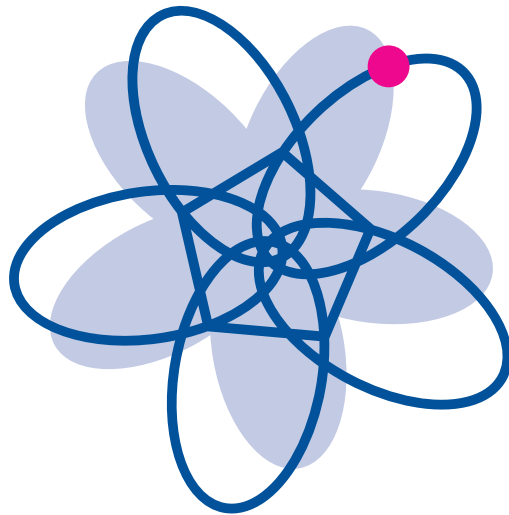


RePoSS #6:

Nogle idÅlhistoriske dimensioner i de fysiske videnskaber

Helge Kragh

December 2009



Please cite this work as:

Helge Kragh (Dec. 2009). *Nogle idéhistoriske dimensioner i de fysiske videnskaber*. RePoSS: Research Publications on Science Studies 6. Aarhus: Centre for Science Studies, University of Aarhus. URL: <http://www.css.au.dk/reposs>.

Nogle idéhistoriske dimensioner i de fysiske videnskaber

HELGE KRAGH*

De fysiske eller eksakte videnskaber, hvormed især tænkes på fysik og astronomi, har siden Galileis tid udviklet sig gennem en dialog mellem matematisk formuleret teori og empiriske data opnået via eksperimenter eller observationer. Eller, anderledes udtrykt, ved brug af hypotetisk-deduktive og empirisk-induktive metoder, ikke som alternativer, men derimod i vekselvirkning. Disse to dimensioner udfylder dog på ingen måde de fysiske videnskaber og kan ikke alene redegøre for deres historiske udvikling. Hertil kræves også hensyntagen til temaer, der bedst kan betegnes som idehistoriske, idet de ikke er bundet til en naturvidenskabelig diskurs. De er af en bredere art og har rødder, der nok så meget ligger i filosofi og humanistisk kultur. I herværende essay belyses dette forhold med enkelte eksempler fra de fysiske videnskabers historie.

Der er altså ikke her tale om at lokalisere naturvidenskab i idehistorien, men snarere komplementært at lokalisere idehistoriske temaer i naturvidenskaben, om end det her kun gøres sporadisk og eksemplarisk. I første afsnit fokuseres på en bestemt historiografisk tradition, der belyses med en række eksempler, nemlig den idehistoriske kobling mellem ældre

* Institut for Videnskabsstudier, Aarhus Universitet. E-mail: helge.kragh@ivs.au.dk. Dette essay er en omarbejdet og udvidet version af et kapitel, jeg skrev i 2005 til en antologi med titlen *Perspektiver i Idehistorien*. Af mig ukendte grunde udkom bogen aldrig.

naturfilosofiske temaer og nyere naturvidenskab. Dernæst fokuseres på et bestemt tema, det såkaldte kosmologiske princip, der belyses gennem dets historiske udvikling. Det følges af et andet tema, ideen om naturens iboende simpelhed eller påholdenhed, der udviklede sig fra et metafysisk princip til en præcis metode i teoretisk fysik. Som det tredje overordnede tema behandles ideen om "plenitude", dvs. at det mulige også er realiseret i naturen, hvor alle potentielle ontologiske niches er udfyldt. Som det forhåbentligt vil fremgå, så har idehistorien meget til fælles med naturvidenskabens historie. Eksemplerne kan ses som krydspunkter mellem de to akademiske traditioner, der her i landet alt for ofte lever i isolation fra hinanden.

Historiografi og invariante temaer

En af de måder, ide-, kultur- og videnskabshistorien kan knyttes sammen på, er ved at fokusere på sådanne ideer eller temaer, der manifesterer sig på flere områder og, med større eller mindre kontinuitet, gennem lange tidsperioder. Sådanne temaer er af en metafysisk art snarere end videnskabeligt begrundede, men de kan ikke desto mindre virke som begrebsmæssige rammer og inspiration for videnskabelig tænkning. I en version af denne form for historiografi opfattes ide- og videnskabshistorien som scener, hvorpå et lille antal enhedsideer eller – temaer udfolder sig. Den præcise måde, de udfolder sig på, afhænger rimeligvis af den historiske periode og den faglige kontekst. Ikke desto mindre hævdes det inden for denne historiografiske tradition, at det er muligt at identificere bestemte temaer af grundlæggende set samme art i vidt forskellige kulturer og epoker. I så fald taler man om *invariante temaer*, idet det postuleres, at sådanne i deres essens er upåvirkede af epoken, om end de ikke er det i deres specifikke fremtrædelsesform.

Den amerikanske idehistoriker Arthur Lovejoy var i sit klassiske værk *The Great Chain of Being* fra 1936 en tidlig og fremtrædende repræsentant for denne form for historieskrivning, idet han hævdede, at "den samme ide forekommer ofte, nogle gange væsentligt forklædt, i de mest forskellige områder af den intellektuelle verden" (Lovejoy 1976, s. 15). Ifølge Lovejoy kan store dele af idehistorien forstås i termer af sådanne enhedsideer (*unit ideas*), der altså udfolder sig i vidt forskellige former i forskellige dele af åndsliv, kunst og videnskab, men ikke desto mindre har deres idemæssige substans til fælles. Om dette forhold skrev han (Lovejoy 1976, s. 15):

Når historikeren har isoleret en enhedside, så gennemsøger han dernæst mere end et – ja, til syvende og sidst alle – af de områder af historien, hvori den optræder på en betydningsfuld vis, og det uanset om områderne kaldes for filosofi, naturvidenskab, kunst, religion eller politik. I et sådant studium postuleres det at for fuldt ud at forstå udviklingen af et bestemt begreb – der kan være en eksplicit eller en tavs antagelse, en slags mental vane, eller en ganske definit tese eller argument – da må det spores på en sammenhængende måde gennem alle de faser af menneskets tankeliv, hvori disse bevægelser manifesterer sig; eller i det mindste så mange af dem som tillades af historikerens resourcer.

