at kunne skabe en progressiv videnskabelig udvikling. Netop Einsteins analyse af de basale fysiske begreber som tid, rum og masse, betød at han kunne eliminere de metafysiske træk, der var i den klassiske fysik i form af fysisk ufortolkede matematiske størrelser.

Det skal nok tilføjes, at de mål for den videnskabelige udvikling og kriterier for videnskabelighed som Mach opstillede, er meget mere nuancerede end den form for positivisme, som vi har præsenteret i dette afsnit. Bl.a. ville en Machsk forklaring af det progressive i udviklingen af den relativistiske mekanik, snarere ligge i den simplicisering af de videnskabeligt teoretiske tanke- gange, der ligger i forkastelsen af ætherbegrebet, som i sig selv er en størrelse der er ukonstaterbar via menneskelige sanser, og dermed i følge Machsk tænkning i og for sig kan være det rene tankespind. En anden ting man ud fra Machs ideer kunne slå ned på, er Einsteins oprydningsarbejde i den klassiske mekaniks videnskabelige hypoteser, idet Mach har opstillet en række kriterier for, hvordan man kan tillade sig at lave videnskabelige definitioner. Newtons anden lov er et eksempel på en underlødige hypotese, idet den på en gang definerer masse og karft. Dette forkastes af Mach via hans forbud mod "cirkelslutninger", da massen er defineret ved kraften og omvendt. (24)(5)

Når vi alligevel har valgt at bruge Jørgen Jørgensen som repræ-

sentant for de positivistiske ideer, er det fordi at den opfattelse han står for er meget udbredt, og har haft utrolig stor indflydelse på den "almindelige" opfattelse af, hvordan videnskaben udvikles. Jørgen Jørgensen er bl.a. blevet brugt til undervisning i videnskabsteori på filosofikum i København, og positivismen er altså stadig en almindeligt udbredt forståelsesramme - også for videnskabsmænd/kvinder.

4.2. KUHNS VIDENSKABSTEORI.

Kuhn fremkom i starten af 60'erne med sin videnskabsteori, og den er blevet en af de mest indflydelsesrige kritiske reaktioner på positivistiske og Popperianske opfattelse af videnskabsudviklinger. (17)(14)(21).

Kuhn opdeler den videnskabelige udviklingsproces i to faser: Den normalvidenskabelige og den revolutionære fase. I den normalvidenskabelige fase arbejder forskere i et (af Kuhn ikke nærmere defineret) videnskabeligt samfund, der er underlagt et såkaldt paradigme. Normalvidenskabelig forskning kan komme ud i kriseperioder pga. eventuelle begrænsninger i det tilhørende paradigme. Dette kan medføre at forskerne bryder med det oprindelige paradigme og optager et andet paradigme, og det er netop perioder som disse, som Kuhn kalder for revolutionære.

Disse tre begreber; paradigme, normalvidenskabelig fase og revolutionære faser er helt centrale i Kuhns videnskabsteori, og vi vil kort beskrive hver af disse begreber.

Et paradigme er det, et videnskabeligt samfund er fælles om. For at undgå forsimplede opfattelser af, hvad et paradigme er, bruger Kuhn ikke ordet "teori" eller "teorigruppe" om paradigmet, men kalder det "den faglige matrix". "Faglig" viser tilbage til, at det videnskabelige samfund er fælles om et bestemt fag, og "matrix" fordi det er sammensat af ordnede elementer, der hver især kræver en yderligere specifikation.

Vigtige elementer i den faglige matrix:

1) Gruppen af symbolske generalisationer:

Består af de formelle eller formaliserbare elementer i den faglige matrix, og det være sig udsagn af matematisk eller verbal

form (F.eks. $\vec{F} = m\vec{a}$ eller "aktion er lig reaktion"). Det er de alment accepterede udsagn om naturen, der ligner naturlove, men som ofte har karakter af definitioner for de størrelser der indgår i udsagnet, og derfor bliver tautologier. Uanset om de symbolske generalisationer er egentlige naturlove, eller om de er tautologiske definitioner, fungerer de som et fælles udgangspunkt, hvortil forskere knytter deres logiske og matematiske metoder, når de løser gåder (Kuhn's udtryk for videnskabelig problemløsning).

2) Metafysiske paradigmer:

Tro på bestemte modeller af såvel heuristisk som ontologisk karakter. Funktionen af de metafysiske paradigmer er blandt andet, at de udstyrer forskerne med tilladelige analogier. Der ved er de med til at forklare, hvad der kan accepteres som videnskabelige forklaringer, og endvidere fastlægge hvilke problemer der er relevante. Et eksempel på et metafysisk paradigme kunne være: "Elektriske bølger udbreder sig i ætheren som bølger i vand".

3) Værdier:

Udgør den fælles opfattelse af kriterierne for f.eks. lødigheden af videnskabelige forudsigelser, og accepten og vurderinger af hele teorier. Eksempler på sådanne værdier kunne være: "Kvantitative forudsigelser er bedre end kvalitative," eller "teorier bør være enkle, modsigelsesfrie og plausible".

4) Forbilledlige eksempler:

Forskellige konkrete problemløsninger der virker som ideal for, hvordan videnskab bør dyrkes. Eksempler på forbilledelige modeller er: Det skrå kast, det koniske pendul og de keplerske baner.

Den normalvidenskabelige fase:

I den normalvidenskabelige fase foregår al forskning ud fra et fælles konventionelt accepteret paradigme, der begrebsmæssigt, teoretisk, instrumentielt og metodologisk angiver de problemer, der er relevante at beskæftige sig med, og de løsningsmodeller, der er tilladelige inden for paradigmet. Kuhn karakteriserer det normalvidenskabelige arbejde som gådeløsning, da forskningen ik-

ke udfordrer paradigmet, og derfor ikke sigter mod at frembringe begrebsmæssige eller eksperimentielle fundamentale nyheder. Til gengæld er normalvidenskaben i høj grad vellykket i bestræbelsen på stadig at forøge den videnskabelige erkendelses omfang og nøjagtighed - og frem for alt er videnskabsudviklingen stærkt KUMULATIV i normalvidenskabelige perioder.

Kriseperioder og revolutionære faser:

Hvis der indenfor den normalvidenskabelige forskning opstår problemer i form af anomalier, betyder dette ikke nødvendigvis at paradigmet forkastes, da anomalier enten kan forklares som uvidenskabelige eller ved brug af en eller anden ad hoc hypotese. Men en stærk ophobning af anomalier kan betyde, at der kan opstå en krise inden for paradigmet. I en kriseperiode vil den videnskabelige aktivitet være præget af stor faglig usikkerhed, og den vil ikke være så målrettet som under en normalvidenskabelig forskning. I følge Kuhn kan en krise alt efter sin karakter slutte på en af tre måder:

- Problemet løses inden for normalvidenskabens ramme.
- Problemet lægges til side.
- Fremkomst af nye alternative paradigmer, hvor et, efter en konkurrerende periode, overtager rollen som fællesparadigme.

Hvis en krise afsluttes som beskrevet i punkt et eller to, forsætter normalvidenskaben sin kumulative aktivitet. Hvis krisen vendes mod paradigmet selv og alternative paradigmer opstår, vil den videnskabelige udvikling gå ind i en revolutionær fase, der vil blive optakten til en videnskabelig revolution. I denne fase kan konkurrencen mellem forskellige paradigmer ikke alene afgøres ud fra logiske argumenter, da to paradigmer i princippet er fuldstændigt usammenlignelige. Det kan derfor være helt grundlæggende begreber, der er uenighed om, og filosofiske og teologiske argumenter vil derfor ofte blive inddraget i diskussionen mellem tilhængere af forskellige paradigmer. Denne periode afsluttes først når en af de konkurrerende paradigmer har vundet over de øvrige, og der igen kan indstille sig en normalvidenskabelig forskningsperiode.

4.3. LAKATOS OM "METODOLOGIEN AF VIDENSKABELIGE FORSKNINGSPROGRAMMER.

Lakatos er sammen med Kuhn repræsentant for en række af radikale videnskabsfilosofier, der efter ca. 1960 er opstået, som kritisk reaktion på positivismen og poppers videnskabsfilosofi. (17, 20, 21)

For Lakatos hænger videnskabsfilosofien og videnskabshistorien tæt sammen. Han tager i en af sine centrale artikler udgangspunkt i følgende: "Videnskabsfilosofi uden videnskabshistorie er tom; videnskabshistorie uden videnskabsteori er blind". Sammen med specielt Popper, Kuhn og Feuerabend indeholder Lakatos 's videnskabsopfattelse konsekvenser for historieskrivningen, og er selv blevet inspireret af videnskabshistorien. Lakatos mener, at videnskabsfilosofien udstikker normative metodologier, som historikere bør bruge til at rekonstruere den interne videnskabshistorie, og at den derved bidrager til en rationel forklaring af væksten af objektiv viden. Lakatos's internalistiske rationalistiske videnskabsteori har ligefrem dannet en egentlig skole indenfor historieskrivningen.

Lakatos kaldte sin teori for "metologien for videnskabelige forskningsprogrammer", og baserede den blandt andet på essentielle elementer fra konventionalismen og falsifikationismen. Hovedideen i teorien er, at de store videnskabelige præstationer udvikler sig til forskningsprogrammer, som kan evalueres i form af progressive og degenererede problemskift. Den videnskabelige udvikling foregår som en til tider langvarig rivalisering mellem flere forskningsprogrammer, hvor videnskabelige revolutioner består i, at et forskningsprogram overgår (tager over i udviklingen) et andet.

I "metodologien for videnskabelige forskningsprogrammer" er den grundlæggende enhed, der skal vurderes, ikke en isoleret teori eller sammenhæng af teorier, men derimod et FORSKNINGS-PROGRAM med en konventionelt accepteret (og dermed ikke-tilbageviselig) HÅRD KERNE, og med en POSITIV HEURESTIK der definerer problemerne, udstikker konstruktion af et bælte af hjælpehypoteser, forudsiger anomalier og vender dem sejrrikt til eksempler for forskningsprogrammet.

Videnskabsmanden/kyinden noterer sig anomalierne, men så længe hendes forskningsprogram oppebærer sin fremdrift, kan hun frit lægge dem til side. Det er først og fremmest programmets positive heuristik og ikke anomalierne, der styrer forskernes valg af problemer. Først når den positive heuristik: drivende kraft svækkes, kan der gives større opmærksomhed til anomalierne. Lakatos mener at "metodologien for videnskabelige forskningsprogrammer" på denne måde forklarer den teoretiske videnskabs høje grad af autonomi.

I modsætning til Popper er et godt videnskabeligt udspil for Lakatos ikke falsible hypoteser, men et forskningsprogram. Falsifikationer i form af anomalier behøver ikke at tages til efterretning, og Poppers "afgørende" eksperimenter forsvinder. I følge Lakatos kan visse anomalier få udseendet af at være "afgørende" eksperimenter, men først lang tid efter at de er fundet, nemlig først når et forskningsprogram er blevet besejret af et andet. Poppers "afgørende" eksperimenter kan beskrives som et basalt accepteret udsagn, der er inkonsistent med en teori, mens et sådant enkeltstående udsagn ikke alene får forskerne til at opgive en teori i følge Lakatos 's metodologi.

Til vurderinger af forskningsprogrammer opstiller Lakatos kriterier, der handler om hvorvidt et program er i udvikling eller stagnation, og han bruger også denne vurdering til at sammenligne to rivaliserende forskningsprogrammer. Et forskningsprogram er progressivt, så længe dets teoretiske vækst foregriber dets empiriske vækst, det vil sige så længe det kan blive ved med at forudsige nye facts (progressivt problemskift). Og det er stagnerende, hvis det teoretiske vækst ligger efter dets empiriske vækst, dvs. så længe det kun giver post hoc forklaringer af enten tilfældige empiriske opdagelser, eller af facts forudset og opdaget i et rivaliserende forskningsprogram (degenerende problemskift). Hvis et forskningsprogram progressivt forklarer mere end et andet, vil det rivaliserende program blive bortelimineret. Dette er videnskabelige revolution i Lakatos 'sk forstand.

