

nem udviklingen af nye redskaber til identificering af fænomenerne. Og ved på den anden side, som en følge af dette, at præcisere teorien om de egenskaber, man opdager i tingene. Det, som oftest skete i forbindelse med de store videnskabelige omvæltninger, var, at man ved nøjagtigere observation ud fra den opfattelse af det teoretiske perspektiv, man havde, blev tvunget til at udvikle transformationsformler vedrørende dette perspektiv, som i praksis indebar en yderligere almengørelse af det. Dvs. man opdagede, hvordan nogle af de begreber, som indgik i teorien, var dannet ved operationer, som ikke kunne foretages fra et i princippet hvilket som helst perspektiv.

Denne almengørelse indebar almindeligvis også, at tidligere teorier kunne begrundes som korrekte afbildninger af særtilfælde, hvor den nye teori redegør for de almene principper.

Et illustrativt eksempel på en sådan 'omvæltning' inden for naturvidenskaben er fremsættelsen af den specielle relativitetsteori, der i overensstemmelse med, hvad der er sagt om tidligere formuleringer som specialtilfælde af nye, må anskues ikke som en dementering, men snarere en perfektionering og afrunding af den klassiske fysik.

Før fremsættelsen af den specielle relativitetsteori opererede man med den såkaldte Galilei-transformation, hvorefter man kunne 'oversætte' begivenheders tid og sted i et jævnt bevæget koordinatsystem til deres tid og sted i ethvert andet jævnt bevæget koordinatsystem (såkaldt inifialsystem).

er Tidspunktet i de to systemer var altid det samme, og forskellen mellem stedsmålene fremgik ved simpelthen at beregne koordinatsystemernes indbyrdes position på det givne tidspunkt (ud fra deres indbyrdes position på et givet starttidspunkt plus, hvor langt de var 'kørt' i mellemtiden). Galilei-transformationen svarer til vores dagligdags opfattelse af genstandes indbyrdes bevægelser, og af tidsmålin-

gens uafhængighed af sted og bevægelse. Og det i så høj grad, at den næppe engang kan betragtes som et eksplicit teorielement i den før-relativistiske fysik.

En konsekvens af anvendelsen af Galilei-transformationen var, at hvis en lov inden for den mekaniske fysik blev fundet gyldig i et initialsystem, fulgte det med nødvendighed, at den var gyldig i alle initialsystemer. Intet initialsystem udmærkede sig frem for andre i forhold til de mekaniske love, der gjaldt i det.

En anden konsekvens af Galilei-transformationen var, at for elektromagnetiske fænomener som f.eks. lysets udbredelse, gjaldt det samme ikke. Der kunne f.eks. højst eksistere ét initialsystem (den såkaldte æter) – for hvilket det gjaldt, at lysets udbredeshastighed var den samme i alle retninger.

Forsøg viste imidlertid, at lysets hastighed var den samme i alle initialsystemer og den samme i alle retninger. Denne kendsgerning kunne kun forenes med Galilei-transformationen, hvis man samtidig indførte nogle nye love for påvirkninger af målestokke og ure, der ikke var udformet ens i alle initialsystemer, og som i deres konsekvens modsagde de mekaniske loves universelle gyldighed.

Det var derfor erkendelsen af, at såvel de mekaniske som de elektromagnetiske som i det hele taget alle naturlove var universelt gyldige, dvs. ens gyldige i ethvert initialsystem (og altså netop ikke relativt gyldige i forhold til et specielt system), der fremtvang den revision af Galilei-transformationen, der er kernen i den specielle relativitetsteori.

Det er endvidere interessant at bemærke, at denne revision, der ledte frem til den såkaldte Lorentz-transformation, ikke forudsætter specielle empiriske fund med hensyn til udformningen af nogen enkelt lovmæssighed, men alene kan udledes ved ren deduktion (der forudsættes stort set ikke mere matematik heller end Pythagoras' lære-

sætning) af de almene krav om, at naturlovene skal være *universelt* gyldige, og at den fundne transformation i det grænsetilfælde, der svarer til vores dagligdags erfaringer med små indbyrdes hastigheder skal konvergere imod den Galilei-transformation, som vi i forvejen ved med stor præcision gælder for disse erfaringer (*korrespondensprincippet*). Den videre udformning af relativitetsteorien følger nu igen ved ren deduktiv udledning ud fra de i forvejen kendte naturlove og Lorentz-transformationen.²²

Relativitetsteorien fremstår på denne måde som den nødvendige fuldendelse af den klassiske fysik²³ fremtvunget af kravene om universalitet og korrespondens.