Desuden hævdede Lovejoy sådanne ideers tidslige invarians, nemlig at de i forskellige former kan findes i flere historiske epoker. Lovejoy illustrerede sin tese med en detaljeret idehistorisk gennemgang af det såkaldte plenitude-princip, som jeg skal vende tilbage til nedenfor.

Mange andre forfattere, herunder også flere med en fysikvidenskabelig baggrund, har fulgt inspirationen fra Lovejoy og søgt at identificere invariante

temaer i de fysiske videnskabers historie. Der er andre, beslægtede former for videnskabshistorie, der søger at associere fremkomsten af fysiske teorier med det sociale og kulturelle miljø, men uden at hævde en tidslig invariant kausal forbindelse (for to forskellige bud på sådan historieskrivning, se Feuer 1974 og Holton 1988).

Den israelske fysiker og videnskabshistoriker Samuel Sambursky har i flere værker om antikkens naturopfattelser givet udtryk for, at man her kan finde begreber og temaer, der er primitive former for langt senere naturerkendelse. I den aristoteliske fysik mener han fx at kunne spore den opfattelse af rummet, der er karakteristisk for Einsteins langt senere generelle relativitetsteori. Sambursky konkluderer, at det er meningsfyldt og frugtbart at sammenligne antikkens fysik med det moderne verdensbillede. "Vi ser," skriver han, "at de videnskabelige tankemønstres indre logik er forblevet uændret af århundreders gang og af civilisationers kommen og gåen; de samme modeller og associationer vender tilbage, blot i nye former, der er tilpasset det mere avancerede niveau, den fysiske viden har nået" (Sambursky 1963, s. 203). Uanset gyldigheden af denne generelle påstand, der unægtelig kan kritiseres, så svarer den godt til Lovejoys form for intellektuel historieskrivning.

Blandt de af oldtidens tekster, der hyppigt er blevet brugt til at illustrere eller postulere kontinuiteten i udviklingen af naturfilosofiske ideer, er Lucret's (Titus Lucretius Carus') berømte læredigt *De rerum natura* måske den vigtigste. Dette velkendte værk, der er forfattet på latin omkring 70 f.Kr., indeholder en rigdom af tanker og illustrerende eksempler, som hovedsageligt er baseret på en modificeret form af den præsokratiske atomisme med rødder tilbage til Leukippos og Demokrit. På grund af denne tankerigdom, og også på grund af den filosofiske snarere end videnskabelige karakter af Lucret's digt, er det nemt

at finde "foregribelser" af senere videnskabelige indsigter i det mere end 2000-årige værk.

I almindelighed var den græske atomistiske filosofi baseret på et konstruktivt princip, hvor uorden eller kaos blev omskabt til et ordnet kosmos, hvilket har fået nogle forfattere til at tale om en omvendt version af loven om entropiens vækst (Graham 2006, s. 275). Men der er i *De rerum natura* også passager, der klart minder om det gradvise forfald (eller degeneration) af verden, der er det kvalitative budskab i den "varmedød" der ifølge entropiloven, alias termodynamikkens anden hovedsætning, uundgåeligt og irreversibelt må indtræde i en fjern fremtid. Således læser vi: "Murene omkring den store verden, som angribes fra alle sider, skal forfalde og henfalde til mugne ruiner. ... Det er forfængeligt at tro, at denne ramme for verden vil vare evigt; for dens blodårer, hvis det kan udtrykkes sådant, modtager ikke hvad der er tilstrækkelig for dens opretholdelse, og naturen giver heller ikke den nødvendige næring" (Lucretius 1997, s. 96).

Andre passager fra *De rerum natura* kan fortolkes som kvalitativt overensstemmende med ideer fra den moderne kerne- og partikelfysiks historie. I årene omkring 1970 blev det vist at selv elementarpartikler som protoner og neutroner kan opfattes som havende en indre struktur, idet de består af punktlignende partikler, der altså ikke har nogen rumlig udstrækning. Richard Feynman kaldte disse hypotetiske partikler for "partoner", mens en anden og mere frugtbar version af ideen var at opfatte de subnukleare partikler som kvarker. Ifølge den vigtige og i dag for længst anerkendte kvarkteori, der bl.a. skyldes den amerikanske fysiker Murray Gell-Mann, består hadroner (stærkt vekselvirkende partikler som nukleoner og pioner) af kombinationer af kvarker og antikvarker. For eksempel består en proton (ladning +1) af tre kvarker med elektriske ladninger $+2/3$, $+2/3$ og $-1/3$. Disse kvarker er imidlertid bundet til den

hadroniske partikel og kan ikke frigøres fra den. Kvarker kan ikke eksistere frit, men vil for evigt være fængslet i den partikel, de er en del af.

Naturligvis kendte man hverken til hadroner eller kvarker i oldtiden, men alligevel optræder der i tidens naturfilosofiske litteratur visse analogier eller paralleller til disse moderne størrelser. Det er blevet argumenteret, at der "begrebsmæssigt er en meget klar parallel mellem oldtidens ide om elementære atomer, der ikke desto mindre har uadskillelige dele, og nutidens ide om elementarpartikler som bestående af kvarker som ikke kan eksistere som frie partikler" (Gaisser og Gaisser 1977, s. 441). Naturligvis er det diskutabelt, hvor klar eller meningsfuld en sådan parallelitet er.