4.4. EKSPERIMENTETS ROLLE.

Ligesom videnskabshistorikerne tildeler videnskabsteoretikerne MM-eksperimentet en vigtig og meget diskuteret rolle i udviklingen af den specielle relativitetsteori. MM-eksperimentet bliver af videnskabsteoretikerne vurderet og beskrevet ud fra veldefinerede generelle forestillinger om, hvilken betydning den eksperimentielle praksis har for videnskabsudviklingen, dvs. at de dyrker en mere eller mindre logistisk historieskrivning. Beskrivelsen af MM-forsøgenes betydning tenderer for videnskabsteoretikerne i retning af, at være et idealbillede på, hvilken rolle eksperimenter som sådan spiller i den videnskabelige udviklingsproces. (15).

I dette afsnit vil vi gerne præsentere, hvorledes Popper og Lakatos med baggrund i hver deres videnskabsteori, vurderer og beskriver MM-eksperimentets betydning i udviklingen af den specielle relativitetsteori.

Popper afviser induktivismen, dvs. forestillingen om at naturlove kan udledes induktivt ud fra objektive empiriske kendsgerninger. Samtidigt afviser han positivismens demarkationskriterium, i følge hvilket reelle videnskabelig udsagn kendetegnes ved, at de kan verificeres endegyldigt gennem eksperimentielle tests. I stedet mener Popper, at man bør bruge falsifikation som demarkationskriterium, hvilket altså betyder, at videnskab adskiller sig fra ikke-videnskab ved at der kan opstilles empiriske kriterier for, hvornår teorien bør forkastes, dvs. at videnskabelige teorier indeholder muligheder for empirisk tilbagevisning. I Poppers kritiske rationalisme har eksperimentet en fundamental anderledes metodologisk betydning end i induktivismen. Han ser nemlig den videnskabelige udviklingsproces, som en række af progressive problemskift gennem et vekselspil mellem gåt af hypoteser og totale tilbagevisninger af disse gennem empirisk falsifikation. Han opstiller følgende model for den progressive videnskabelige udviklingsproces:

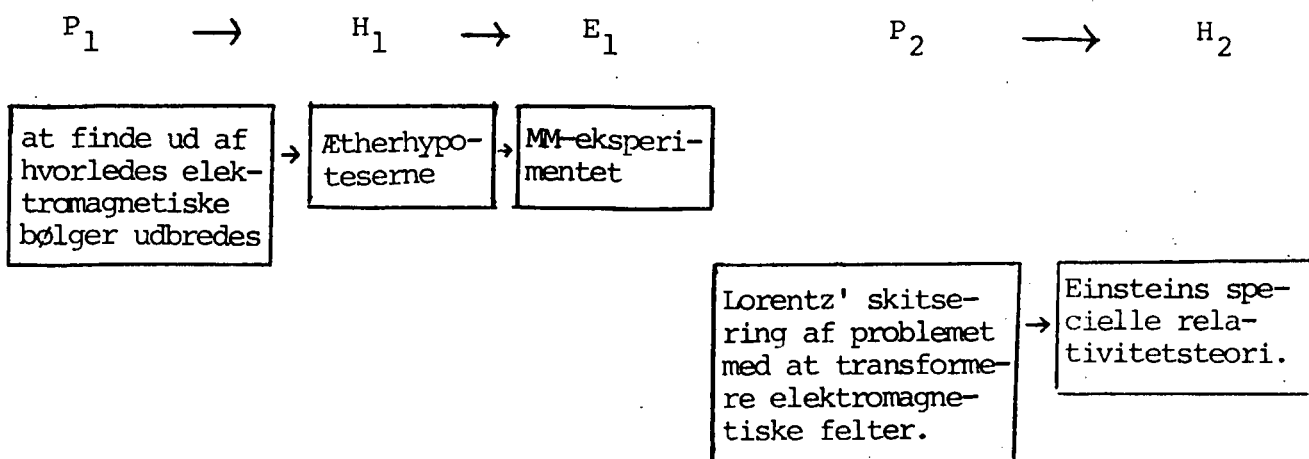
$$P_1 \rightarrow H_1 \rightarrow E_1 \rightarrow P_2$$

P_1 er det videnskabelige problem, der tages udgangspunkt i, H_1

er hypoteser forskere opstiller som gæt på en løsning af det videnskabelige problem. Det er nu forskernes opgave, at forsøge at tilbagevise hypotesen gennem en hård kritik af dets konsistens og dets konsekvensers overensstemmelse med den eksperimentielle virkelighed. Popper ser metoden i den videnskabelige udvikling som en slags "try and errorproces". Hvis der er tale om en progressiv udvikling i den videnskabelige viden, vil en tilbagevisning af H_1 føre frem til en ny videnskabelig problemstilling P_2 , med en højere falsifikationsgrad end P_1 , altså til en problemstilling med empirisk indhold. Der er i så tilfælde tale om et progressivt problemskift.

Eksperimentet har i Poppers teori en helt central placering, idet det forbinder teori og virkelighed ved at fungere som "dommer" i testningen af sandhedsgraden af videnskabelige teorier og hypoteser. (11;14)

Popper beskriver Michelson og Morleys forsøg fra 1887 som "kru-sialt" - afgørende i den forstand, at det virkede falsificerende på Ætherteorien og ledte frem til relativitetsteorien. Resultatet af eksperimentet var negativt på den måde, at det ikke lykkedes at påvise en relativ forskel mellem hastigheden af jorden og ætheren (20). Det passer ikke helt ind i Poppers teori, at Einstein ikke havde direkte kendskab til MM-eksperimentet, idet dette sammen med Lorentz' teori udstak den videnskabelige problemstilling som Einstein fandt løsningen på. Det rationelle mønster der ledte frem til den specielle relativitetsteori i overgangen fra Lorentz til Einstein er altså i følge Popper:



Lakatos går imod den naiv-falsifikationistiske forestilling om, at teorier må afvises, hvis de modsiges af eksperimentielle kendsgerninger. Han mener ikke, at der er nogen historisk dækning for de såkaldte "Krusiale eksperimenter", der i kraft af deres resultater skulle kunne være i stand til at forkaste et forskningsprogram til fordel for et andet. En teori kan kun elimineres, hvis der eksisterer en bedre teori, dvs. en teori der har en større empirisk forudsigelseskraft end dens forgængere, og hvor en del af dette er eksperimentielt bekræftet. Lakatos mener ligefrem, at en teori kan overgå en anden uden at denne er blevet falsificeret i Poppersk forstand (22). På længere sigt kan eksperimenter fremstå, som om de var krusiale, hvis de viser sig af have bidraget med specielt bekræftende på et senere sejrende program, mens de samtidigt virkede som anomali til de besejrede. Men alle forskningsprogrammer vil i sig have både større og mindre anomalier, og da disse ved en progressiv udvikling af programmet kan vendes til bekræftende eksperimenter, kan også et såkaldt krusialt eksperiment for et forskningsprogram vendes, hvis et rivaliserende program gennemgår et progressivt problemskift, så det bliver i stand til at forklare forsøgets udfald. Lakatos forkaster således fuldstændigt begrebet "krusialt eksperiment" i betydningen "eksperimenter der øjeblikkeligt vælter et videnskabeligt forskningsprogram.

Lakatos bruger i formidlingen af sin videnskabsteori netop MM-eksperimentet som et eksempel på et berømt eksperiment, der fejlagtigt er blevet tildelt en krusial karakter. I sin 1970-artikel analyserer han MM-eksperimentets rolle i den videnskabelige udvikling der førte frem til den specielle relativitetsteori. I det følgende vil vi præsentere den historiske udlægning han kommer med i denne forbindelse, og vis hans generelle videnskabsteoretiske overvejelser og pointer. (20)

Da Michelson i 1881 fremkom med sit eksperiment, mente han selv, at dette var et afgørende eksperiment, idet han med forsøgsresultatet synes at have bevist Stoke's ætherteori til fordel for Fresnell's (se en præsentation af de to teorier i det historiske kapitel side). Lorentz tilbageviste dette fuldstændigt ved efter offentliggørelsen af forsøget at kritisere såvel Michelsons beregninger som hans konklusioner. Men i følge Lakatos kriteserede Lorentz også hele formålet med forsøget, idet han hævdede, at

selvom det ville lykkes Michelson at tilbagevise én af de to teorier, ville det ikke være et endeligt bevis for den anden æther-teori. Lorentz påstod nemlig, at han let ville kunne konstruere indtil flere forskellige ætherteorier, i følge hvilke æthervinden ville være endnu mindre end forudset af de to etablerede teorier. Han konstruerede rent faktisk en sådan. Sammen med Morley tog Michelson udfordringen med at teste dette op, og i 1887 udfører de det berømte eksperiment, der atter viste, at den relative hastighed af jorden i forhold til ætheren synes at være nul. Michelson konkluderede noget mere forsigtigt end i sit første eksperiment, at resultatet synes at pege imod en afvisning af Fresnells teori og bekræfte Stokes. Igen afvistes Michelson af Lorentz. Lakatos forklarer, at Lorentz med stor genialitet udarbejdede et kreativt skift indenfor Fresnell's program, og dermed fjernede modsætningen mellem Fresnell's program og Michelsons resultat. Dette gjorde han ved at fortolke udfaldet af eksperimentet som et resultat af en dimensionsændring dvs. Lorentz-fitzgerald-kontraktionen.

Michelson gik selv først bort fra sin bekendelse til Stokes ætherteori i 1897. På dette tidspunkt udførte han sit forsøg på en bjergtop, for i følge Stokes teori skulle der være en hastighedsgradient for æthervinden, således at denne skulle blive større jo højere målingerne foretoges. Men resultatet var som sagt negativt, og Michelson godtog endelig Fresnell's ætherteori med Lorentz-kontraktionen som en hjælpehypotese.

Af Lakatos fortolkes Michelsons lange serie af eksperimenter, der blev udført i perioden fra 1881 til 1935 for at teste forskellige versioner af ætherprogrammet, som "et fasinende eksempel på et degenererede problemskift". På denne måde vender han fortolkningen af MM-eksperimentets betydning til et bekræftende eksempel til støtte for egen videnskabsteori om metodologien af rivaliserende forskningsprogrammer.

Einsteins udvikling af den specielle relativitetsteori udlægges af Lakatos som værende foregået uafhængigt af Lorentz, Fitzgerald og Michelson, udelukket stimuleret af Machs kritik af den newtonske mekanik. Den specielle relativitetsteori var i følge Lakatos et nyt progressivt forskningsprogram, der besejrede Lorentz's program i kraft af dets større empiriske forudsigelseskraft. Selve MM-forsøget havde i den forbindelse ingen afgørende betydning,

idet det udelukket indgik som en del af de facts, det rivaliserende og tidligere dominerende Lorentzske forskningsprogram også havde været i stand til at forklare. (21)

Lakatos beskriver selv den myte, som han ser det som sin opgave at gøre op med, ved at citere Bernal for at kalde MM-eksperimentet for "det største negative eksperiment i videnskabens historie". I Lakatos' øjne kunne eksperimentet ikke øjeblikkeligt have haft en negativ karakter. Både Michelson og Lorentz brugte jo resultatet som verifikation af deres egne teorier, og betragtede dermed forsøget som positivt. Skulle man endelig karakterisere det som negativt, måtte det være mere end 25 år efter, at forsøget blev udført, nemlig først i det øjeblik, hvor Einsteins program udkonkurrerer Lorentz. MM-eksperimentets indflydelse på udviklingen af den specielle relativitetsteori bruger Lakatos altså som et standardeksempel på sin teori om, at eksperimenter udelukkende retrospektivt kan komme til at virke som krusiale. (22)

4.5. VIDENSKABELIGE REVOLUTIONER.

I dette afsnit vil vi, med udgangspunkt i videnskabsteorien, karakterisere det brud i den videnskabelige udvikling, som fremkomsten af den specielle relativitetsteori udgør. Efter vores opfattelse medførte den brud på mange planer, men vi har i det følgende valgt at koncentrere os om to; nemlig overgangen fra den newtonske til den einsteinske mekanik, og overgangen fra den lorentz'ske til den einsteinske transformationsteori. Endelig vil vi komme med et videnskabsteoretisk kvalitativt bud på, hvorfor Einsteins teori besejrede de konkurrerende teorier. Vi har valgt at benytte Kuhns og Lakatos' til at behandle denne problemstilling om bruddets karakter, da vi mener, at de netop på dette felt hver især og tilsammen giver et frugtbart begrebsapparat.

