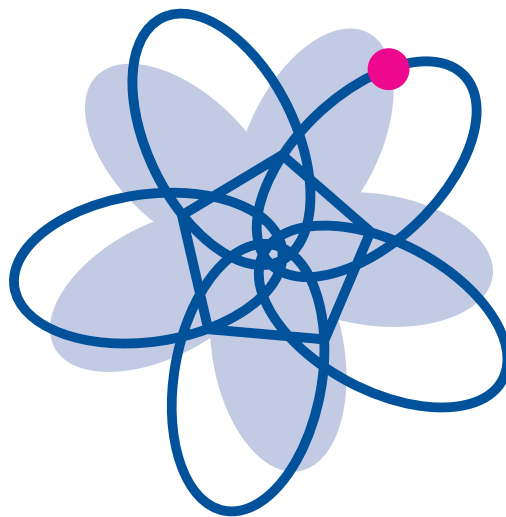


RePoSS #20:

Har Naturvidenskaben en Fremtid?

Helge Kragh

September 2012



Please cite this work as:

Helge Kragh (Sept. 2012). *Har Naturvidenskaben en Fremtid?*
RePoSS: Research Publications on Science Studies 20. Aarhus:
Centre for Science Studies, University of Aarhus. URL: <http://www.css.au.dk/reposs>.

Har Naturvidenskaben en Fremtid?

HELGE KRAGH*

Naturvidenskaber som fysik, astronomi og biologi har udviklet sig eksplosivt i det 20. århundrede. Vi har i sagens natur ingen sikker viden om, hvordan de vil udvikle sig i fremtiden, og om fremtidige opdagelser kan vi kun gisne. Mens der er yderst pålidelige forudsigelser om naturen baseret på videnskabelige teorier, er der ingen tilsvarende forudsigelser om videnskaben selv. Alligevel er vi ikke henvist til rene gætterier, for den nyere videnskabs historie giver os i det mindste et fingerpeg om den fremtidige udvikling. Men nok heller ikke mere.

Et af de scenarier, der har været diskuteret for især den teoretiske fysiks vedkommende, er, at man om relativ kort tid vil have fundet den endegyldige syntese af alle de fundamentale naturlove. Når og hvis dette sker, vil der på dette niveau af naturforståelsen i princippet ikke være mere at gøre. Fysikken vil have nået en afslutning – være blevet et offer for sin egen succes. Efter en klassisk reduktionistisk tankegang vil de øvrige videnskaber ligeledes være blevet forstået på det fundamentale niveau. Men er den megen snak om en "teori om alting" andet end blot snak? Og er der nogen mulighed for, at denne mytiske teori bliver en del af fremtidens videnskab? Før vi ser på disse spørgsmål, må vi forstå forholdet mellem fortid og fremtid og naturvidenskabens placering i dette forhold.

* Center for Videnskabsstudier, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet. E-mail: helge.kragh@ivs.au.dk. Artiklen er en let revideret og udvidet version af et bidrag skrevet i 2010 til en bog med titlen *Fremtidens Verden*, der under redaktion af Ole Høiris skulle udkomme på Aarhus Universitetsforlag. Da det synes usikkert, om bogen udkommer, kommunikerer jeg bidraget i denne form.

Om fortid og fremtid

Vi har viden om nutiden, både videnskabelig og anden form for viden, fordi vi lever i den og umiddelbart har eller kan skaffe erfaringer om den. Når en videnskabsmand laver et eksperiment, giver det os en form for viden, der har stor troværdighed: Eksperimentet kan kritiseres og gentages, netop fordi det foregår i nutiden. Men engang vil det ikke længere høre til nutiden, men derimod til fortiden. Den både traditionelle og fundamentale skelnen mellem fortid, nutid og fremtid giver forskellige vilkår for at have viden om verden, alt efter hvilke af de tre områder der er tale om. Nutiden er som antydnet erkendelsesmæssigt privilegeret, fordi den eksisterer. Derimod eksisterer fortidige hændelser ikke (længere), og de vil aldrig kunne genskabes eller komme tilbage; i en streng forstand er fortiden fastlåst og uforanderlig. Hvad der er sket, er sket, og det kan ikke gøres usket. Fremtiden eksisterer heller ikke (endnu), for fremtidige hændelser er jo endnu ikke indtrådt. Hvordan kan vi have viden om noget, der ikke eksisterer?