Den oprindelige demokritske atomisme opererede med atomer som absolut strukturløse og usammensatte elementer, men senere forfattere i den græsk-romerske kultur reviderede teorien og talte om atomerne selv som bestående af endnu mindre dele. Denne ide om teoretisk atomare eller subatomare minimale dele skyldes formentlig den græske filosof Epikur, der argumenterede at selv om atomer var fysisk udelelige, så var de delelige i en teoretisk forstand (Johansen 1991, s. 542-544). Blot kunne disse subatomare dele eller *minimae partes* ikke isoleres fra atomet. Der måtte, hævdede Epikur og flere andre, være en absolut grænse for denne delelighed som svarede til teoretisk minimale størrelser i atomet. For disse teoretiske mindstedele eller *minimae partes*, der også spillede en rolle i middelalderens stofteorier, kan en yderligere deling ikke engang tænkes. De er minimale i en absolut forstand – omtrent "lige som" den Planck-længde (10^{-45} m) der optræder i moderne teorier for kvantegravitation. I betragtning af, at Lucretius var stærkt påvirket af den epikuræiske atomisme (snarere end af den demokritske form), er det ikke overraskende at *minimae partes* optræder i hans læredigt (Lucretius 1950, s. 40):

Da der må være et yderste punkt af urelementer,
 som vore sanser ikke kan fatte, må det utvivlsomt
 være udeleligt, være den aller mindste partikel,
 noget, som aldrig har været til eller kan eksistere
 kun ved sig selv, idet det fra første færd og for evigt
 er integrerende del af en anden og atter af andre
 lignende dele, der slutter sig ganske kompakt til hverandre,
 dannende selve atomet, hvis enkelte fine partikler
 ikke har selvstændig væren, men er uopløselig knyttet
 sammen og sådan forenet, at ingen magt kan dem splitte.

Som et andet eksempel på analogiseringer mellem fortid og nutid kan nævnes fysikeren og filosofen Mendel Sachs, der har sporet feltbegrebet langt tilbage i tiden – bl.a. til Maimonides og Spinoza – og hævder, at man hos disse tænkere kan finde et begreb, der er "analogt" med det, der ellers tilskrives Faraday, Maxwell og deres efterfølgere. Sachs ser netop feltbegrebet som et invariant tema i ide- og videnskabshistorien, og mere overordnet skriver han herom: "Det er min tese, at de faktuelle sandheder, som filosofen og naturforskeren søger om den virkelige verden, fremkommer i form af abstrakte, invariante relationer, som er uafhængige af det forståelsesdomæne, de anvendes på ... og at disse relationer er invariante med hensyn til de forskellige historiske perioder, hvor de er blevet udtrykt" (Sachs 1976, s. 125).

Af noget lignende karakter er filosofen George Gales forsøg på at indpasse visse kernefysiske teorier fra 1960'erne i en idehistorisk tradition med rødder tilbage til Leibniz og Boskovich. Omkring 1960 udviklede den amerikanske teoretiker Geoffrey Chew og andre en såkaldt bootstrap teori for stærke vekselvirkninger, hvori begrebet om elementarpartikler ikke indgik og

hvor alle partikler var lige elementære. Chew kontrasterede selv sin "demokratiske" teori mod den traditionelle "aristokratiske" teori om partikler bestående af mere fundamentale enheder. Ifølge bootstrap teorien, der dominerede den teoretiske kernefysik i et tiår, var gensidigt virkende kræfter mere fundamentale end partikler, der snarere blev opfattet som kraftcentre end materielt eksisterende størrelser. Man kan nu argumentere, sådan som Gale gør, at Chews dynamiske og anti-korpuskulære ontologi minder slående om Leibniz' dynamiske partikler i form af de såkaldte monader: "Chews bootstrap dynamik er signifikant analog til dele af Leibniz' monadologi ... [og er] en genoplivning af Leibniz' oprindelige program for at udvikle en ontologi for fysiske kræfter" (Gale 1974, s. 340 og s. 344).

Man kan opfatte det som sympatisk at søge efter den slags analogier eller invariante temaer, der her er givet eksempler på, bl.a. fordi de knytter naturvidenskabens udvikling tættere sammen med idehistorien. Det turde dog være klart, at sympati alene ikke garanterer akademisk lodighed. Projektet bliver nemt problematisk og fører let til en uacceptabel form for historieskrivning. Jeg skal ikke her gå nærmere ind på problemerne, men dog nævne, at projektet næsten er skræddersyet til at føre til urimeligheder og anakronistiske påstande. Hvis man er overbevist om, at visse kvalitative træk i relativitetsteorien kan genfindes i den græske oldtid og følges i hele perioden fra Aristoteles til Einstein, ja så skal man såmænd nok finde tekstlig belæg for det. Men i så fald har man læst fortidens tekster ud fra et moderne perspektiv, i stedet for at forstå dem ud fra deres egne præmisser, og det kommer der sjældent noget godt ud af (Kragh 1987, s. 83-88). Man opnår ikke ægte historisk viden ved at hævde, at Aristoteles' opfattelse af rummet udtrykker "samme" enhedstanke, som den Einstein formulerede i sin generelle relativitetsteori mere end 2000 år senere.

Alligevel tror jeg ikke, ideen om invariante temaer helt bør afskrives, om end den nok bør modificeres. Såfremt ideen anvendes heuristisk og med forsigtighed kan den i visse tilfælde fungere som en interessant ramme for videnskabshistorien og give denne et perspektiv, den ellers ikke ville have fået. Jeg skal med et par eksempler antyde, hvordan visse idehistoriske temaer, der ganske vist ikke er af egentlig invariant art, har spillet en rolle i de fysiske videnskaber og stadig spiller en rolle.

Det kosmologiske princip

Er Jorden (eller Solsystemet) et privilegeret sted i universet, eller er den blot en klode som utallige andre og i rumlig forstand ikke forskellig fra disse? Spørgsmålet har været diskuteret siden oldtiden, hvor der allerede var spekulationer om, at Jorden ikke adskiller sig væsentligt fra andre himmelkloder. Sådanne spekulationer kan findes hos enkelte af de førsokratiske tænkere og mere eksplicit hos Lucretius i hans *De rerum natura*. På trods af den universelle accept af det geocentriske verdensbillede i middelalderen finder vi hos den tyske filosof og teolog Nicholas af Kusa, bedre kendt som Cusanus, den dristige tanke, at universet i det store og hele er ensartet overalt. En iagttager på en hvilken som helst anden klode vil observere et univers, der principielt er som det, vi iagttager fra Jorden. I sit vigtige værk *De docta ignorantia* fra 1440 skriver Cusanus herom (Cusanus 1997, s. 159-161):

Det er umuligt for den kosmiske maskine [dvs. universet] at have denne sanselige Jord, eller luft eller ild, eller noget som helst andet, som et fast og ubevægeligt centrum. ... For enhver iagttager, uanset om han befinder sig på Jorden, Solen, eller på en anden stjerne, vil det synes som om han er på et ubevægeligt materielt system og at alt andet bevæger sig; så man vil

altid vælge forskellige poler i relation til sig selv, alt efter om man befinder sig på Solen, på Jorden, på Månen, på Mars, og så videre. Man kan derfor sige, at den kosmiske maskine vil have sit centrum overalt og sin omkreds intetsteds, for dens centrum og omkreds er Gud, som er overalt og intetsteds.