4.5.1 Kuhns karakteristik af overgangen fra den newtonske til den einsteinske mekanik.

Med udgangspunkt i Kuhns bog "Videnskabens revolutioner" vil vi i dette afsnit beskrive, hvordan man udfra en Kuhnsk videnskabsopfattelse kan karakterisere fremkomsten af den specielle relativitetsteori. Er der tale om en videnskabelig revolution og dermed et paradigmeskift, og i så tilfælde: hvor betydningsfuldt et skift er der tale om? Kuhn laver ikke direkte en analyse af denne problemstilling, men kommer kun med spredte kommentarer hertil, som vi i det følgende bruger til at lave en samlet Kuhnsk fremstilling. (19)

Indledningsvis kan det fastslås, at fremkomsten af den specielle relativitetsteori faktisk medfører et paradigmeskift i følge Kuhn, og endda et af de virkelig store. Han sammenligner denne videnskabelige udvikling med den kopernikanske, der udgør et af de helt store vendepunkter i den videnskabelige udvikling.

Den specielle relativitetsteori blev altså afløseren for det newtonske paradigme, der ellers eksisterede som totalt dominerende normalvidenskab i hen ved 200 år. Kuhn betegner det newtonske mekanik som det hidtil største paradigme, i betydningen

det mest succesfulde i videnskabens historie. Tilliden til den newtonske mekanik var så stor, at den ligefrem blev opfattet som et basalt grundlag for den videnskabelige tænkning, og man senere har kunnet tale om "det mekaniske verdensbillede" i 1800-tallet. Det newtonske paradigme stod tilnærmelsesvis uimodsagt i den lange normalvidenskabelige periode, men i slutningen af 1800-tallet kom det ud i en krise. Denne havde i følge Kuhn rødder helt tilbage til slutningen af 1600-tallet, hvor det newtonske paradigme blev systematisk kritiseret af en række naturfilosoffer med Leibniz i spidsen. De kritiserede at Newton havde bibeholdt den klassiske forestilling om det absolutte rum, og prøvede at vise unødvendigheden af dette begreb i forhold til den newtonske teori. Kuhn mener, at deres anstrengelser ikke lykkedes, men døde ud, fordi de var af rent logisk karakter, og ikke var rettet mod teoriens eventuelle begrænsninger overfor problemløsning i forholdet til naturen. På den måde kunne kritikken altså ikke alvorligt ryste tilliden til paradigmet, og dermed udløse en eventuel krise. (2) (19)

Det der kom til at udløse den egentlige paradigmatisk krise, blev paradoxalt nok Maxwells teori. Paradoxalt - fordi Maxwell selv var erklæret tilhænger af Newtons teori, og udviklede sin egen teori med forestillingen om, at elektromagnetiske fænomener udveksledes i en mekanisk æther. Efter at Maxwells teori var blevet accepteret, og havde opnået paradigme-status, blev det en anerkendt og aktuel videnskabelig problemstilling, at beskæftige sig med at forene teorien med den newtonske, ved at udarbejde en forklaring af de elektromagnetiske vekselvirkninger indenfor den newtonske normalvidenskab. Det viste sig at være et større problem end som så, og de problemer der opstod i denne forbindelse gav anledning til uregelmæssigheder i det newtonske paradigme, og der udløstes en paradigme-krise. Kuhn skriver:

"...således fremkaldte Maxwells teori - på trods af dens newtonske oprindelse - i den sidste ende en krise for det paradigme, den oprindeligt var udsprunget af." (19)

Kuhn beskriver problemerne om bevægelse mht. ætheren som et af brændpunkterne for denne krise. Efter fremkomsten af bølgeteorien for lyset i starten af 1800-tallet blev der gjort store

tekniske bestræbelser på at påvise strøm i ætheren. Fra midten af århundredet blev problemet overført fra eksperimentatorerne til teoretikerne, og bevirkede fremkomsten af en række forskellige ætherteorier (Stoke, Fresnell m.fl). Disse forklarede alle eksperimenternes negative resultater med, at legemer i bevægelse medfører en del af ætheren. Derved udløste et forsøg som MM-eksperimentet kun en konflikt de forskellige teorier indbyrdes, men ingen i forhold til det newtonske paradigme. I følge Kuhn intensiveredes såvel de eksperimentielle som de teoretiske forsøg på at løse problemstillingen, hvilket udløste en mangfoldighed af konkurrerende teorier, hvoraf Lorentz og Fitzgeralds var nogle af de mest lovende. Således beskriver Kuhn den normalvidenskabelige krise for det newtonske paradigme, og den revolutionære tilstand der rådede ved fremkomsten af den specielle relativitetsteori i 1905.

Vi vil nu vise, at fremkomsten af den relativistiske mekanik faktisk udgør en videnskabelig revolution i Kuhnsk forstand. Det afgørende heri er, at der ikke er tale om en kumulativ videnskabelig udvikling, og at der dermed eksisterer et reelt brud med den newtonske mekaniks faglige matrix.

Det er en almindelig udbredt opfattelse, at Newtons mekanik udgør et grænsetilfælde i den specielle relativitetsteori. Hvis dette var sandt, måtte det indebære at Einsteins teori ville være en videreudvikling af den klassiske mekanik. I så tilfælde ville der ikke være en forskel i gruppen af symbolske generalisationer, men blot en udbygning af denne i den specielle relativitetsteori i forhold til Newtons mekanik. Faktisk er det muligt at udlede en gruppe udsagn der har samme form som Newtons bevægelseslove, udfra den gruppe af udsagn der tilsammen udgør den relativistiske teoris love, ved bla. at tilføje et udsagn som $(v/c)^2 \ll 1$. Alligevel er de "newtonske love" vi får ved disse beregninger kun tilsyneladende de samme som i den rigtige newtonske mekanik. Reelt er de to sæt af bevægelsesligninger forskellige. Godt nok står de variable og parametre, der indgår i den specielle relativitetsteori, for det samme som i Newtons love; nemlig tid, masse, sted osv. Men der er stor forskel på de virkelige fysiske størrelser, som disse begreber refererer

til i de to systemer af bevægelsesligninger (f.eks. bevares den newtonske masse, mens den einsteinske kan omdannes til energi). Dermed må vi konkludere, at vi ikke rent matematisk kan udlede Newtons love som et grænsetilfælde af den specielle relativitetsteori, for som Kuhn skriver:

"ved overgangen til grænsen er det ikke alene lovens form, der har ændret sig. Samtidigt har vi måttet ændre de grundlæggende strukturelle elementer i det univers, de drejer sig om." (19)

Einsteins teori var derfor videnskabeligt revolutionerende i forhold til den newtonske mekanik, og Lorentz transformations-teori ser Kuhn blot som den alvorligste konkurrent i det ætherparadigme, som Einsteins paradigme udkonkurerede.



4.5.2. Zahar om overgangen fra Lorentz til Einsteins teori.

Elie Zahar beskriver udviklingen af den specielle relativitetsteori med udgangspunkt i Lakatoš videnskabsfilosofiske historio-grafi. Beskrivelsen indeholder en analyse af, hvorledes Einstein når frem til sit videnskabelige forskningsprogram. Umiddelbart skulle man tro, at Zahar helt skematisk ville beskrive forskningsprogrammets hårde kerne med den negative heuristik, og endvidere den positive heuristik. Men hans fremstilling er knap så skematisk, og vi vil derfor først præsentere hovedtrækkene i Zahars fremstilling, for derefter selv at opstille en skematisk fremstilling af Zahars opfattelse af det einsteinske forskningsprogram. (30)

Anvendelsen af metafysiske ideer havde, i følge Zahar, en helt central rolle for fremstillingen af Einsteins forskningsprogram. Zahar fremhæver specielt to af disse ideer, som udgjorde en del af Einsteins heuristik i såvel hans helt tidlige programudvik-

ling, som i senere programmer:

- (I) Videnskaben skal præsentere os for et sammenhængende, forenet, harmonisk, simpelt og organisk kompakt billede af verden.
- (II) Udskift enhver teori som ikke forklarer symmetriske observable situationer, som manifestationer af en dybere symmetri - uanset om alle kendte facts kan udledes af teorien.
Eksempel: Induktionseksperimentet og ligheden mellem gravitationel og inertiel masse.

På baggrund af disse to heuristiske regler udviklede Einstein sin kritik af den klassiske fysik. Zahar fremhæver dualiteten mellem partikler og felter som kernen i Einsteins kritik, og han mener, at Einsteins skepsis forstærkedes af, at det galileiske relativitetsprincip gælder for mekanikken, men ikke for Maxwells ligninger.

Einstein kunne nu gå to veje: Enten kunne han antage, at relativitetsprincippet hverken kunne anvendes på mekanikken eller på elektrodynamikken, eller at det skulle kunne anvendes på begge dele. Med udgangspunkt i asymmetrien i induktionseksperimentet, valgte han den sidste af de to muligheder, hvilket vil sige, at han valgte at udvide relativitetsprincippet til også at gælde for elektrodynamikken, og herigennem at modificere den klassiske kinematik. Han fulgte i disse overvejelser begge ovenstående heuristiske forskrifter, nemlig (I) i sit forsøg på at forene partikel- og feltbeskrivelsen (dvs. i sit valg af problemfelt), og (II) til sit valg af løsningsmodeller for problemet.

Zahar prøver, i dette forsøg på en rationel rekonstruktion af Einsteins 1905-forskningsprogram, at forklare hvilke overvejelser, der lå til grund for opstillingen af de to postulater i Einsteins teori. Men han uddyber samtidigt disse to antagelser med en tredje, der implicit ligger i den specielle relativitetsteori. De tre antagelser er:

- p_1 : Relativitetsprincippet.
 p_2 : Lyshastighedsprincippet.
 p_3 : Maxwells ligninger er en naturlov.

Argumentet for p_1 er som nævnt ovenfor den universelle karakter og forenende rolle, som dette princip har for forskellige fænomener, som induktionsforsøgene, og fraværet af 1.ordens effekter stammende fra jordens bevægelse. Til gengæld mener Zahar ikke at kunne finde nogle argumenter, hverken eksperimentielle eller heuristiske, for at Einstein opstiller p_2 . Forklaringen på dette er, at p_2 er en logisk konsekvens af p_1 og p_3 . p_3 der jo var påstanden om, at Maxwells ligninger udtrykker en naturlov, begrundes i, at den sandsynliggøres af at ligningerne er en forenet teori, der sammenknytter begreber som elektrisk felt, magnetisk felt og ladningsdensitet, hvilket desuden tilfredsstiller Einsteins heuristiske forskrift (I). Zahar mener altså, at Einsteins udgangspunkt både historisk og epistemologisk for det første var relativitetsprincippet, men dernæst var antagelsen om Maxwellligningernes naturlovskarakter, og ikke princippet om lyshastighedens konstans. På grund af relativitetsprincippet antager Maxwellligningerne nemlig samme form i alle inertialsystemer, og da de samtidigt udtrykker, at elektromagnetiske forstyrrelser udbredes med hastigheden c i alle koordinatsystemer hvor ligningerne gælder, må lyshastigheden være invariant. Det vil altså sige, at p_1 og p_3 medfører p_2 .