* * *

j. Bemærkninger om Dag Østerbergs 'Forståelsesformer'

Der er i det foregående fremlagt en forståelse af de erkendelsesteoretiske problemer i forbindelse med videnskabelig aktivitet, som i mange formuleringer og standpunkter afviger fra den tradition – filosofisk og samfundsvidenskabelig – som har været mit udgangspunkt i videnskabeligt arbejde.

Eftersom fremstillingen i øvrigt ikke har taget denne tradition op til eksplicit overvejelse, kan det være afklarende at tage vestlig marxistisk tænkning mere eksplicit op, og at søge at vise, hvad ved disse tankegange der har vist sig utilfredsstillende for mig.

Det vil jeg gøre ved at gennemgå nogle hovedtanker i Østerbergs 'Forståelsesformer', idet dette skrift var en af de tidligste og vigtigste udformninger af positivismekritikken i Norge.

Det kan vanskeligt overvurderes, at mange af de senere ledere og ideologer i den politiske studenterbevægelse, som

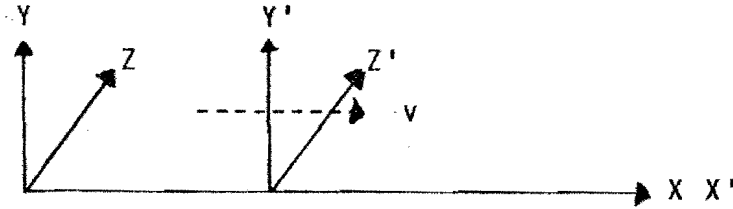
21 Det er, fordi dette krav om teoriens empiriske forankring er teoriinternt, at man ud fra en materialistisk opfattelse på et principielt grundlag afviser – og må afvise – teorier og forklaringsmåder, som bygger på det *ubestemt* eller *ubestemmeligt* mulige. Således som f.eks. magi og religion og transpersonel psykologi gør det i de fleste sammenhænge, hvor der fremføres argumenter for disse synspunkter. Eller sådan som store dele af den socialistiske venstrefløj gør, når de afviser socialismens realiteter, sådan som de faktisk foreligger i socialistiske lande til fordel for de ubestemte mulige samfund med ubegrænset frihed.

At frihed er indsigt i nødvendighed, er ikke kun en moral- filosofisk indsigt formuleret af Spinoza og konfirmeret af Marx, det er først og fremmest en dyrekøbt erfaring fra talrige nederlag i arbejderklassens historie. Udviklingen af et frit socialistisk samfund sker på grundlag af indsigt i de forhåndenværende lovmæssigheder, eller det sker ikke. Manglende disciplin i forbindelse med vurderingen af forholdet mellem det personlige ønske om fri udfoldelse og de historiske betingelser, denne frihed kan udfolde sig under, tilbøjeligheden til at opfatte diskussioner om vejen til socialismen som et valg mellem forskellige ønsker om, hvordan samfundet skal formes i stedet for om, hvilke nødvendigheder der foreligger, har været den vigtigste interne grund til socialismens nederlag i de historiske situationer, hvor folkemassernes ønske om grundlæggende sociale forandringer har været udbredt nok til at udtrykke sig som den dominerende kraft inden for et borgerligt demokrati.

22 Lorentz-transformationen kan udledes ved et ræsonnement, der i store træk forløber som følger:

Lad os tænke os to initialsystemer, altså to systemer i jævn retlinet bevægelse. Systemerne vil nu også indbyrdes bevæge sig jævnt og retlinet, og vi kan tænke os systemerne defineret ved hvert sit koordinatsystem med akserne henholdsvis X, Y og Z og X', Y' og Z'. Lad endvidere koordinatsystemerne være valgt således, at X og X' er sammenfaldende, Y parallel med Y' og Z parallel med Z'. Det ene system »glider«
altså med sin X-akse ud ad det andet systems X-akse med jævn hastighed, som det er forsøgt angivet på figur 1.

På et eller andet tidspunkt har de to systemers nul-punkter været sammenfaldende, eller vil blive. Lad os kalde dette tidspunkt kl. 0 og sige, at tidsmålet $t = 0$ for dette sammenfald.



Figur 1.