Denne påstand, der hos Cusanus naturligt optræder i en teologisk kontekst, er kernen i, hvad der langt senere blev kaldt det kosmologiske princip, nemlig at universet i en meget stor målestok er homogent og isotropt.

I slutningen af 1500-tallet blev princippet om den kosmiske ensartethed igen hævdet, denne gang af Giordano Bruno, der udviklede Kopernikus' endelige og heliocentriske system til et uendeligt og acentrisk univers, hvor Sol og Jord ikke er rumligt privilegerede. Ej heller er der andre rumligt privilegerede steder i universet. Denne vigtige hypotese betegnes af og til som det "kosmisk-demokratiske princip" eller princippet om universets middelmådighed ("the principle of mediocrity"). Et andet navn, der ofte bruges synonymt med det kosmologiske princip, er det "kopernikanske princip", som hentyder til Jordens position som blot en af flere planeter i det nye verdensbillede. Dette er dog et uheldigt navn, da Kopernikus jo på ingen måde opfattede verden som acentrisk eller uniform. Et endeligt og heliocentrisk univers er per definition i modstrid med det kosmologiske princip. (Et endeligt univers behøver ikke i sig selv være i modstrid med princippet, men i så fald kræver det et ikke-euklidisk rum, hvilket selvsagt er en anakronisme i forbindelse med 1500-tallet.)

Med Newtons version af det uendelige univers, jævnt befolket med uendelig mange himmellegemer, blev det kosmologiske princip almindelig anerkendt, om end det ikke blev tillagt stor betydning. Det optræder fx implicit i Newtons berømte brevveksling med teologen og filologen Richard Bentley om

universets struktur og størrelse (Cohen 1978). Diskussionen blussede op igen omkring 1900, nu i forbindelse med Solens placering i forhold til den Mælkevej, mange astronomer mente var omtrent identisk med det materielle univers. I de fleste af de modeller for Mælkevejen, der fandtes i starten af 1900-tallet, var Solen placeret meget nært det galaktiske centrum. Ifølge Alfred Russell Wallace – bedre kendt som evolutionsbiologisk pioner – var Mælkevejen heliocentrisk og derfor også geocentrisk. Han vurderede dens diameter til at være blot 3.600 lysår. Wallaces kosmologiske model, som han fremlagde den i *Man's Place in the Universe* fra 1903, var i realiteten antropocentrisk, og det i en grad, der ikke lod middelalderen noget efter (Wallace 1903; Dick 1996, s. 38-50). Fremskridt inden for observationel astronomi viste dog i 1920'erne, at Solen indtager en noget perifer position i Mælkevejen og at dette mægtige konglomerat af stjerner blot er en blandt utallige galakser spredt ud i verdensrummet.

I Einsteins oprindelige kosmologiske model fra 1917 var universet statisk og modellen byggede implicit på det kosmologiske princip. Det var dog først med det ekspanderende univers fra omkring 1930 at dette uniformitetsprincip for alvor blev en central del af den nye kosmologiske videnskab. Under navnet "det udvidede relativitetsprincip" blev det i 1933 formuleret af den engelske astrofysiker Edward Arthur Milne som udsagnet: "Ikke blot naturlovene, men også de hændelser, der optræder i naturen – verden i sig selv – må forekomme de samme for alle [galaktiske] iagttagere, uanset hvor de er" (Milne 1933, s. 4). Med en anderledes formulering: Det kosmologiske princip udtrykker, at universet i sin rumlige struktur er ensartet og demokratisk, ikke hierarkisk, kaotisk eller aristokratisk. Siden 1930'erne er princippet indgået i alle kosmologiske standardmodeller og dets gyldighed anerkendes stadig.

På trods af dets karakter af et simpelhedsprincip har det kosmologiske princip ikke *a priori* status, sådan som nogle filosoffer har hævdet. Ikke blot kan

princippet meget vel være i modstrid med observationer; man kan fra Einsteins feltligninger også udlede en lang række anisotropiske og inhomogene kosmologiske modeller, som i sagens natur ikke adlyder princippet. På den anden side er det ikke blot en empirisk generalisation, da det hævdes at gælde for universet i sin helhed (Kragh 2001, s. 65-67).

Det kosmologiske princip udtrykker universets rumlige og materielle homogenitet, mens det i tidslig henseende ikke er homogent, al den stund det udvider sig, sådan at den galaktiske tæthed stedse bliver mindre. Med den symmetri, der ifølge relativitetsteorien er mellem sted- og tidskoordinater, kan det være fristende at udbygge det kosmologiske princip til også at dække det tidslige aspekt. I så fald indebærer det, at universet altid har set ud, som det gør i dag, og at det i al evighed vil vedvare med at se sådan ud. Et sådant postulat var netop grundtanken i den steady state-model, der blev formuleret i 1948 og som i mere end 15 år var en stærk rival til modeller af big bang-typen. Ifølge "det perfekte kosmologiske princip" ser verden ikke blot ens ud for enhver iagttagere, uanset hans (eller hendes) placering i rummet, det samme gælder også uanset iagttagers placering i kosmisk tid: "Universet ... er ikke blot homogent, men også uændret over en lang skala," som Herman Bondi og Thomas Gold formulerede det i den artikel, hvori de introducerede steady state-universet (Bondi og Gold 1948, s. 253). Steady state-modellen har dog vist sig at være forkert, idet den strider mod en række observationer, og derfor er det perfekte kosmologiske princip også forkert (Kragh 1996). Universet har en irreversibel historie, en tidspil, men dette er en erkendelse af nyere dato.