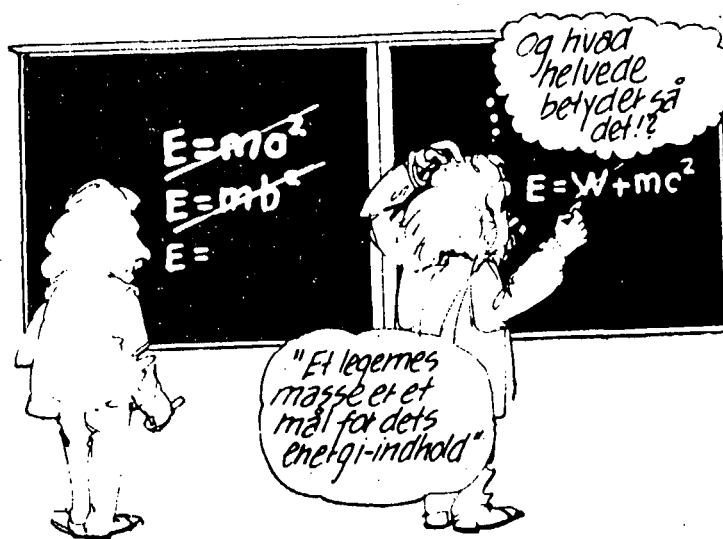
Begrundelsen for at Einstein alligevel opgiver p_1 og p_3 som sine basale antagelser, har Zahar lidt svært ved at angive. En ufuldstændig forklaring kunne ligge i to faktorer: Dels at p_2 er en svagere antagelse end p_3 , og dels at Einstein derved udtrykker sin skepsis over for troen på, at elektrodynamikken skulle være fundamentet for hele fysikken, ved at gøre sit tidsrum system uafhængig af denne teori.

Zahar konkluderer at den store betydningsfulde inspirationskilde for Einstein i udviklingen af den specielle relativitetsteori, ikke kom fra Michelson eksperimentalfysikeren, men fra teo-

tikeren Lorentz. Han skriver:

"Einstein's greatest contribution was to extent Lorentz methods and give the transformed quantities a realistic interpretation in the "moving" system." (30)

Zahars bud på hvorledes Einstein opstiller sit forskningsprogram er altså, at han tager udgangspunkt i to metafysiske ideer. Med disse bliver han i stand til, dels at problematisere partikel-felt beskrivelsen, og dels at opstille de to basale antagelser, som udviklingen af hele den relativistiske mekanik bygger på.



4.5.3. Einsteins og Lorentz' forskningsprogrammer. Sammenligning og vurdering.

For at kunne give en lakatosk karakteristik af overgangen fra den lorentzske til den einsteinske transformationsteori, er det nødvendigt at sammenligne deres forskningsprogrammer. Spørgsmålet om hvorvidt Einsteins teori blot var en videreudvikling af det lorentzske forskningsprogram kræver altså, at vi præsenterer de to forskningsprogrammer lidt nærmere:

Zahar formidler ikke direkte det einsteinske forskningsprogram. Når vi nedenfor opstiller Einsteins program er det helt for egen regning, idet vi er klar over, at Einsteins "egentlige" forskningsprogram fra 1905 er langt mere omfattende med elementer fra alle de tre 1905-artikler. Vi præsenterer det alligevel her for, at give et indblik i de "kasser", som Zahar bruger til at evaluere og sammenligne de to forskningsprogrammer. (30)

EINSTEINS PROGRAMDen hårde kerne:

- Relativitetsprincippet.
- Maxwell-ligningerne.
- Lorentz-transformationerne.
- De i den specielle relativitetsteori udviklede kinematiske love, hvori Newtons love udgør et grænsetilfælde.

Den negative heuristik:

Den positive heuristik: Består bla. af de metafysiske ideer:

- Videnskaben skal give et sammenhængende, forenet, harmonisk, simpelt og kompakt billede af verden.
- Videnskabelige teorier bør udskiftes, hvis de ikke forklarer symmetriske observable situationer som manifestationer af en dybere symmetri.

LORENTZ ÆTHERPROGRAMDen hårde kerne:

- Maxwell-ligningerne for det elektromagnetiske felt.
- Newtons bevægelsesligninger.
- Lorentzkraften: $\vec{F} = e \left(\vec{D} + \frac{1}{c} \vec{v} \times \vec{H} \right)$

Den negative heuristik:

- Hypotesen om længde-kontraktionen.

Den positive heuristik:

- Lorentz heuristik opstår ud fra det metafysiske princip om, at alle fysiske fænomener styres af virkninger, som er overført af ætheren.

Ovenstående er det permanente indhold i Lorentz ætherprogram, mens det øvrige indhold i programmet udskiftedes, så programmet som et hele udvikledes gennem en række af progressive problemskift. Programmet var i lakatosk forstand succesrigt, og udviklede sig progressivt lige indtil fremkomsten af Einsteins re-

lativitetsteori i 1905. Programmet udvikledes gennem en serie af teoriudviklinger i den negative heuristik, dvs i den del af den hårde kerne, der beskytter resten mod tilbagevisning ved at indeholde en række hjælpehypoteser. Følgende er tre af Lorentz's forskningsprogrammer, der historisk kom efter hinanden: (30)(31)

- L_1 består af den hårde kerne, som er beskrevet ovenfor, sammen med antagelserne, der tilhører den negative heuristik:
- a) at bevægede ure ikke går langsommere end stationære.
 - b) at materielle stokke ikke forkortes i bevægelsesretningen.
- L_2 består af den hårde kerne og antagelsen a) fra L_1 , mens antagelsen b) udskiftes med Lorentz-Fitzgeralds antagelse om længdekontraktionen.
- L_3 består af den hårde kerne og antagelsen om længdekontraktionen, samt at ure der bevæges gennem ætheren med en hastighed v forsinkes med faktoren $\sqrt{1 - v^2/c^2}$.

Såvel det lorentzske som det einsteinske forskningsprogram var progressivt i 1905. Op til da havde det lorentzske forskningsprogram udviklet sig gennem en serie af progressive problem-skift. Lorentz havde således kunnet forklare MM-eksperimentet, fundet transformationslovene for det elektromagnetiske felt og for ladningstæthed, og kunnet forudsige invariansen af lysets hastighed. At Einsteins program var progressivt allerede i 1905, ligger i at han fremkom med den i princippet empirisk testbare lov: $E=mc^2$. Men i 1905 var de tekniske forudsætninger for at kunne teste denne lov et fjernt fremtidsprojekt. Dermed var de to teorier i 1905 faktisk "observationelt ækvivalente". Dvs. at Einsteins og Lorentz's teorier havde samme eksperimentielle forklaringskraft. Forklaringen herpå er selvfølgelig, at de eksperimentielle resultater kun involverer målte størrelser, der netop svarer til de såkaldte "effektive" værdier i Lorentz's teori. Og da disse tilfredsstillende Maxwells ligninger, er det umuligt eksperimentielt at afgøre om et inertialsystem er i hvile eller bevægelse i forhold til ætheren. Alligevel blev Einsteins program accepteret af flere ledende fysikere allerede

før det rent faktisk var blevet empirisk progressivt. I følge Zahar ligger forklaringen på dette i forskellen på de to programmers heuristik: Lorentz brugte ætheren til at overføre bestemte egenskaber ved det elektromagnetiske felt til de molekylære kræfter, og hans metode var effektiv til at forklare "nulresultateksperimenter" som f.eks. MM-eksperimentet. Men Einstein udvidede den lorentzske metode ved at kræve, at alle kræfter, dvs. ikke kun de mekaniske og elektromagnetiske, skulle transformeres efter samme regler, og han omformede dermed metoden til en heuristik af mere generel anvendelighed. På denne måde fik det einsteinske program en større heuristisk kraft end det lorentzske, der samtidigt var svækket pga. problemer med at forstå ætherens natur.

Men en heuristisk overlegenhed er i følge Lakatos metodologi ikke nok til, at Einsteins 1905-program kunne udkonkurrere det lorentzske. For at et forskningsprogram skal blive en succes kræver det, at der udover en lovende heuristik til konstruktion af nye teorier, også kan foretages en empirisk bekræftelse af de nye facts, som det progressive program forudsiger. Zahar mener derfor, at Einsteins program først overgik Lorentz program i 1915, med forklaringen af præcessionen af Merkurs perihelion, som var et uventet og derfor et ikke-ad hoc resultat af den generelle relativitetsteori. Det lorentzske program blev dermed degenererende og endeligt forkastet til fordel for Einsteins teori.

Opsamlende kan vi sige, at Zahar beskriver udviklingen af det einsteinske forskningsprogram som rationel og baseret udelukket på to basale metafysiske principper. Han beskriver Lorentz forskningsprogram som progressivt udviklende helt op til 1905, hvor det i sammenligning med det einsteinske program havde samme empiriske forklaringskraft, men en svagere heuristik. Netop den svagere heuristik gjorde at en del ledende fysikere tilsluttede sig Einsteins teori i perioden mellem 1905 og 1915. Det var dog først ved fremkomsten af den generelle relativitetsteori, at Einsteins program opnåede større empirisk bekræftelse, og dermed endeligt udkonkurrerede det lorentzske.

4.6. KONKLUSION.

Vi vil i det følgende kort opridse de fire videnskabelige programmers forklaring af udviklingen af den specielle relativitetsteori.

Jørgen Jørgensen beskriver udfra den hypotetisk deduktive opfattelse, MM-eksperimentet som det eksperimentielle grundlag for Einsteins udvikling af den specielle relativitetsteori. Han mener samtidigt, at eksperimentet havde status af verifikationsforsøg for ætherteorien, og dets negative udfald, var grundlaget for Lorentz' formulering af hypotesen om længdekontraktionen.

I Poppers falsificationisme får MM-eksperimentet "krusial" karakter, ved, i kraft af sit negative resultat, at virke falsificerende på ætherteorien. Han forklarer fremkomsten af den specielle relativitetsteori, som en hypotesedannelse på grundlag af det videnskabelige problem med at transformere de elektromagnetiske felter, hvilket var blevet skitseret af Lorentz.

Vores case afspejler fint den generelle forskel, der er på Kuhns og Lakatos' karakteristik af overgangen fra ét videnskabeligt program til et andet. Kuhn anser denne for at være en helt igennem irrationel proces, således at konstruktionen af nye paradigmer, og videnskabsfolks vurdering af konkurrerende paradigmer, er baseret på metafysiske overvejelser. Denne opfattelse tager Lakatos afstand fra. Han argumenterer for, at konkurrencen mellem to forskningsprogrammer, kan afgøres rationelt ved evaluering af hver af forskningsprogrammernes progressivitet og deres empiriske forklaringsstyrke. Han forkaster dermed det irrationelle islæt i Kuhns forklaring af, hvorfor et videnskabeligt forskningsprogram kan elimineres i forhold til et andet. Kun som grundlag for et forskningsprogrammes heuristik accepterer Lakatos anvendelsen af metafysiske overvejelser og ideer.

Kuhn er i stand til, udfra forskellen i de symbolske generalisationer, at vise at der ved overgangen til den specielle relativitetsteori er sket et helt fundamentalt brud i forhold til

den newtonske mekanik. Vi mener også, at hans paradigmebegreb og forestilling om videnskabelige revolutioner er en yderst fin begrebsramme til, at beskrive fremkomsten af den specielle relativitetsteori. I modsætning til Lakatos forsøger Kuhn ikke, at forklare det rationelt logiske i overgangen fra Lorentz til Einsteins teori. Han viser, at der ved fremkomsten af den specielle relativitetsteori var en videnskabelig revolutionær fase som følge af det newtonske paradigmes uforenelighed med det maxwellske. Og netop i disse faser mener Kuhn ikke, at interne forklaringsmodeller er tilstrækkelige, idet forskere i deres forsøg på at opstille nye paradigmer er påvirket af extra-videnskabelige forhold. Det er altså netop i overgangen fra et paradigme til et andet ifølge Kuhn umuligt, at lave den slags rationelle rekonstruktioner, som Lakatos stræber efter.