Hvis de to systemers indbyrdes hastighed nu kaldes for v , ses det, at til et givet tidspunkt t vil nul-punktet $(x', y', z') = (0, 0, 0)$ i system $X'Y'Z'$ befinde sig i punktet $(x, y, z) = (vt, 0, 0)$ i system XYZ .

ne

Lad os nu dernæst tænke os, at der i hvert system er en iagt-tager, som følger med i systemets bevægelse, og som kan regi-strere enhver begivenheds koordinater i systemet. Iagttageren er endvidere udstyret med ure, der viser tiden siden kl. 0, og kan med disse ure også registrere begivenhedens tidspunkt i hvert sit system.

Hvis en begivenhed, f.eks. et punktformet lysglimt, regi-streres på position (x, y, z) i system XYZ til tidspunktet t , så vil det også kunne registreres i system $X'Y'Z'$. I henhold til den klassiske mekanik vil begivenheden her få koordinaterne (x', y', z') og tidspunktet t' , således at

ix

I

$$\begin{aligned} x' &= x - vt \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= t \end{aligned}$$

Det stykke, som koordinatsystemerne er »forskudt« til tids-punktet t , altså vt , må nemlig være forskellen mellem begiven-hedens x -koordinat i de to initialsystemer.

Dette sæt ligninger rummer den i teksten omtalte såkaldte *Galilei-transformation*.

Læsere, som kan lidt matematik, vil kunne se, at den ind-byrdes afstand mellem samtidige begivenheder er den samme i de to systemer. Endvidere vil alle accelerationer måles ens i de to systemer, da de ikke er indbyrdes accellererede. Dette svarer til, at klassiske mekaniske love, der er gyldige i det ene system, også er det i det andet. Galilei-transformationen er for-

enelig med universaliteten af den klassiske mekaniske fysiks love.

Derimod ses det, at hastigheder ikke er ens i de to systemer. En partikel, som f.eks. bevæger sig med hastigheden w ud langs X-aksen i system XYZ, vil i system X'Y'Z' have hastigheden

$$w' = w - v.$$

Hvis en lysstråle i system XYZ har hastigheden c . vil den i system X'Y'Z' have en hastighed forskellig fra c . Dette modsiger den empiriske kendsgerning, at lysets hastighed er den samme i alle retninger i ethvert inertialsystem. Galilei-transformationen er altså ikke gyldig for elektromagnetiske fænomener som lys, og er ikke i overensstemmelse med universaliteten af de elektromagnetiske love, som er en empirisk kendsgerning.

Jer

For at løse denne modsigelse må vi derfor finde en erstatning for Galilei-transformationen, der er forenelig med såvel universaliteten af de elektromagnetiske love, eksemplificeret med lysets hastighed, som med universaliteten af mekanikkens love. Desuden må den nye transformation korrespondere med Galilei-transformationen i den forstand, at Galilei-transformationen fremstår som tilnærmelsesvis gyldig i det grænsetilfælde, der svarer til sådanne små hastigheder, som udgør erfaringsområdet for den klassiske mekanik.

For at afkorte ræsonnementerne vil vi nu springe et par led i bevisrækken over, som fører frem til, at den nye transformation fremstår som en meget simpel »generalisation« af Galilei-transformationen.

Lad os skrive Galilei-transformationen igen på en lidt anden måde end før:

$$\begin{aligned} \text{II} \quad x' &= 1 \cdot (x - vt) \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= 1 \cdot (t - 0 \cdot x) \end{aligned}$$

Den sidste ligning udtrykker her, at tidsmålet er ens i de to systemer og uafhængigt af stedsmålet. Vi kunne også skrive ligningerne således

$$\text{III} \quad \begin{aligned} x' &= k_1 (x - vt) \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= k_1 (t - k_0 x), \end{aligned}$$

hvor $k_1 = 1$ og $k_0 = 0$.

En meget simpel »generalisation« af Galilei-transformationen ville nu fremkomme, hvis vi lod k_1 og k_0 afhænge af initialsystemernes indbyrdes hastighed v således, at når v var lille i forhold til lysets hastighed c , så nærmede k_1 sig 1 og k_0 sig 0 eller sagt med matematiske symboler, at når $v/c \rightarrow 0$, så vil $k_1(v) \rightarrow 1$ og $k_0(v) \rightarrow 0$.