Ud fra et idehistorisk perspektiv udtrykker det perfekte kosmologiske princip ideen om en i middel stationær og derfor evig verden, mens det begrænsede kosmologiske princip tillader en dynamisk dimension i overensstemmelse med big bang-teorien. I form af filosofiske antagelser kan de

to idealer om verdens struktur og udvikling følges langt tilbage i tiden, og de er ikke begrænset til en fysisk-astronomisk diskurs. Det er således interessant, at der i den geologiske diskussion omkring 1800 optræder temaer, der slående minder om diskussionen mellem kosmologer i 1950'erne, nemlig i forbindelse med den langstrakte debat mellem katastrofister og uniformitarister (Hallam 1989, s. 30-64). Mens den katastrofistiske version af Jordens historie svarer til big bang-teoriens version af den kosmiske historie, udtrykker en ren uniformitarisme et billede, der minder om steady state-teorien. Ifølge James Hutton og Charles Lyell, de to mest fremtrædende fortalere for det uniformitaristiske princip, havde Jorden i det store og hele ikke ændret sig og ville heller ikke i fremtiden ændre sig.

En anden af de tidlige engelske uniformitarister, George Toulmin, udtrykte i revolutionsåret 1789 sin tro på jordskorpens uforanderlige historie på en form, der har en stærk lighed med det senere perfekte kosmologiske princip. Som Toulmin antydede, gjaldt det uniformitaristiske princip ikke blot for Jorden, men for naturen overhovedet: "En følge af hændelser, noget i retning af det, der til stadighed iagttages, har altid fundet sted; gennem en uendelig varighed har naturen virket gennem sine konstante og uforanderlige love. ... Således understøtter naturen sig selv! Og hun vil altid vedvare med at understøtte sig selv på samme måde, som vi nu erfarer" (Toulmin 1962, s. 156). Men det uniformitaristiske budskab lovede mere, end det kunne holde. I dag ved vi ikke blot, at Jorden har haft en egentlig historie, men også at en række vældige katastrofer har været med til at forme den.

Den nævnte idehistoriske spænding mellem to forskellige opfattelser af universet, en statisk-evig opfattelse og en dynamisk-evolutionær opfattelse, er af den amerikanske fysiker og videnskabshistoriker Gerald Holton blevet set som et udtryk for et invariant tema i videnskabs- og idehistorien. Holton var naturligvis

klar over, at situationen siden 1960'erne har været helt domineret af det dynamisk-evolutionære billede i form af big bang-teorien, men han forudså ikke desto mindre at det andet alternativ ville komme tilbage på banen (Holton 1988, s. 46). Interessant nok synes denne forudsigelse til en vis grad at være blevet til virkelighed, idet der gennem de sidste ti års tid har været en stærkt voksende interesse for kosmiske modeller (fx af en cyklisk art) med en uendelig alder. Mens næsten alle fysikere og kosmologer for blot ti år siden anerkendte big bang som universets absolutte begyndelse, er dette ikke længere tilfældet (Vaas 2010).

Naturens teleologi

Næsten alle fysikkens fundamentale lovmæssigheder kan formuleres i termer af såkaldte mindstevirkningsprincipper, der i almindelighed udtrykker, at naturprocesser foregår på en sådan måde, at "virkningen" (med dimension af energi $\times$ tid) bliver minimal. Sådanne principper er i den rette matematiske formulering et uhyre stærkt værktøj i den teoretiske fysik, uanset om det drejer sig om mekanik, hydrodynamik, kvantemekanik eller relativitetsteori. Det er ikke ualmindeligt at mene, at en teori kun kan være fundamental, såfremt den kan udtrykkes ved et mindstevirkningsprincip. Dette gav Max Planck udtryk for i 1915, da han om fysikken skrev, at "den har som sit højeste og mest efterstræbelsesværdige mål at lede til løsning af problemet om at kondensere i et eneste, enkelt princip alle naturfænomener, der er blevet observeret og som vil blive observeret." Og videre: "Blandt de mere eller mindre generelle love, som udgør præstationerne i den fysiske videnskab gennem de sidste århundreder, er mindstevirkningsprincippet måske det, der i form og indhold kommer nærmest til idealet for den teoretiske forsknings endelige mål" (Planck 1915, s. 692).

Mindstevirkningsprincippet har en bemærkelsesværdig historie, idet det i dag er en værdineutral matematisk formalisme, men i sit ophav udtrykte det

teologiske og teleologiske tankegange af en metafysisk karakter (Yourgrau og Mandelstam 1968; Szabó 1977). Ideen om at naturen er sådan indrettet, at den er den simpleste og mest effektive realisering af det mulige, går tilbage til oldtiden, hvor den kan findes i Aristoteles' *De caelo*. Gennem middelalderen var det almindelig anerkendt, at naturen har en forkærlighed for det simple og enkle – *Natura simplicitatem amat*. En anden maksime fra middelalderen, hvor ideen bl.a. optræder hos filosofen William af Ockham i form af hans berømte "ragekniv", var *Simplex sigillum veri*, dvs. at det enkle er sandhedens tegn. Hos Newton kan en meget lignende ide findes, som når det i *Principia* hedder, at "naturen gør intet forgæves, og mere er forfængeligt når mindre kan gøre det; thi naturen værdsætter simpelhed og den bryder sig ikke om overflødige årsagers pragt" (Newton 1966, s. 398).

Dette simpelhed- eller økonomiprincip blev i 1600-tallet anvendt videnskabeligt til at forklare mekaniske og optiske fænomener, sådan som Pierre Fermat gjorde i 1661, da han udledte brydnings- og refleksionsloven for lys ved at antage, at en lysstråles passage mellem to punkter altid følger den vej, der gør virkningen (her givet ved passagetiden) mindst. Fermats forklaring vakte kritik blandt cartesianske forskere, der påpegede, at man herved tillagde naturen en hensigt, altså forklarede fænomener teleologisk i stedet for kausalt. En sådan antropomorfisme fandt man i modstrid med den nye naturvidenskabs idealer. Ikke desto mindre var mindstevirkningsprincippet og lignende metoder af stor videnskabelig styrke, hvilket ikke mindst blev indset efter Christiaan Huygens i sit klassiske værk *Traité de la lumière* fra 1690 gav et bedre bevis for Fermats udledning af de optiske love.