Til gengæld mener vi, at Lakatos metodologi om videnskabelige forskningsprogrammer er bedre i stand til at forklare, hvorfor Einsteins program overgik Lorentz. Selvom de to programmer er ontologisk forskellige, har de stort set samme forklaringskraft overfor de eksperimentielle problemer, der var opstået i forbindelse med elektrodynamikken af bevægede legemer. Det empiriske forudsigelsespotentialer i Einsteins program var større end i Lorentz, og da fysikerne fandt belæg for nye empiriske resultater i Einsteins teori udkonkurreredes den lorentzske teori. Vi mener ikke, at denne forklaring er helt fyldstgørende, men den er en betydningsfuld del af den samlede forklaring på, hvorledes et teorikomplex overgår et andet.

En anden side af Lakatos teori, som tiltaler os, er forklaringen af videnskabsudviklingen indenfor det enkelte forskningsprogram, der svarer til forskningen i Kuhns normalvidenskabelige perioder. Zahars redegørelse for specielt Lorentz forskningsprogram med progressive og degenererende problemskift, er et godt bidrag til forståelse af den videnskabelige udviklingsproces på det mere generelle plan.

Om videnskabsteoretikernes forhold til videnskabshistorien vil vi gerne afsluttende sige, at dette ikke er ganske pletfrit. Det er et generelt træk de videnskabsteoretikere, som er præsenteret i dette kapitel, at de alle omgår de historiske kends-

gerninger lidt lemfældigt. Hos hver af dem har vi fundet eksempler på fordrejninger af historien. Lakatos beskrivelse af Lorentz skråsikre overbevisning om eget forskningsprogram, Poppers antydning af MM-eksperimentets betydning for Einstein, og Kuhns beskrivelse af de konkurrerende ætherteorier, er alle eksempler på dette. Konklusionen må være, at videnskabsteoretikerne har en tendens til, at bruge videnskabshistorien som illustration til deres teorier, hvilket selvfølgelig afspejler deres prioritering af de filosofiske problemstillinger.



5.

KONKLUSION

4. KONKLUSION.

Vi har i dette projekt fået opstillet nogle historiske og videnskabsteoretiske forklaringsmodeller af udviklingen af den specielle relativitetsteori op over for hinanden. Det har givet et udbytte på to planer. Vi har formået at give et bredt billede af, hvorledes denne videnskabelige udviklingsproces kan forklares og karakteriseres såvel videnskabshistorisk som videnskabsteoretisk, og vi har vist, at det ikke er muligt at give nogen entydig forklaring på udviklingen af den specielle relativitetsteori, men at det er et sammenspil af en lang række forskellige faktorer. Endvidere har projektet givet et indblik i noget af den forklaringsværdi, der ligger i hhv. videnskabshistorie og -teori. Hver for sig og tilsammen giver disse discipliner et værktøj til bedre at kunne forstå, hvordan den videnskabelige udvikling foregår både på det specifikke og det generelle plan.

Vi kunne måske probelmatisere det tidligere omtalte Lakatos-citat, om at en videnskabshistorie uden filosofi er blind, og videnskabsfilosofi uden videnskabshistorie er tom. En umiddelbar konsekvens af dette må jo være, at de to discipliner er ligestillede i værdi, som redskab til at erkende hvorledes videnskaben udvikles.

For at blande os i en klassisk diskussion om forholdet mellem videnskabshistorie og -teori, synes vi dog på baggrund af vores arbejde med dette projekt, at vi kan konkludere, at det gensidige afhængighedsforhold de to discipliner imellem ikke er helt lige stort. Videnskabshistorie kan bedre stå alene end videnskabsfilosofi. Et eksempel på en uteoretisk historiker er McCormach, der ikke bekender sig til en overordnet videnskabsfilosofi. Alligevel er han i stand til at præcentere en række meget vigtige historiske pointer til forståelse af denne specielle videnskabelige udviklingsproces. Omvendt mener vi ikke, at videnskabsteoretikerne kan opstille og forklare de generelle træk for den videnskabelige erkendelsesproces uden hensyntagen til den historiske udvikling.

Udviklingen af den specielle relativitetsteori er nok en af de mest almen kendte eksempler på en videnskabelig udviklingsproces. Samtidigt er den efter vores mening en af dem, der er omgæret med flest myter.

Myter om f.eks. geniets betydning, eksperimentets rolle, om den naturvidenskabelige metode og fremstillingen af videnskabens udvikling som en kumulativ proces. At den specielle relativitetsteori således har opnået en form for populærvidenskabelig status er ikke i sig selv at foragte, men da den derved kommer til at fremstå som et vægtigt eksempel til den almindelige forståelse af den måde videnskaben udvikles på, er det vigtigt at den samtidigt præcenteret på en rimelig nuanceret måde. De mytedannelser, der er opstået er mere eller mindre baseret på den positivistiske vidneskabsteori, hvilket ikke er så underligt, idet den i en lang periode har været (og måske stadig er) helt dominerende i den almindelige forståelse af videnskabens udvikling.

Vi vil nu vise, hvor udbredt den positivistiske forståelsesramme er, ved at give nogle lærebogseksempler på formidlingen af fremkomsten af den specielle relativitetsteori.

EKSEMPLER FRA GYMNASIE-LÆREBØGER:

Elvekjær &

Degn Nielsen.

Fysik for gymnasiet og HF. 3.

1983.

5. Den specielle relativitetsteori

Einstein publicerede den specielle relativitetsteori i 1905. Den løste på én gang en række teoretiske problemer, som alle havde mere eller mindre direkte at gøre med lysets natur. Desuden gav den en forklaring på en del forsøgsresultater, som man vidste var vigtige, men som endnu ikke havde fået en tilfredsstillende forklaring. I dette afsnit beskriver vi Michelson og Morleys forsøg fra 1887*).

Michelson og Morley ville måle jordens hastighed i forhold til »æteren«. Hvis man tænker sig, at »æteren« er i hvile i forhold til fixstjernerne, vil jorden i sin bevægelse rundt om solen bevæge sig i forhold til »æteren«. Hvis jorden på et tidspunkt har farten v i forhold til »æteren«, så vil lysets hastighed på jorden i jordens bevægelsesretning være $c - v$, mens hastigheden i den modsatte retning må være $c + v$. Specielt ser vi altså, at antagelsen om en »æter«, hvori lys bevæger sig med hastigheden c , fører til, at lyshastigheden på jorden har forskellige værdier i forskellige retninger. Forsøgets resultat er, at dette *ikke* er rigtigt. Det viser sig, at lysets hastighed har samme størrelse i alle retninger.

*) Einstein kendte tilsyneladende ikke dette forsøg i 1905. Først senere blev man klar over, at Einsteins teori forklarede resultatet af Michelson og Morleys forsøg.

Jørgensen, Nielsen og
Norbøll:
Mekanik 2 for gymnasiet.
1973.

32. Einsteins specielle relativitetsteori

I 1905 fremsatte *Albert Einstein* en mere omfattende teori til forklaring af Michelsons forsøgsresultat og andre afvigelser fra Newtons mekanik. Einstein antog i overensstemmelse med, hvad Michelsons forsøg viste, at

- 1) lysets hastighed var ens i alle retninger i et inertialsystem, uafhængig af lysgiverens bevægelse i forhold til iagttageren,
- 2) naturlovene har samme form i alle inertialsystemer.

EKSEMPLER PÅ UNIVERSITETS-LÆREBØGER:

Therefore the special principle of relativity, as formulated by Einstein, requires that the velocity of light be the same for all inertial observers.

Einstein's assumption was apparently motivated in part by the memorable series of experiments started around 1880 by Michelson and Morley, who measured the velocity of light in different directions to see how the motion of the earth affects the velocity of light. (We discussed their experiment in Example 6.7.) The results, as noted in Chapter 6, have always been negative and have indicated that *the velocity of light is independent of the motion of the observer.*

However, the velocity of an object is never the same for two observers in relative motion if their observations are related by a Galilean transformation. On the other hand, the velocity of light is the same to all inertial observers if their measurements are related by the Lorentz transformation, as discussed in Section 6.6. Therefore it seems apparent that to satisfy the new principle of relativity we must use the Lorentz transformation instead of the Galilean transformation.

Alonso & Finn: Fundamental university Physics. 1980.

Berkeley Physics Course
Mechanics.
1973.

The null result of the Michelson-Morley experiment to detect the drift of the earth through an ether and the other results discussed in Chap. 10 can only be understood by making a revolutionary change in our thinking; the new principle we need is simple and clear:

The speed of light is independent of the motion of the light source or receiver.

That is, the speed of light is the same in all reference frames in uniform motion with respect to the source. To this new assumption must be added our earlier assumption:

Space is isotropic and uniform. The fundamental laws of physics are identical for any two observers in uniform relative motion.

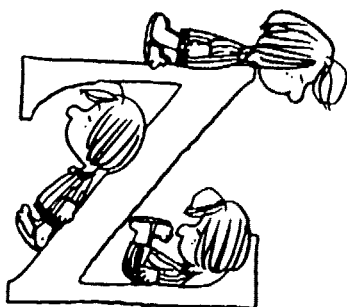
All the vast consequences of the special theory of relativity follow from these assumptions.

Det skal tilføjes, at alle lærebøgerne i tilknytning til disse citater udførligt gennemgår MM-eksperimentet. Denne opprioter- ing af MM-eksperimentet i forbindelse med beskrivelsen af den specielle relativitetsteori, giver et forvrænget billede af forsøgets betydning.

Generelt kan vi sige, at der er to fejlagtige træk, der mere eller mindre er tilstede i alle lærebogsbeskrivelserne:

- 1) Positiv konklusion på MM-eksperimentet, dva. at de fortolker forsøget som et bevis på at lyshastigheden er konstant i alle retninger.
- 2) I påstanden om, at Einsteins formål med den specielle relativitetsteori var at løse problemet med uoverensstemmelsen mellem teori og MM-eksperimentet.

Den årsagssammenhæng som begge disse konklusioner antyder, passer glimrende sammen med den hypotetisk deduktive opfattelse af videnskabsudviklingen, men på baggrund af dette projekt, vi alligevel konkludere at de er forkerte. Vi er tilbøjelige til at mene, at det næsten er bedre at undlade at inddrage videnskabsteori og -historie inatufagsundervisningen, end at give så ukritiske beskrivelser, som dem vi har præsenteret her. Det forsimplede positivistiske og personfikserede billede mange lærebøger giver af videnskaben og dens udvikling, virker hæmmende på en reel erkendelse af disse problemstillinger. Efter vores opfattelse er det vigtigt, at man i en almindannende naturvidenskabsundervisning får et indtryk af, hvad videnskaben fysik er for en "størrelse". Vi håber at dette projekt kan bidrage til, at aflive nogle af de fejlagtige myter omkring udviklingen af den specielle relativitetsteori, og vise nødvendigheden af videnskabshistorie og -teori til forståelse af fysikkens erkendelsesmæssige udvikling og betydning.