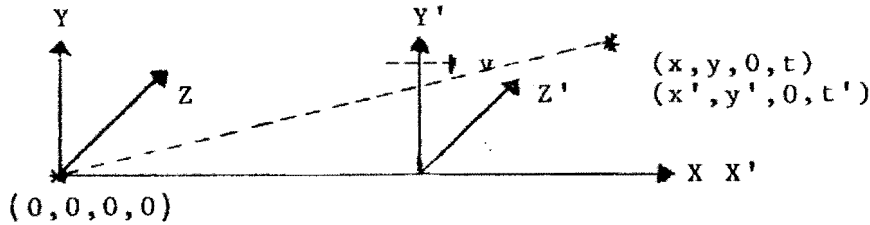
Hvis vi gør det, så vil kravet om, at den nye transformation skal korrespondere med Galilei-transformationen, som det er forlangt ovenfor, være opfyldt. Endvidere kan det bevises, at universaliteten af mekanikkens love også er forenelig med den nye transformation, p.g.a. den »lineære« sammenhæng mellem variabelsættene (x, y, z, t) og (x', y', z', t') . F.eks. ses det, at jævne og retlinede bevægelser i system XYZ også er jævne og retlinede i system X'Y'Z' (jfr. s. 283).

Den mest radikale forskel til Galilei-transformationen består i, at tidsmålet ikke længere er det samme i de to systemer, ligesom det kan afledes som en konsekvens af transformationens første ligning, at afstandsmål ikke er de samme i de to systemer. Tid og rum er altså ikke længere absolutte størrelser, er ikke »a priori«. En forestilling om tidens og rummets aprioriske karakter er imidlertid heller ikke empirisk funderet. Det er til gengæld påstanden om naturlovenes universalitet, og derfor tvinges vi her af kendsgerningerne til at ofre vore aprioriske forestillinger.

Det eneste, der mangler, er nu at undersøge, om vi kan bestemme k_1 og k_0 som funktioner af v , således at vores tredje krav om universaliteten af lysets hastighed bliver opfyldt.

Lad os til det formål udføre et tankeeksperiment!

Vi forestiller os, at i det øjeblik de to initialsystemers nul-punkter passerer hinanden, lyser et kort lysglimt i det fælles nul-punkt. Ifølge ligningssystem III vil denne begivenhed i begge koordinatsystemer have rum-tidskoordinaten $(0, 0, 0, 0)$. En fotocelle anbragt i system XYZ i punktet $(x, y, 0)$ vil modtage og registrere dette lysglimt til tiden t .



Figur 2.

I system XYZ har lyset tilbagelagt stykket $\sqrt{x^2 + y^2}$ (ifølge Pythagoras' læresætning) og må hertil have brugt tiden $t = \sqrt{x^2 + y^2}/c$, hvor c er lysets hastighed, eller

$$\text{IV} \quad c^2 t^2 = x^2 + y^2$$

Den begivenhed, at fotocellen modtager lysglimt, kan imidlertid også registreres i system $X'Y'Z'$ i punktet (x', y', z') til tiden t' , hvor (x, y, z, t) og (x', y', z', t') nu er forbundet som givet i ligningssystem III.

Endvidere må det ifølge kravet om universaliteten af lysets hastighed gælde, at vi i system $X'Y'Z'$ ganske tilsvarende system XYZ har, at

$$\text{V} \quad c^2 t'^2 = x'^2 + y'^2$$

Ligningerne III, IV og V tillader os nu på entydig måde at bestemme k_1 og k_0 .

Af ligningerne IV og V kan vi eliminere $y^2 = y'^2$ og får

$$\text{VI} \quad x^2 - c^2 t^2 = x'^2 - c^2 t'^2$$

Hvis vi erstatter x' og t' med de udtryk, som de er lig med ifølge ligningssystem III, får vi

$$\text{VII} \quad x^2 - c^2 t^2 = [k_1(x - vt)]^2 - c^2 [k_1(t - k_0 x)]^2$$

Den identitet, der er udtrykt i ligning VII, skal gælde for alle værdier af x og t . Derfor skal den også gælde for f.eks. $x = 0$ og $t = 1$. Indsætter vi disse værdier for x og t , får vi

$$\text{VIII} \quad -c^2 = k_1^2 v^2 - c^2 k_1^2$$

eller

$$k_1^2(c^2 - v^2) = c^2$$

eller

$$k_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

(idet $k_1 = \frac{-1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ kan udelukkes,

da k_1 skal være lig med 1 for $v/c = 0$)

Indsætter vi på samme måde værdierne $x = 1$ og $t = 0$ i ligning VII, fås

IX

eller

$$1 = k_1^2 - c^2 k_1^2 k_0^2$$
$$k_0^2 = \frac{k_1^2 - 1}{c^2 k_1^2} = \frac{1 - 1/k_1^2}{c^2}$$

Indsætter vi heri, at $1/k_1^2 = 1 - v^2/c^2$ ifølge ligning VIII, får

X

$$k_0^2 = \frac{v^2/c^2}{c^2} = \frac{v^2}{c^4}$$

eller

$$k_0 = \frac{v}{c^2}$$

(k_0 kunne med lidt mere regnearbejde være fundet ved at sætte $x = 1$ og $t = 1$ i ligning VII. Til gengæld ville $k_0 = -v/c^2$, som er en mulig løsning til ligning X, derved blive udelukket).