Da mindstevirkningsprincippet i det 18. århundrede blev mere alment formuleret og fandt stor anvendelse i især mekanikken, var dets filosofiske og teologiske rødder endnu ganske klare. Leibniz så det som et eksempel på den

tilstrækkelige grunds princip og andre fysikere i perioden forbandt det direkte med den naturlige teologi, idet det udtrykte Skaberens fuldkommenhed og maksimale effektivitet – Gud kunne jo sammenlignes med ”en dygtig ingeniør, som opnår sit mål på den simplest mulige måde, man kan forestille sig”, som Leibniz havde formuleret det. Leibniz, Nicolas Malebranche, Christian Wolff, Maupertuis m.fl. var overbeviste om, at den guddommelige visdom nødvendigvis måtte manifestere sig i en ordentlig, enkel og økonomisk natur, og at mindstevirkningsprincippet var et udtryk herfor. Den franske matematiker, polyhistor og naturforsker Pierre de Maupertuis mente endda, at princippet kunne bruges som et gudsbevis. I en afhandling fra 1746 udtrykte han tankegangen på følgende måde (Pedersen 1960, s. 96):

Man kan ikke tvivle på, at alle ting styres af et højeste væsen, som i materien har indpræget kræfter, der betegner hans styrke, og har bestemt dem til at udføre virkninger, som markerer hans visdom; og harmonien mellem disse to attributter er så fuldkommen, at alle naturens virkninger uden tvivl kunne udledes af enhver af dem for sig. Mekanikken er selv blind og bundet. Men den retter sig efter den højest oplyste og mest frie intelligens, og hvis vore tanker var tilstrækkelig omfattende, ville den i lige grad skue årsagerne til de fysiske effekter, hvad enten den beregner legemernes egenskaber eller søger det mest hensigtsmæssige i virkningernes udførelse.

Med naturteologiens deroute fra starten af 1800-tallet blev også teleologiske tankegange suspekte og formuleringer som dem, Leibniz og Maupertuis havde udtrykt, blev fradømt videnskabelig værdi. Naturen har intet formål, om end det kan forekomme sådan, og mindstevirkningsprincippet blev i det 19. århundrede

udviklet som blot en teknik, om end en meget stærk teknik, inden for den matematiske fysik. Ikke desto mindre afspejler denne og lignende teknikker i deres historiske oprindelse altså teleologiske, naturteologiske og antropomorfistiske tankegange. Kun ved at indlejre fysikkens videnskabshistorie i sådanne brede, idéhistoriske traditioner får man en korrekt forståelse af mindstevirkningsprincippets historie.

Fra potentiel til manifest væren

I sit ovenfor nævnte værk fra 1936 undersøgte Lovejoy det historiske forløb af, hvad han kaldte "the principle of plenitude" fra Platon til romantikken. Der findes vist ingen god dansk oversættelse af navnet, selv om det noget tunge "fuldhedsprincip" måske kan bruges; jeg skal dog nøjes, noget uopfindsomt, med at kalde det plenitude-princippet. Lovejoy fandt først en form for dette metafysiske princip hos Platon (bl.a. i *Timaios*), hos hvem universet er et ontologisk plenum, hvori der er plads til enhver tænkelig mangfoldighed af mulige ting. Plenitude-princippet er et generelt udsagn om, at enhver ontologisk niche i naturen er udfyldt, at enhver potentiel eksistens afspejles i en tilsvarende manifest eksistens. Eller, i en simplificeret form og reduceret til dets essens, at hvad kan eksistere, må også eksistere.

Selv om princippet om fuldhed eller plenitude altså optræder i antikkens Grækenland, var det først i slutningen af 1600-tallet og især i 1700-tallet at det blev populært og kom til at spille en vigtig rolle også for de unge naturvidenskaber. Hos Spinoza og hans samtidige var det et udtryk for Guds almagt og rationalitet, for "alt hvad vi kan forestille os er i Guds magt, må nødvendigvis eksistere" (Lovejoy 1976, s. 152). Hos Leibniz optrådte det som en variant af kontinuitetsprincippet og andre igen gav det lidt anderledes betydninger. Nu er det klart, at plenitude-princippet i disse formuleringer er

dårligt defineret, ikke mindst på grund af det problematiske begreb om "potentiel eksistens". Vi kan nemt forestille os kentaure og havfruer – men eksisterer disse væsner derfor også i den virkelige verden?

I herværende sammenhæng er den slags kritik dog uvæsentlig, mens pointen er, at plenitude-princippet, dets problematiske karakter til trods, faktisk var af stor heuristisk værdi og gav anledning til hele forskningsprogrammer inden for især de naturhistoriske videnskaber. Den norsk-danske digter og teolog Christian Braunmann Tullin gav ideen om den ubrudte tilværelseskæde poetisk form, idet han i sit digt *Skabningens Ypperlighed* fra 1764 skrev (Kragh m.fl. 2005, s. 35):

Før raabte Himlene, nu Jorden ogsaa skriger:
 Vor Skabnings Kjede er vor Skabers Væsen liig!
 Alt, hvor de seer dig om, er proppet fuld af Liv,
 og intet Rum er tomt; men Creature vrimle
 med mer og mindre Liv: Igjennem alle Himle
 til Jordens Middelpunct fløj Sjele fra hans *Bliv*.

Først væsentligt senere møder man argumenter af samme type inden for teoretisk fysik, især i forbindelse med entiteter, der forudsiges teoretisk. I grundlagsfysik vil man typisk ved "potentiel eksistens" forstå størrelser, der er tilladte efter fysikkens love og som kan beskrives matematisk konsistent. Såfremt dette er tilfældet, vil fysikere være tilbøjelige til at mene, at sådanne hypotetiske størrelser også må have en virkelig eksistens, altså findes som påviselige objekter i naturen. Skulle det alligevel vise sig, at objekterne ikke eksisterer, må man kunne angive teoretiske grunde herfor, fx brud på symmetrier eller love.

De færreste fysikere har kendskab til plenitude-princippet og dets rige idehistoriske baggrund, men ikke desto mindre gør de ofte brug af princippet, enten implicit eller eksplicit. Moderne fysiske teorier har forudsagt den mulige eksistens af en lang række entiteter – elementarpartikler som neutrinoer, magnetiske monopoler og W-bosoner samt astronomiske objekter som neutronstjerner, gravitationsbølger og sorte huller, for blot at nævne nogle eksempler. Da disse forudsagte entiteter ikke forbydes af fysikkens love, antages de at måtte eksistere.