LITTERATURLISTE:

1. Alonso-Finn: Fundamental University Physics I, II
Addison-Wesley Publishing Company, USA 1967
2. Capek, Milic: The Concept of Space and Time
D. Reidel Publishing Company, Holland 1976
3. Enclopedia Brittanica: Philosophy of Science
Positivism and Logical Eipiricism
4. Feynmann
5. Goldberg, Stanley: The Lorentz theory of Electrons and Einsteins Theory of Relativity
American Journal of Physics, oktober 1969
6. Hirosige, Tetu: The Ether Problem, the Mechanistic Worldview, and the Origing of Relativity
Department of Physics, College of Science and Engineering, Nihon University, Tokyo, Japan
- Holton, Gerald: Thematic Origing of Scientific Thought
Harvard University Press, Cambridge 1973
 7. On the Origins of the Soecial Theory of Relativity
American Journal of Physics, 1960
 8. Poincare and Relativity
Melanges Alexandre Koyré, Paris 1964
 9. Influence on Einsteins Early Work
The American Scholar, 1967-8
 10. Mach, Einstein and the Search for Reality
Daedalus 1968
 11. Einstein, Michelson, and the "Crucial" Experiment
Isis, 1969
 12. On Trying to Understand Scientific Genius
The American Scholar, 1971-72

13. Jørgensen, Jørgen: Logikken og metodelæren

Munksgård, Kbh, 1962

14. Johanson, I og Kalleberg, R: Positivism, maxisme og kritisk teori

Kontrakurs, Stocholm 1972

Kragh, Helge: Bidrag til videnskabshistoriens teori

Akademisk forlag, Danmark 1982

15. Helge Kragh: Den problematiske dialektik mellem videnskabshistorie og -filosofi

16. Kurt Møller Pedersen: Træk af Lalatos' videnskabsfilosofi

17. Kragh, Helge og Stig Andur Pedersen: Natunvidenskabsfilosofi

NNF, Danmark 1981

18. Kragh, Helge:

19. Kuhn, Thomas S: Videnskabens Revolutioner

København 1973

Lakatos, Imre: The Methodology of Scientific Research Programmes

Cambridge University Press 1978

20. Falsification and the methodology of scientific research programmes (1970)

21. History of Science and its retional reconstruction (71)

22. Popper on demarcation and induction (70)

23. McCormach, Russell: Einstein, Lorentz and the Electron Theory

Department of History and Philosophy of Sciences, Penna 19104

24. Philosophy of Science

The World Publishing Company, 1960

The Principle of Relativity

Dover Publications, Inc 1952

25. Lorentz, H.A.: Electromagnetic Phenomena in a System Moving with any Velocity less than that of Light
Academy of Sciences, Amsterdam 1904
26. Einstein, A.: On the Electrodynamics of Moving Bodies
Annalen der Physik 1905

27. Schaffner, Kenneth F.: Space and Time in Lorentz, Poincare, and Einstein. Divergent Approaches to the Discovery and Development of the Special Theory of Relativity

28. Whittaker, Edmund: A History of the Theories of Aether and Electricity

I. From the Age of Descartes to the Close of the Nineteenth Century

Longmans, Green & Co., London 1910

II. A History of the Theories of Aether and Electricity: The Classical Theories

Nelson & Sons, London 1951

29. Zahar, Elie: Mach, Einstein and the Rise of Modern Science
Brit.J.Phil.sci. 28 (1977)

30 Zahar, Elie: Why did Einsteins Programme Supersede Lorentz's
Brit.J.Phil.Sci. 24 (1973)

- 1/78 "TANKER OM EN PRAKSIS" - et matematikprojekt.
 Projekt rapport af: Anne Jensen, Lena Lindenskov, Marianne Kesselhahn og Nicolai Lomholt.
 Vejleder: Anders Madsen
- 2/78 "OPTIMERING" - Menneskets forøgede beherskelsesmuligheder af natur og samfund.
 Projekt rapport af: Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen, Gert Krenøe og Peter H. Lassen
 Vejleder: Bernhelm Boss.
- 3/78 "OPCAVESAMLING", breddekursus i fysik.
 Af: Lasse Rasmussen, Aage Bonde Kræmmer og Jens Højgaard Jensen.
- 4/78 "TRE ESSAYS" - om matematikundervisning, matematiklæreruddannelsen og videnskabsrindalismen.
 Af: Mogens Niss
 Nr. 4 er p.t. udgået.
- 5/78 "BIBLIOGRAFISK VEJLEDNING til studiet af DEN MODERNE FYSIKS HISTORIE".
 Af: Helge Kragh.
 Nr. 5 er p.t. udgået.
- 6/78 "NOGLE ARTIKLER OG DEBATINDLÆG OM - læreruddannelse og undervisning i fysik, og - de naturvidenskabelige fags situation efter studenteroprøret".
 Af: Karin Beyer, Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.
- 7/78 "MATEMATIKKENS FORHOLD TIL SAMFUNDSØKONOMIEN".
 Af: B.V. Gnedenko.
 Nr. 7 er udgået.
- 8/78 "DYNAMIK OG DIAGRAMMER". Introduktion til energy-bond-graph formalismen.
 Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 9/78 "OM PRAKSIS' INDFLYDELSE PÅ MATEMATIKKENS UDVIKLING". - Motiver til Kepler's: "Nova Stereometria Doliorum Vinariorum".
 Projekt rapport af: Lasse Rasmussen
 Vejleder: Anders Madsen
-
- 10/79 "TERMODYNAMIK I GYMNASIET".
 Projekt rapport af: Jan Christensen og Jeanne Mortensen
 Vejledere: Karin Beyer og Peder Voetmann Christiansen.
- 11/79 "STATISTISKE MATERIALER".
 Af: Jørgen Larsen
- 12/79 "LINEÆRE DIFFERENTIALLIGNINGER OG DIFFERENTIALLIGNINGSSYSTEMER".
 Af: Mogens Brun Heefelt
 Nr. 12 er udgået.
- 13/79 "CAVENDISH'S FORSØG I GYMNASIET".
 Projekt rapport af: Gert Kreinøe.
 Vejleder: Albert Chr. Paulsen
- 14/79 "BOOKS ABOUT MATHEMATICS: History, Philosophy, Education, Models, System Theory, and Works af".
 Af: Else Høyrup.
 Nr. 14 er p.t. udgået.
- 15/79 "STRUKTUREL STABILITET OG KATESTROFER i systemer i og udenfor termodynamisk ligevægt".
 Specialeopgave af: Leif S. Striegler.
 Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.
- 16/79 "STATISTIK I KRÆFTFORSKNINGEN".
 Projekt rapport af: Michael Olsen og Jørn Jensen
 Vejleder: Jørgen Larsen
- 17/79 "AT SPØRGE OG AT SVARE i fysikundervisningen".
 Af: Albert Christian Paulsen
- 18/79 "MATHEMATICS AND THE REAL WORLD", Proceedings af an International Workshop, Roskilde University Centre, Denmark, 1978.
 Preprint.
 Af: Bernhelm Booss og Mogens Niss (eds.)
- 19/79 "GEOMETRI, SKOLE OG VIRKELIGHED".
 Projekt rapport af: Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen og Per H.H. Larsen.
 Vejleder: Mogens Niss.
- 20/79 "STATISTISKE MODELLER TIL BESTEMMELSE AF SIKRE DOSER FOR CARCINOGENE STOFFER".
 Projekt rapport af: Michael Olsen og Jørn Jensen.
 Vejleder: Jørgen Larsen
- 21/79 "KONTROL I GYMNASIET-FORMAL OG KONSEKVENSER".
 Projekt rapport af: Crilles Bacher, Per S.Jensen, Preben Jensen og Torben Nysteen.
- 22/79 "SEMIOTIK OG SYSTEMEGENSKABER (1)".
 1-port lineært response og støj i fysikken.
 Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 23/79 "ON THE HISTORY AF EARLY WAVE MECHANICS - with special emphasis on the role af reality".
 Af: Helge Kragh.
-
- 24/80 "MATEMATIKOPFATTELSE HOS 2.C'ERE".
 a+b 1. En analyse. 2. Interviewmateriale.
 Projekt rapport af: Jan Christensen og Knud Lindhardt Rasmussen.
 Vejleder: Mogens Niss.
- 25/80 "EKSAMENSOPGAVER", Dybdemodulet/fysik 1974-79.
- 26/80 "OM MATEMATISKE MODELLER".
 En projekt rapport og to artikler.
 Af: Jens Højgaard Jensen m.fl.
- 27/80 "METHODOLOGY AND PHILOSOPHY AF SCIENCE IN PAUL DIRAC'S PHYSICS".
 Af: Helge Kragh.
- 28/80 "DILEMTRISK RELAXATION - et forslag til en ny model bygget på væskernes viscoelastiske egenskaber".
 Projekt rapport af: Gert Kreinøe.
 Vejleder: Niels Boye Olsen.
- 29/80 "ODIN - undervisningsmateriale til et kursus i differentiaalligningsmodeller".
 Projekt rapport af: Tommy R. Andersen, Per H.H. Larsen og Peter H. Lassen.
 Vejleder: Mogens Brun Heefelt.
- 30/80 "FUSIONSENERGIEN - - - ATOMSAMFUNDETS ENDESTATION".
 Af: Oluf Danielsen.
 Nr. 30 er udgået.
- 31/80 "VIDENSKABSTEORETISKE PROBLEMER VED UNDERVISNINGSSYSTEMER BASERET PÅ MØNGDELÆRE".
 Projekt rapport af: Troels Lange og Jørgen Karrebæk.
 Vejleder: Stig Andur Pedersen.
 Nr. 31 er p.t. udgået.
- 32/80 "POLYMERE STOFFERS VISCOELASTISKE EGENSKABER - BELYST VED HJÆLP AF MEKANISKE IMPEDANSMÅLINGER MØSSBAUEREFFEKT MÅLINGER".
 Projekt rapport af: Crilles Bacher og Preben Jensen.
 Vejledere: Niels Boye Olsen og Peder Voetmann Christiansen.
- 33/80 "KONSTITUERING AF FAG INDEN FOR TEKNISK - NATURVIDENSKABELIGE UDDANNELSER. I-II".
 Af: Arne Jakobsen.
- 34/80 "ENVIRONMENTAL IMPACT AF WIND ENERGY UTILIZATION".
 ENERGY SERIES NO. I.
 Af: Bent Sørensen
 Nr. 34 er udgået.