Spørgsmålet er ikke specielt dybt med hensyn til fortiden, for vi har som bekendt en omfattende og troværdig viden om store dele af den ikke-eksisterende fortid. Når historikere har detaljeret og erfaringsbaseret viden om f.eks. antikkens Grækenland, eller palæontologer om for længst uddøde dinosaurer, skyldes det, at vi i dag har spor eller kilder fra disse fortider. I bred almindelighed har den normale kildebaserede historiske metode også gyldighed for de naturvidenskaber som geologi, astronomi og palæozoologi, der har naturens fortid som del af deres genstandsområde. Denne ganske vidtgående analogi mellem den egentlige historie og de historiske naturvidenskaber – eller måske bedre: udviklingsvidenskaber – blev fremført allerede i oplysningstiden. Den fremragende franske naturforsker Georges Louis Leclerc (1707-

1788), bedre kendt som Comte du Buffon, formulerede analogien i værket *Époque de la Nature* fra 1778. Heri skrev han:

Ligesom vi i det civile samfunds historie konsulterer befalinger, studerer ordner og dechifrerer gamle inskriptioner for at bestemme den menneskelige omvæltningens epoker, og daterer moralske hændelser, således må man i naturhistorien grave gennem verdens arkiver, uddrage gamle levn fra Jordens indvolde, sammensætte deres fragmenter og samle i et enkelt bevismateriale al den evidens for de fysiske ændringer, der kan bringe os tilbage til naturens forskellige epoker. (Toulmin og Goodfield 1982 s. 144; min oversættelse)

Buffon tænkte især på jordens geologiske historie, som han mente kunne rekonstrueres ud fra endnu eksisterende levn fra dens fortid, men hans historiske metode havde almen gyldighed for naturvidenskaber med et udviklingsperspektiv.



Fig.1: Comte du Buffon, Georges Louis Leclerc

Den historiker, der beskæftiger sig med f.eks. samfundsforholdene i antikkens Grækenland, vil især studere skrevne kilder fra den pågældende tid, men også interessere sig for andre former for kilder eller levn der kan kaste lys over den relevante fortid. Kilderne må naturligvis være autentiske og fortolkes i lyset af en mere eller mindre eksplicit historisk opfattelse eller hypotese. Først gennem analyse og fortolkning bringes kildematerialet i en sådan tilstand, at historikeren kan bruge det som et levende dokument om den døde fortid. Noget lignende gælder for de naturvidenskaber, der beskæftiger sig med fortidens natur. Palæozoologen opnår sine informationer om dinosaurer og andre uddøde dyrearter ved at studere spor fra fortiden i form af f.eks. fossiler, mens astronomen kan få viden om solsystemets oprindelse gennem studiet af meteoritter og klimatologen tilsvarende vil bruge målinger af iltisotoper fra den grønlandske indlandsis til at skaffe sig viden om fortidens klima- og temperaturforhold.

Mens vi således kan have viden om fortiden, om end kun en delvis viden, er situationen anderledes med hensyn til fremtiden. Vi har for eksempel erindringer om fortiden, men – på trods af påstande om clairvoyance – ingen som helst om fremtiden. Vi kan ikke have kilder fra fremtiden, da denne jo ikke er foregået endnu, så der synes ikke at kunne være nogen empirisk baseret fremtidshistorie i analogi med den almindelige (fortids)historie. Det er der heller ikke, men alligevel er fremtiden ikke lukket land i erkendelsesmæssig henseende, og den er ikke overladt til rene gæt og profetier.

Umiddelbart kan det synes tillokkende at opfatte fortid og fremtid som symmetriske, men der er efter almindelig opfattelse en fundamental forskel på dem. Denne forskel giver sig udslag i en bestemt "retning" af tiden, der som en pil altid går *fra* fortiden via nutiden og *til* fremtiden. Den fremragende engelske astronom Arthur

Eddington (1882-1944) indførte begrebet om "tidens pil" for denne retning, der er knyttet til det fundamentale årsagsbegreb. Ser vi bort fra kvantemekanikkens mærkværdigheder, så foregår fænomener i naturen som følge af årsager, som er før den virkning, der udgør fænomenet. Hvis klimaet om 50 år viser sig at være væsentligt varmere end i dag, skyldes det årsager (menneskeskabte eller naturlige), der har deres rod i fortiden, måske i vores nutid.

Almindelig kausalitet eller årsagssammenhæng indebærer, at fremtidige hændelser, eller i det mindste nogle af dem, er bestemt af nutidige hændelser; eller, hvad der er det samme, at nutidige hændelser er bestemt af fortidens. Mens fortiden er lukket, forekommer fremtiden os "åben", som en verden af muligheder der endnu ikke er fastlagt. Filosofer har ganske vist leget med tanken om "baglænskausalitet", det vil sige, at fremtidige hændelser kan være årsager til nutidige. Ifølge denne tankegang er fremtiden ikke mindre lukket end fortiden (Faye 1989). Man kan således hævde, at fortiden ikke ville have været det, den var, hvis ikke nutiden (som er fortidens fremtid) var det, den er. Selv om ideen om baglænskausalitet og symmetri mellem fortid og fremtid er logisk mulig, er den i modstrid med vore erfaringsbaserede intuitioner og også med den sædvanlige opfattelse af fysikkens love.

Det er dog værd at fremhæve, at disse love i almindelighed er tidssymmetriske og således ikke skelner mellem fortid og fremtid. Isaac Newtons (1643-1727) og Albert Einsteins (1879-1955) teorier udtaler sig om begge regimer og med samme styrke. Af denne grund giver naturlovene os viden om fremtiden, endda ofte mere pålidelig og præcis viden end om fortiden. Allerede den græske filosof Thales (ca. 625-545 fvt.) skal ifølge legenden – som dog kun er en legende – med held have forudsagt en solformørkelse i året 585 fvt., og senere generationer af astronomer har rutinemæssigt og med stor præcision forudsagt hændelser på himlen. Naturvidenskabens store

forudsigelseskraft indebærer, at vi faktisk har pålidelig viden om fremtiden, endog den meget fjerne fremtid. Vi ved således at jorden om ca. 6 milliarder år vil fordampe, fordi solen udvikler sig til en rød kæmpestjerne.