Det ses af ligning VIII og X, at k_1 og k_0 opfylder kravet om, at $k_1 \rightarrow 1$ for $v/c \rightarrow 0$ og $k_0 \rightarrow 0$ for $v/c \rightarrow 0$, dvs. kravet om korrespondens.

Indsætter vi nu til sidst ligningerne VIII og X i ligningsystem III, får vi den endelige form af vores søgte nye transformation til afløsning af Galilei-transformationen, nemlig den såkaldte *Lorentz-transformation*.

XI

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Hermed har vi i en forkortet udgave gennemført beviset for Lorentz-transformationen (ligningssystem XI), som er kernen i den specielle relativitetsteori.

Ved at sammenholde Lorentz-transformationen med lovene kendt fra den klassiske mekanik kan relativitetsteoriens forskellige konsekvenser udledes uden yderligere empiri. F.eks. gælder dette for loven om massens og energiens ækvivalens, udtrykt ved den berømte formel $E = mc^2$. Vi vil dog her nøjes med at udlede relativitetsteoriens lov om sammensætning af hastigheder som et illustrativt eksempel på afledning fra Lorentz-transformationen.

Jer

Lad os stadig tænke os de to initalssystemer XYZ og X'Y'Z', hvor det sidste bevæger sig med hastigheden v i forhold til det første som vist i figur 1. Lad os endvidere tænke os, at der i system X'Y'Z' bevæger sig en partikel i X'-aksens retning med hastigheden w , startende fra nul-punktet kl. $t = 0$. Den vil da i dette system bevæge sig efter ligningen

XII $x' = wt'$

72

(y, z, y' og z' vil alle være konstante 0 og ignoreres i det følgende).

Partiklen vil også kunne iagttages fra system XYZ og vil også her starte fra nul-punktet kl. $t = 0$.

Indsætter vi nu først for sammenligningens skyld Galilei-transformationens ligninger (ligningssystem I) i ligning XII, får vi for bevægelsen i system XYZ, at

XIII $x - vt = wt$

eller

$$x = (v + w)t.$$

7 w

Partiklen bevæger sig altså ifølge Galilei-transformationen i system XYZ med en hastighed $v+w$, der er summen af de to hastigheder, som den er »sammensat« af. Dette svarer helt til vores daglige forestillinger om sammensætning af hastigheder.

Hvis vi imidlertid i stedet indsatte Lorentz-transformationens ligninger (ligningssystem XI) i ligning XII, får vi

$$\text{XIV} \quad \frac{x-vt}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = w \frac{t-vx/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

eller

$$x-vt = wt - vwx/c^2$$

eller

$$x = \left(\frac{v+w}{1+vw/c^2} \right) t$$

Partiklen bevæger sig altså ifølge Lorentz-transformationen i system XYZ med en jævn hastighed

$$\frac{v+w}{1+vw/c^2}$$

der er mindre end $v+w$, men som for små hastigheder v og w i forhold til c ligger tæt på $v+w$.

Vi ser igen, at der er korrespondens mellem relativitetsteoriens love og de klassiske mekaniske.

Vi ser også som et særligt resultat af ligning XIV, at ingen hastigheder mindre end eller lig med lysets hastighed c kan sammensættes til en hastighed større end lysets hastighed, svarende til relativitetsteoriens påstand om, at ingen reelle hastigheder er større end lysets.

Jens Mammen

- 23 Kvantemekanikken tilfredsstiller også kravene om universalitet og korrespondens med den klassiske fysik. Men sammenlignet med relativitetsteorien repræsenterer den en radikal overskridelse af den klassiske fysiks erfaringsområde.
- 24 Jfr. f.eks. følgende citat (Østerberg, 1966, s. 80-83), som vil kunne gøre det ud for 2/3 af Fritz Perls forklaringer på, hvorfor det, han gør, virker, som det gør:

22. Tatt ordrett forstiller vi oss ved å stille noe foran oss