- 1/78 "TANKER OM EN PRAKSIS" - et matematikprojekt.
Projektrapport af: Anne Jensen, Lena Lindenskov, Marianne Kesselhahn og Nicolai Lomholt.
Vejleder: Anders Madsen
- 2/78 "OPTIMERING" - Menneskets forøgede beherskelsermuligheder af natur og samfund.
Projektrapport af: Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen, Gert Krenøe og Peter H. Lassen
Vejleder: Bernhelm Boss.
- 3/78 "OPCAVESAMLING", breddekursus i fysik.
Af: Lasse Rasmussen, Aage Bonde Kræmmer og Jens Højgaard Jensen.
- 4/78 "TRE ESSAYS" - om matematikundervisning, matematiklæreruddannelsen og videnskabsrindalismen.
Af: Mogens Niss
Nr. 4 er p.t. udgået.
- 5/78 "BIBLIOGRAFISK VEJLEDNING til studiet af DEN MODERNE FYSIKS HISTORIE".
Af: Helge Kragh.
Nr. 5 er p.t. udgået.
- 6/78 "NOGLE ARTIKLER OG DEBATINDLÆG OM - læreruddannelse og undervisning i fysik, og - de naturvidenskabelige fags situation efter studenteroprøret".
Af: Karin Beyer, Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.
- 7/78 "MATEMATIKKENS FORHOLD TIL SAMFUNDSØKONOMIEN".
Af: B.V. Gnedenko.
Nr. 7 er udgået.
- 8/78 "DYNAMIK OG DIAGRAMMER". Introduktion til energy-bond-graph formalismen.
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 9/78 "OM PRAKSIS' INDFLYDELSE PÅ MATEMATIKKENS UDVIKLING". - Motiver til Kepler's: "Nova Stereometria Doliorum Vinariorum".
Projektrapport af: Lasse Rasmussen.
Vejleder: Anders Madsen.
-
- 10/79 "TERMODYNAMIK I GYMNASIET".
Projektrapport af: Jan Christensen og Jeanne Mortensen.
Vejledere: Karin Beyer og Peder Voetmann Christiansen.
- 11/79 "STATISTISKE MATERIALER".
Af: Jørgen Larsen.
- 12/79 "LINEÆRE DIFFERENTIALLIGNINGER OG DIFFERENTIALLIGNINGSSYSTEMER".
Af: Mogens Brun Heefelt.
Nr. 12 er udgået.
- 13/79 "CAVENDISH'S FORSØG I GYMNASIET".
Projektrapport af: Gert Kreinøe.
Vejleder: Albert Chr. Paulsen.
- 14/79 "BOOKS ABOUT MATHEMATICS: History, Philosophy, Education, Models, System Theory, and Works of".
Af: Else Høyrup.
Nr. 14 er p.t. udgået.
- 15/79 "STRUKTUREL STABILITET OG KATASTROFER i systemer i og udenfor termodynamisk ligevægt".
Specialeopgave af: Leif S. Striegler.
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.
- 16/79 "STATISTIK I KRÆFTFORSKNINGEN".
Projektrapport af: Michael Olsen og Jørn Jensen.
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 17/79 "AT SPØRGE OG AT SVARE i fysikundervisningen".
Af: Albert Christian Paulsen.
- 18/79 "MATHEMATICS AND THE REAL WORLD", Proceedings of an International Workshop, Roskilde University Centre, Denmark, 1978. Preprint.
Af: Bernhelm Booss og Mogens Niss (eds.)
- 19/79 "GEOMETRI, SKOLE OG VIRKELIGHED".
Projektrapport af: Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen og Per H.H. Larsen.
Vejleder: Mogens Niss.
- 20/79 "STATISTISKE MODELLER TIL BESTEMMELSE AF SIKRE DOSER FOR CARCINOGENE STOFFER".
Projektrapport af: Michael Olsen og Jørn Jensen.
Vejleder: Jørgen Larsen
- 21/79 "KONTROL I GYMNASIET-FORMAL OG KONSEKVENSER".
Projektrapport af: Crilles Bacher, Per S.Jensen, Preben Jensen og Torben Nysteen.
- 22/79 "SEMIOTIK OG SYSTEMEGENSKABER (1)".
I-port lineært response og støj i fysikken.
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 23/79 "ON THE HISTORY OF EARLY WAVE MECHANICS - with special emphasis on the role of reality".
Af: Helge Kragh.
-
- 24/80 "MATEMATIKOPFATTELSE HOS 2.G'ERE".
a+b 1. En analyse. 2. Interviewmateriale.
Projektrapport af: Jan Christensen og Knud Lindhardt Rasmussen.
Vejleder: Mogens Niss.
- 25/80 "EKSAMENSOPGAVER", Dybdemodulet/fysik 1974-79.
- 26/80 "OM MATEMATISKE MODELLER".
En projektrapport og to artikler.
Af: Jens Højgaard Jensen m.fl.
- 27/80 "METHODOLOGY AND PHILOSOPHY OF SCIENCE IN PAUL DIRAC'S PHYSICS".
Af: Helge Kragh.
- 28/80 "DIELEKTRISK RELAXATION - et forslag til en ny model bygget på væskernes viscoelastiske egenskaber".
Projektrapport af: Gert Kreinøe.
Vejleder: Niels Boye Olsen.
- 29/80 "ODIN - undervisningsmateriale til et kursus i differentiaalligningsmodeller".
Projektrapport af: Tommy R. Andersen, Per H.H. Larsen og Peter H. Lassen.
Vejleder: Mogens Brun Heefelt.
- 30/80 "FUSIONSENERGIEN - - - ATOMSAMFUNDETS ENDESTATION".
Af: Oluf Danielsen.
Nr. 30 er udgået.
- 31/80 "VIDENSKABSTEORETISKE PROBLEMER VED UNDERVISNINGSSYSTEMER BASERET PÅ MÆNGDELÆRE".
Projektrapport af: Troels Lange og Jørgen Karrebæk.
Vejleder: Stig Andur Pedersen.
Nr. 31 er p.t. udgået.
- 32/80 "POLYMERE STOFFERS VISCOELASTISKE EGENSKABER - BELYST VED HJÆLP AF MEKANISKE IMPEDANSMÅLINGER - OG MOSSBAUEREFFEKT MÅLINGER".
Projektrapport af: Crilles Bacher og Preben Jensen.
Vejledere: Niels Boye Olsen og Peder Voetmann Christiansen.
- 33/80 "KONSTITUERING AF FAG INDEN FOR TEKNISK - NATURVIDENSKABELIGE UDDANNELSER. I-II".
Af: Arne Jakobsen.
- 34/80 "ENVIRONMENTAL IMPACT OF WIND ENERGY UTILIZATION".
ENERGY SERIES NO. I.
Af: Bent Sørensen
Nr. 34 er udgået.

- 35/80 "HISTORISKE STUDIER I DEN NYERE ATOMFYSIKS UDVIKLING".
Af: Helge Kragh.
- 36/80 "HVAD ER MENINGEN MED MATEMATIKUNDERVISNINGEN?".
Fire artikler.
Af: Mogens Niss.
- 37/80 "RENEWABLE ENERGY AND ENERGY STORAGE".
ENERGY SERIES NO. 2.
Af: Bent Sørensen.
-
- 38/81 "TIL EN HISTORIETBORI OM NATURERKENDELSE, TEKNOLOGI OG SAMFUND".
Projektrapport af: Erik Gade, Hans Hedal, Henrik Lau og Finn Physant.
Vejledere: Stig Andur Pedersen, Helge Kragh og Ib Thiersen.
Nr. 38 er p.t. udgået.
- 39/81 "TIL KRITIKKEN AF VÆKSTØKONOMIEN".
Af: Jens Højgaard Jensen.
- 40/81 "TELEKOMMUNIKATION I DANMARK - oplæg til en teknologivurdering".
Projektrapport af: Arne Jørgensen, Bruno Petersen og Jan Vedde.
Vejleder: Per Nørgaard.
- 41/81 "PLANNING AND POLICY CONSIDERATIONS RELATED TO THE INTRODUCTION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO ENERGY SUPPLY SYSTEMS".
ENERGY SERIES NO. 3.
Af: Bent Sørensen.
- 42/81 "VIDENSKAB TEORI SAMFUND - En introduktion til materialistiske videnskabsopfattelser".
Af: Helge Kragh og Stig Andur Pedersen.
- 43/81 1. "COMPARATIVE RISK ASSESSMENT OF TOTAL ENERGY SYSTEMS".
2. "ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF DECENTRALIZATION".
ENERGY SERIES NO. 4.
Af: Bent Sørensen.
- 44/81 "HISTORISKE UNDERSØGELSER AF DE EKSPERIMENTELLE FORUDSÆTNINGER FOR RUTHERFORDS ATOMMODEL".
Projektrapport af: Niels Thor Nielsen.
Vejleder: Bent C. Jørgensen.
-
- 45/82 Er aldrig udkommet.
- 46/82 "EKSEMPLARISK UNDERVISNING OG FYSISK ERKENDELSE-1+1 ILLUSTRERET VED TO EKSEMPLER".
Projektrapport af: Torben O. Olsen, Lasse Rasmussen og Niels Dreyer Sørensen.
Vejleder: Bent C. Jørgensen.
- 47/82 "BARSEBÄCK OG DET VÆRST OFFICIELT-TÆNKELIGE UHELD".
ENERGY SERIES NO. 5.
Af: Bent Sørensen.
- 48/82 "EN UNDERSØGELSE AF MATEMATIKUNDERVISNINGEN PÅ ADGANGSKURSUS TIL KØBENHAVNS TEKNIKUM".
Projektrapport af: Lis Eilertzen, Jørgen Karrebæk, Troels Lange, Preben Nørregaard, Lissi Pedersen, Laust Rishøj, Lill Røn og Isac Showiki.
Vejleder: Mogens Niss.
- 49/82 "ANALYSE AF MULTISPEKTRALE SATELLITBILLEDER".
Projektrapport af: Preben Nørregaard.
Vejledere: Jørgen Larsen og Rasmus Ole Rasmussen.
- 50/82 "HERSLEV - MULIGHEDER FOR VEDVARENDE ENERGI I EN LANDSBY".
ENERGY SERIES NO. 6.
Rapport af: Bent Christensen, Bent Hove Jensen, Dennis B. Møller, Bjarne Laursen, Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen.
Vejleder: Bent Sørensen.
- 51/82 "HVAD KAN DER GØRES FOR AT AFHJÆLPE PIGERS BLOKERING OVERFOR MATEMATIK?".
Projektrapport af: Lis Eilertzen, Lissi Pedersen, Lill Røn og Susanne Stender.
- 52/82 "DESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS".
Af: Bernhelm Booss og Krzysztof Wojciechowski.
- 53/82 "THE CONSTITUTION OF SUBJECTS IN ENGINEERING EDUCATION".
Af: Arne Jacobsen og Stig Andur Pedersen.
- 54/82 "FUTURES RESEARCH" - A Philosophical Analysis of Its Subject-Matter and Methods.
Af: Stig Andur Pedersen og Johannes Witt-Hansen.
- 55/82 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde Universitetsbibliotek.
En biografi.
Af: Else Høytrup.
Vedr. tekst nr. 55/82 se også tekst nr. 62/83.
- 56/82 "EN - TO - MANGE" -
En undersøgelse af matematisk økologi.
Projektrapport af: Troels Lange.
Vejleder: Anders Madsen.
-
- 57/83 "ASPECT EKSPERIMENTET"-
Skjulte variable i kvantemekanikken?
Projektrapport af: Tom Juul Andersen.
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.
Nr. 57 er udgået.
- 58/83 "MATEMATISKE VANDRINGER" - Modelbetragtninger over spredning af dyr mellem småbiotoper i agerlandet.
Projektrapport af: Per Hammershøj Jensen og Lene Vagn Rasmussen.
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 59/83 "THE METHODOLOGY OF ENERGY PLANNING".
ENERGY SERIES NO. 7.
Af: Bent Sørensen.
- 60/83 "MATEMATISK MODEKSPERTISE"- et eksempel.
Projektrapport af: Erik O. Gade, Jørgen Karrebæk og Preben Nørregaard.
Vejleder: Anders Madsen.
- 61/83 "FYSIKS IDEOLOGISKE FUNKTION, SOM ET EKSEMPEL PÅ EN NATURVIDENSKAB - HISTORISK SET".
Projektrapport af: Annette Post Nielsen.
Vejledere: Jens Høytrup, Jens Højgaard Jensen og Jørgen Vogelius.
- 62/83 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde Universitetsbibliotek.
En biografi 2. rev. udgave.
Af: Else Høytrup.
- 63/83 "CREATING ENERGY FUTURES: A SHORT GUIDE TO ENERGY PLANNING".
ENERGY SERIES No. 8.
Af: David Crossley og Bent Sørensen.
- 64/83 "VON MATEMATIK UND KRIEG".
Af: Bernhelm Booss og Jens Høytrup.
- 65/83 "ANVENDT MATEMATIK - TEORI ELLER PRAKSIS".
Projektrapport af: Per Hedegård Andersen, Kirsten Habekost, Carsten Holst-Jensen, Annelise von Moos, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.
Vejledere: Bernhelm Booss og Klaus Grünbaum.
- 66/83 "MATEMATISKE MODELLER FOR PERIODISK SELEKTION I ESCHERICHIA COLI".
Projektrapport af: Hanne Lisbet Andersen, Ole Richard Jensen og Klavs Frisdahl.
Vejledere: Jørgen Larsen og Anders Hede Madsen.
- 67/83 "ELEPSOIDE METODEN - EN NY METODE TIL LINEÆR PROGRAMMERING?".
Projektrapport af: Lone Billmann og Lars Boye.
Vejleder: Mogens Brun Heefelt.
- 68/83 "STOKASTISKE MODELLER I POPULATIONSGENETIK" - til kritikken af teoriladede modeller.
Projektrapport af: Lise Odgård Gade, Susanne Hansen, Michael Hviid og Frank Mølgård Olsen.
Vejleder: Jørgen Larsen.