Den magnetiske monopol er en hypotetisk elementarpartikel bestående af en magnetisk ladning, en isoleret nordpol eller sydpol, altså en slags analog til elektriske ladninger som elektronen og protonen. På trods af mange forsøg, er sådanne monopoler aldrig påvist, men man mener i dag, at de formentlig har eksisteret i universets tidligste fase. Da da den engelske fysiker Paul Dirac i starten af 1930'erne ud fra kvantemekanikken viste, at magnetiske monopoler var veldefinerede og tilladte, foreslog han samtidigt, at de derfor måtte findes i naturen. "Under disse omstændigheder," skrev han i 1931, "ville man blive forbavset, hvis naturen ikke havde gjort brug af den [magnetiske monopol]" (Kragh 1990, s. 272). Hans samtidige forudsigelse af positronen, den positivt ladede elektron, var baseret på et tilsvarende plenitude-argument.

Plenitude-lignende argumenter har været og er stadig en vigtig kilde til empirisk efterforskning af forudsagte objekter. Havde det ikke været for fysikernes spontane tillid til plenitude-princippet, ville de næppe have søgt at påvise monopoler og andre hypotetiske partikler. En fysiker, der i 1960'erne var aktiv i forsøget på at påvise de magnetiske monopoler, udtrykte det således: "Alt som *kan* ske, sker også. Derfor må fysikerne formode, at den magnetiske monopol eksisterer, med mindre de kan finde en lov, der forhindrer dens eksistens" (Ford 1963, s. 122). Denne moderne version af plenitude-princippet er

i fuld overensstemmelse med den formulering, den franske oplysningsfilosof Jean-Baptiste René Robinet leverede i 1769, næsten 200 år tidligere: "Ud fra det faktum, at en ting *kan* eksistere, slutter jeg uden videre, at den faktisk eksisterer" (Lovejoy 1976, s. 272).

Mange andre eksempler på brugen af plenitude-argumenter kunne nævnes, både fra fortiden og nutiden og både fra de fysiske og biologiske videnskaber. Jeg skal nøjes med et yderligere og ganske nyt eksempel, der knytter sig til den moderne ide om *multiverset*, dvs. forestillingen om mange adskilte universer hvoraf vores verden kun er et enkelt. Når denne mærkelige ide tages alvorligt i dag, skyldes det ikke mindst at den kan begrundes ud fra strengteoriens ligninger. I en vis forstand svarer en bestemt løsning af disse ligninger til et univers med sine egne naturlove og naturkonstanter. Den ledende strengfysiker og fortaler for multiverset, Leonard Susskind, siger i relation hertil: "Hvad fysikere mener med ordet 'eksistere' er, at det pågældende objekt teoretisk set kan eksistere. Med andre ord, når objektet eksisterer som en løsning til teoriens ligninger" (Susskind 2006, s. 177). Ikke blot mener Susskind, at denne definition retfærdiggør eksistensen af andre universer, han mener også at "perfekt skårne diamanter med en diameter på flere hundrede miles" og "planeter lavet af det reneste guld" eksisterer – for de er jo "mulige objekter og konsistente med fysikkens love"!

Ligesom i tilfældet med mindstevirkningsprincippet er historien om plenitude-princippet et eksempel på, hvordan et idehistorisk tema har spillet både en metafysisk rolle og, senere i historien, en vigtig videnskabelig rolle. Uden i øvrigt at vurdere princippet videnskabelige frugtbarhed, bør det bemærkes, at der er tale om et filosofisk postulat, ikke et videnskabeligt baseret princip. Gennem tiden har det ført til mange korrekte forudsigelser, og dermed til fremskridt i naturerkendelsen, men det har ført til mindst lige så mange

forkerte forudsigelser, der har ledt forskningen ind i blindgyder. Et nyere eksempel er forudsigelsen af tachyoner, hypotetiske partikler med overlyshastighed. Sådanne partikler er overraskende nok tilladte af relativitetsteorien og da dette blev indset i 1960'erne argumenterede man eksplicit, at de derfor "burde" eksistere. Men eftersøgningen gav intet resultat, efter alt af dømme fordi tachyoner ikke findes i naturen. Man er i dag klar over, at disse partikler, om end konsistente med relativitetsteorien, ikke kan beskrives konsistent inden for kvantemekanikkens rammer. De er derfor "forbudte".

Konklusion

Som jeg eksemplarisk har antydnet, er der store og vigtige dele af de fysiske videnskabers historie, der ikke kan forstås tilfredsstillende, såfremt man ikke tager hensyn til den relevante idehistoriske kontekst. De nævnte eksempler er på ingen måde specielle og de kunne nemt suppleres med andre eksempler. De relevante kontekster er i det væsentlige af filosofisk art, nemlig idehistoriske temaer af en mere eller mindre invariant karakter og som i deres tidlige faser var præget af religiøse forestillinger. Men der er mange andre kontekster, fx litterære og almen-kulturelle, der må inddrages for at få et mere komplet billede af, hvordan videnskabelige teorier bliver til og modtages. Vil man fx forstå skabelsen af Einsteins generelle relativitetsteori, bliver man tvunget til at sætte sig ind i de tankegange fra bl.a. David Hume og Ernst Mach, der spillede en betydelig rolle for den unge Einstein (Holton 1988). Og vil man forstå modtagelsen af relativitetsteorien uden for fysikermiljøet, er det en fordel at orientere sig grundigt i litteraturhistorien (se fx Friedman og Donley 1990).