- 69/83 "ELEVFORUDSÆTNINGER I FYSIK"
- en test i l.g med kommentarer.
Af: Albert C. Paulsen.
- 70/83 "INDLÆRINGS - OG FORMIDLINGSPROBLEMER I MATEMATIK PÅ VOKSENUNDERVISNINGSNIVEAU".
Projektrapport af: Hanne Lisbet Andersen, Torben J. Andreasen, Svend Åge Houmann, Helle Glenrup Jensen, Keld Fl. Nielsen, Lene Vagn Rasmussen.
Vejleder: Klaus Grünbaum og Anders Hede Madsen.
- 71/83 "PIGER OG FYSIK"
- et problem og en udfordring for skolen?
Af: Karin Beyer, Sussanne Blegaa, Birthe Olsen, Jette Reich og Mette Vedelsby.
- 72/83 "VERDEN IFØLGE PEIRCE" - to metafysiske essays, om og af C.S Peirce.
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 73/83 ""EN ENERGIANALYSE AF LÅNDRUG"
- økologisk contra traditionelt.
ENERGY SERIES NO. 9
Specialeopgave i fysik af: Bent Høve Jensen.
Vejleder: Bent Sørensen.
-
- 74/84 "MINIATURISERING AF MIKROELEKTRONIK" - om videnskabeliggjort teknologi og nytten af at lære fysik.
Projektrapport af: Bodil Harder og Linda Szkotak Jensen.
Vejledere: Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.
- 75/84 "MATEMATIKUNDERVISNINGEN I FREMTIDENS GYMNASIUM"
- Case: Lineær programmering.
Projektrapport af: Morten Blomhøj, Klavs Frisdahl og Frank Mølgaard Olsen.
Vejledere: Mogens Brun Hæfeldt og Jens Bjørneboe.
- 76/84 "KERNEKRAFT I DANMARK?" - Et høringssvar indkaldt af miljøministeriet, med kritik af miljøstyrelsens rapporter af 15. marts 1984.
ENERGY SERIES No. 10
Af: Niels Boye Olsen og Bent Sørensen.
- 77/84 "POLITISKE INDEKS - EUP ELLER FAKTA?"
Opinionsundersøgelser belyst ved statistiske modeller.
Projektrapport af: Svend Åge Houmann, Keld Nielsen og Susanne Stender.
Vejledere: Jørgen Larsen og Jens Bjørneboe.
- 78/84 "JÆVNSTRØMSLEDNINGSEVNE OG GITTERSTRUKTUR I AMORFT GERMANIUM".
Specialrapport af: Hans Hedal, Frank C. Ludvigsen og Finn C. Physant.
Vejleder: Niels Boye Olsen.
- 79/84 "MATEMATIK OG ALMENDANDELSE".
Projektrapport af: Mikael Costers, Mikael Wenneberg Johansen, Povl Kattler, Birgitte Picholm og Morten Overgaard Nielsen.
Vejleder: Bernhelm Booss.
- 80/84 "KURSUSMATERIALE TIL MATEMATIK B"
Af: Mogens Brun Hæfeldt.
- 81/84 "FREKVENSafhængig Ledningsevne i AMORFT GERMANIUM".
Specialrapport af: Jørgen Wind og Jan Christensen.
Vejleder: Niels Boye Olsen.
- 82/84 "MATEMATIK - OG FYSIKUNDERVISNINGEN I DET AUTO - MATISEREDE SAMFUND"
Rapport fra et seminar afholdt i København d. 25-27 april 1983.
Red.: Jens Højgaard Jensen, Bent Sørensen og Mogens Niss.
- 83/84 "ON THE QUANTIFICATION OF SECURITY":
PEACE RESEARCH SERIES NO. 1
Af: Bent Sørensen
nr. 83 er p.t. udgået
- 84/84 "NOGLE ARTIKLER OM MATEMATIK, FYSIK OG ALMENDANDELSE".
Af: Jens Højgaard Jensen, Mogens Niss m. fl.
- 85/84 "CENTRIFUGALREGULATORER OG MATEMATIK".
Specialrapport af: Per Hedegård Andersen, Carsten Holst-Jensen, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.
Vejleder: Stig Andur Pedersen.
- 86/84 "SECURITY IMPLICATIONS OF ALTERNATIVE DEFENSE OPTIONS FOR WESTERN EUROPE".
PEACE RESEARCH SERIES NO. 2
Af: Bent Sørensen.
- 87/84 "A SIMPLE MODEL OF AC HOPPING CONDUCTIVITY IN DISORDERED SOLIDS".
Af: Jeppe C. Dyre.
- 88/84 "RISE, FALL AND RESURRECTION OF INFINITESIMALS".
Af: Detlef Laugwitz.
- 89/84 "FJERNVARMEOPTIMERING".
Af: Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen.
- 90/84 "ENERGI I L.G - EN TEORI FOR TILRETTELÆGGELSE".
Af: Albert Chr. Paulsen.
-
- 91/85 "KVANTETEORI FOR GYMNASIET".
1. Lærervejledning
Projektrapport af: Biger Lundgren, Henning Sten Hansen og John Johansson.
Vejleder: Torsten Meyer.
- 92/85 "KVANTETEORI FOR GYMNASIET".
2. Materiale
Projektrapport af: Biger Lundgren, Henning Sten Hansen og John Johansson.
Vejleder: Torsten Meyer.
- 93/85 "THE SEMIOTICS OF QUANTUM - NON - LOCALITY".
Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 94/85 "TREENIGHEDEN BOURBAKI - generalen, matematikeren og ånden".
Projektrapport af: Morten Blomhøj, Klavs Frisdahl og Frank M. Olsen.
Vejleder: Mogens Niss.
- 95/85 "AN ALTERNATIV DEFENSE PLAN FOR WESTERN EUROPE".
PEACE RESEARCH SERIES NO. 3
Af: Bent Sørensen
- 96/85 "ASPEKTER VED KRAFTVARMEFORSYNING".
Af: Bjarne Lillethorup.
Vejleder: Bent Sørensen.
- 97/85 "ON THE PHYSICS OF A.C. HOPPING CONDUCTIVITY".
Af: Jeppe C. Dyre.
- 98/85 "VALGMULIGHEDER I INFORMATIONALDEREN".
Af: Bent Sørensen.
- 99/85 "Der er langt fra Q til R".
Projektrapport af: Niels Jørgensen og Mikael Klintorp.
Vejleder: Stig Andur Pedersen.
- 100/85 "TALSYSTEMETS OPBYGNING".
Af: Mogens Niss.
- 101/85 "EXTENDED MOMENTUM THEORY FOR WINDMILLS IN PERTURBATIVE FORM".
Af: Ganesh Sengupta.
- 102/85 OPSTILLING OG ANALYSE AF MATEMATISKE MODELLER, BELYST VED MODELLER OVER KØRS FODEROPTAGELSE OG - OMSETNING".
Projektrapport af: Lis Ellertzen, Kirsten Habekost, Lill Røn og Susanne Stender.
Vejleder: Klaus Grünbaum.

- 103/85 "ØDSLE KOLDKRIGERE OG VIDENSKABENS LYSE IDEER".
 Projekt rapport af: Niels Ole Dam og Kurt Jensen.
 Vejleder: Bent Sørensen.
- 104/85 "ANALOGREGNEMASKINEN OG LORENZLIGNINGER".
 Af: Jens Jøger.
- 105/85 "THE FREQUENCY DEPENDENCE OF THE SPECIFIC HEAT OF THE GLASS REANSITION".
 Af: Tage Christensen.
 "A SIMPLE MODEL OF AC HOPPING CONDUCTIVITY".
 Af: Jeppe C. Dyre.
 Contributions to the Third International Conference on the Structure of Non - Crystalline Materials held in Grenoble July 1985.
- 106/85 "QUANTUM THEORY OF EXTENDED PARTICLES".
 Af: Bent Sørensen.
- 107/85 "EN MYG GØR INGEN EPIDEMI".
 - flodblindhed som eksempel på matematisk modellering af et epidemiologisk problem.
 Projekt rapport af: Per Hedegård Andersen, Lars Boye, Carsten Holst Jensen, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.
 Vejleder: Jesper Larsen.
- 108/85 "APPLICATIONS AND MODELLING IN THE MATHEMATICS CURRICULUM" - state and trends -
 Af: Mogens Niss.
- 109/85 "COX I STUDIETIDEN" - Cox's regressionsmodel anvendt på studenteroplysninger fra RUC.
 Projekt rapport af: Mikael Wennerberg Johansen, Poul Kattler og Torben J. Andreassen.
 Vejleder: Jørgen Larsen.
- 110/85 "PLANNING FOR SECURITY".
 Af: Bent Sørensen
- 111/85 "JORDEN RUNDT PÅ FLADE KORT".
 Projekt rapport af: Birgit Andresen, Beatriz Quinones og Jimmy Staal.
 Vejleder: Mogens Niss.
- 112/85 "VIDENSKABELIGGØRELSE AF DANSK TEKNOLOGISK INNOVATION FREM TIL 1950 - BELYST VED EKSEMPLER".
 Projekt rapport af: Erik Odgaard Gade, Hans Hedal, Frank C. Ludvigsen, Annette Post Nielsen og Finn Physant.
 Vejleder: Claus Bryld og Bent C. Jørgensen.
- 113/85 "DESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS 11".
 Af: Bernhelm Booss og Krzysztof Wojciechowski.
- 114/85 "ANVENDELSE AF GRAFISKE METODER TIL ANALYSE AF KONTIGENSTABELLER".
 Projekt rapport af: Lone Billmann, Ole R. Jensen og Arne-Lise von Moos.
 Vejleder: Jørgen Larsen.
- 115/85 "MATEMATIKKENS UDVIKLING OP TIL RENESSANCEN".
 Af: Mogens Niss.
- 116/85 "A PHENOMENOLOGICAL MODEL FOR THE MEYER-NELDEL RULE".
 Af: Jeppe C. Dyre.
- 117/85 "KRAFT & FJERNVARMEOPTIMERING".
 Af: Jacob Mørch Pedersen.
 Vejleder: Bent Sørensen
- 118/85 "TILFÆLDIGHEDEN OG NØDVENDIGHEDEN IFØLGE PEIRCE OG FYSIKKEN".
 Af: Peder Voetmann Christiansen
-
- 119/86 "DET ER GANSKE VIST - - EUKLIDS FEMTE POSTULAT KUNNE NOK SKABE RØRE I ANDEDAMMEN".
 Af: Iben Maj Christiansen
 Vejleder: Mogens Niss.
- 120/86 "ET ANTAL STATISTISKE STANDARDMODELLER".
 Af: Jørgen Larsen
- 121/86 "SIMULATION I KONTINUERT TID".
 Af: Peder Voetmann Christiansen.
- 122/86 "ON THE MECHANISM OF GLASS IONIC CONDUCTIVITY".
 Af: Jeppe C. Dyre.
- 123/86 "GYMNASIEFYSIKKEN OG DEN STORE VERDEN".
 Fysiklærerforeningen, IMFUFA, RUC.
- 124/86 "OPGAVESAMLING I MATEMATIK".
 Samtlige opgaver stillet i tiden 1974-jan. 1986.
- 125/86 "UVBY, 8 - systemet - en effektiv fotometrisk spektral-klassifikation af B-, A- og F-stjerner".
 Projekt rapport af: Birger Lundgren.