Litteratur:

- Bondi, Hermann og Thomas Gold (1948). "The steady-state theory of the homogeneous expanding universe", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 108, 252-270.
- Cohen, I. Bernard, red. (1978). *Isaac Newton's Papers & Letters on Natural Philosophy*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Cusanus (1997). *Nicholas of Cusa: Selected Spiritual Writings*, oversættelse ved H. Lawrence Bond. New York: Dover Publications.
- Dick, Steven J. (1996). *The Biological Universe: The Twentieth-Century Extraterrestrial Life Debate and the Limits of Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Feuer, Lewis (1974). *Einstein and the Generations of Science*. New York: Knopf.
- Ford, Kenneth W. (1963). "Magnetic Monopoles", *Scientific American* 92 (december), 122-131.
- Friedman, Alan og Carol Donley (1990). *Einstein as Myth and Muse*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gaiser, Julia H. og T. K. Gaiser (1977). "Partons in antiquity", *American Journal of Physics* 45, 439-442.
- Gale, George (1974). "Chew's monadology", *Journal of History of Ideas* 35, 339-348.
- Graham, Daniel W. (2006). *Explaining the Cosmos: The Ionian Tradition of Scientific Philosophy*. Princeton: Princeton University Press.
- Hallam, Anthony (1989). *Great Geological Controversies*. Oxford: Oxford University Press.
- Holton, Gerald (1988). *Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Johansen, Karsten Friis (1991). *Den Europæiske Filosofis Historie: Antikken*. København: Nyt Nordisk Forlag.
- Kragh, Helge (1987). *An Introduction to the Historiography of Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kragh, Helge (1990). *Dirac: A Scientific Biography*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kragh, Helge (1996). *Cosmology and Controversy: The Historical Development of Two Theories of the Universe*. Princeton: Princeton University Press.

- Kragh, Helge (2001). *Universet i Perspektiv: Kosmologi, Filosofi og Teologi*. København: Fremad.
- Kragh, Helge m.fl. (2005). *Natur, Nytte og Ånd: Dansk Naturvidenskabs Historie*, bd. 2. Århus: Aarhus Universitetsforlag.
- Lovejoy, Arthur (1976). *The Great Chain of Being*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Lucretius (1950). *Livet og Døden*, oversættelse og gendigtning ved Axel Juel. København: Gyldendal.
- Lucretius (1997). *On the Nature of Things*, oversat af J. S. Watson. Amherst, NY: Prometheus Books.
- Milne, Edward A. (1933). "World-structure and the expansion of the universe," *Zeitschrift für Astrophysik* 6, 1-35.
- Newton, Isaac (1966). *Principia*. Berkeley: University of California Press.
- Pedersen, Olaf (1960). *Mekanikkens Udvikling efter Newton* (upubliceret manuskript, Institut for Videnskabsstudier, Aarhus Universitet).
- Planck, Max (1915). "Das Prinzip der kleinsten Wirkung", i *Physik: Kultur der Gegenwart*, red. Emil Warburg, s. 692-702. Leipzig: Teubner.
- Sachs, Mendel (1976). "Maimonides, Spinoza, and the field concept in physics", *Journal of the History of Ideas* 37, 125-131.
- Sambursky, Samuel (1963). *The Physical World of the Greeks*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Susskind, Leonard (2006). *The Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design*. New York: Little, Brown, and Co.
- Szabó, István (1977). *Geschichte der mechanischen Prinzipien*. Basel: Birkhäuser.
- Toulmin, Stephen (1962). "Historical inference in science: Geology as a model for cosmology", *The Monist* 47, 142-158.
- Vaas, Ruediger, red. (2010). *Beyond the Big Bang*. Berlin: Springer-Verlag.
- Wallace, Alfred R. (1903). *Man's Place in the Universe*. New York: McClure & Philips.
- Yourgrau, Wolfgang og Stanley Mandelstam (1968). *Variational Principles in Dynamics and Quantum Theory*. New York: Dover Publications.

RePoSS issues

- #1 (2008-7) **Marco N. Pedersen**: "Wasan: Die japanische Mathematik der Tokugawa Ära (1600-1868)" (Masters thesis)
- #2 (2004-8) **Simon Olling Rebsdorf**: "The Father, the Son, and the Stars: Bengt Ström-gren and the History of Danish Twentieth Century Astronomy" (PhD disser-tation)
- #3 (2009-9) **Henrik Kragh Sørensen**: "For hele Norges skyld: Et causeri om Abel og Darwin" (Talk)
- #4 (2009-11) **Helge Kragh**: "Conservation and controversy: Ludvig Colding and the im-perishability of "forces"" (Talk)
- #5 (2009-11) **Helge Kragh**: "Subatomic Determinism and Causal Models of Radioactive Decay, 1903–1923" (Book chapter)
- #6 (2009-12) **Helge Kragh**: "Nogle idéhistoriske dimensioner i de fysiske videnskaber" (Book chapter)
- #7 (2010-4) **Helge Kragh**: "The Road to the Anthropic Principle" (Article)
- #8 (2010-5) **Kristian Peder Moesgaard**: "Mean Motions in the *Almagest* out of Eclipses" (Article)
- #9 (2010-7) **Helge Kragh**: "The Early Reception of Bohr's Atomic Theory (1913-1915): A Preliminary Investigation" (Article)
- #10 (2010-10) **Helge Kragh**: "Before Bohr: Theories of atomic structure 1850-1913" (Arti-cle)
- #11 (2010-10) **Henrik Kragh Sørensen**: "The Mathematics of Niels Henrik Abel: Continua-tion and New Approaches in Mathematics During the 1820s" (PhD disser-tation)
- #12 (2009-2) **Laura Søvsø Thomassen**: "In Midstream: Literary Structures in Nineteenth-Century Scientific Writings" (Masters thesis)
- #13 (2011-1) **Kristian Danielsen and Laura Søvsø Thomassen (eds.)**: "Fra laboratoriet til det store lærred" (Preprint)
- #14 (2011-2) **Helge Kragh**: "*Quantenspringerei*: Schrödinger vs. Bohr" (Talk)
- #15 (2011-7) **Helge Kragh**: "Conventions and the Order of Nature: Some Historical Per-spectives" (Talk)
- #16 (2011-8) **Kristian Peder Moesgaard**: "Lunar Eclipse Astronomy" (Article)
- #17 (2011-12) **Helge Kragh**: "The Periodic Table in a National Context: Denmark, 1880-1923" (Book chapter)
- #18 (2012-1) **Henrik Kragh Sørensen**: "Making philosophy of science relevant for sci-ence students" (Talk)

RePoSS (Research Publications on Science Studies) is a series of electronic publications originating in research done at the Centre for Science Studies, University of Aarhus.

The publications are available from the Centre homepage
(www.css.au.dk/reposs).

ISSN 1903-413X

Centre for Science Studies
University of Aarhus
Ny Munkegade 120, building 1520
DK-8000 Aarhus C
DENMARK
www.css.au.dk



Faculty of Science
Department of Science Studies

AARHUS UNIVERSITET