Fig. 2: Pierre-Simon Laplace

Hvis fysikken var helt deterministisk, sådan som man mente indtil kvantemekanikken kom på banen i 1920'erne, ville der i en fysisk forstand ingen forskel være mellem fremtid og fortid. For den tidsløse Gud er denne forskel ikke virkelig, og den ville heller ikke være det for en alvidende fysiker. Dette er, hvad den franske matematiker og fysiker Pierre-Simon Laplace (1749-1827) formulerede i en passage i sit indflydelsesrige værk *Exposition du Système du Monde* fra 1796 [figur 2]. Det

er her Laplaces berømte "intelligens" eller "dæmon" optræder. I dansk oversættelse (der som de øvrige oversættelser af citater skyldes mig) siger Laplace:

Vi må derfor forestille os den nuværende tilstand af verden som virkningen af dens tidligere tilstand og som årsagen til dens fremtidige tilstand. Lad os forestille os en intelligens, der på et givet tidspunkt kendte alle de kræfter, der virker i verden, og de forskellige tilstande af de legemer, der udgør den; hvis denne intelligens kunne analysere alle disse data, da ville den i en enkelt formel kunne omfatte bevægelsen af både universets største legemer og dets mindste atom: intet ville være usikkert for den, og den ville for sit øje have hele fortiden såvel som fremtiden. (Kragh 2008, s. 19)

Laplaces superintelligens hører til fantasiens eller religionens verden, om end der faktisk er moderne fysikere, der seriøst mener, at fremtidens fysik vil føre til en altomfattende erkendelse af en noget lignende art.

Under alle omstændigheder, selv om en stor del af naturen er principielt forudsigelig, så gælder denne forudsigelighed næppe det menneskelige samfund og de produkter, materielle eller intellektuelle, der udspringer af menneskelig virksomhed. Naturvidenskab er et sådant produkt. Vi kan ud fra vores nuværende viden præcist forudsige, hvornår Venus vil passere solskiven næste gang, hvilket vil ske 11. december 2117, efter at den lige har passeret her, nemlig den 6. juni 2012. Vi kan også forudsige, om end langt mindre præcist og kun under forudsætning af visse antagelser, hvordan klimaet vil ændre sig i fremtiden. Men kan vi også forudsige naturvidenskabens fremtidige tilstand – f.eks. dens omfang og nye erkendelser anno 2100? Eller anno 2500?

Fremtidsforskning eller såkaldt futurologi beskæftiger sig med fremtidige muligheder for samfundets udvikling, ikke i form af egentlige lovbaserede forudsigelser, men ved at angive plausible alternativer for den fremtidige udvikling og

veje til at nå dem (Thastrup 1991). Betragtet som et socialt system adskiller den videnskabelige verden sig ikke afgørende fra andre sociale systemer, og den kan som disse gøres til genstand for studier af en sociologisk art, herunder også fremtidsstudier. Forskningspolitik og -planlægning indeholder naturligt elementer af fremtidsforskning. Mange forskere og planlæggere beskæftiger sig i dag med f.eks. de ressourcer, der i fremtiden vil eller bør bruges til videnskabelige formål.

Mens der således ikke kan være tvivl om, at videnskaben som socialt system er et legitimt område for realistiske fremtidsstudier, stiller sagen sig tilsyneladende anderledes med hensyn til det kognitive niveau, altså den fremtidige naturerkendelse. Traditionelt har dette niveau ikke været dækket af fremtidsforskningen, idet man har lagt vægt på, at netop videnskabelige opdagelser og teknologiske opfindelser er principielt uforudsigelige. Ikke desto mindre er der dog flere forsøg på fremtidsscenarier, også for udviklingen af den videnskabelige erkendelse. I nogle tilfælde er nye opdagelser ikke ganske uforudsigelige, men snarere forventelige; de vil blive gjort, hvis der investeres tilstrækkelige ressourcer i at gøre dem. I figur 3 er vist et forsøg fra 1981 på at forudsige fremtidige astronomiske opdagelser ud fra vigtige opdagelser siden 1600-tallet.

Det er værd at påpege en vigtig forskel mellem videnskabelige forudsigelser og de prognoser, fremtidsforskningen beskæftiger sig med. Forudsigelser baseret på naturlove er om fremtidige tilstande af naturen, uanset om disse tilstande er ønskværdige eller ej. Derimod indeholder fremtidsforskningens scenarier næsten altid et normativt element, idet man vurderer nogle scenarier til at være mere ønskværdige end andre. Man søger at se ind i fremtiden for at kunne forme denne fremtid i overensstemmelse med målsætninger af en social, politisk og økonomisk art. I modsætning til fysikeren er fremtidsforskeren ikke interesseret i fremtiden, som den vil

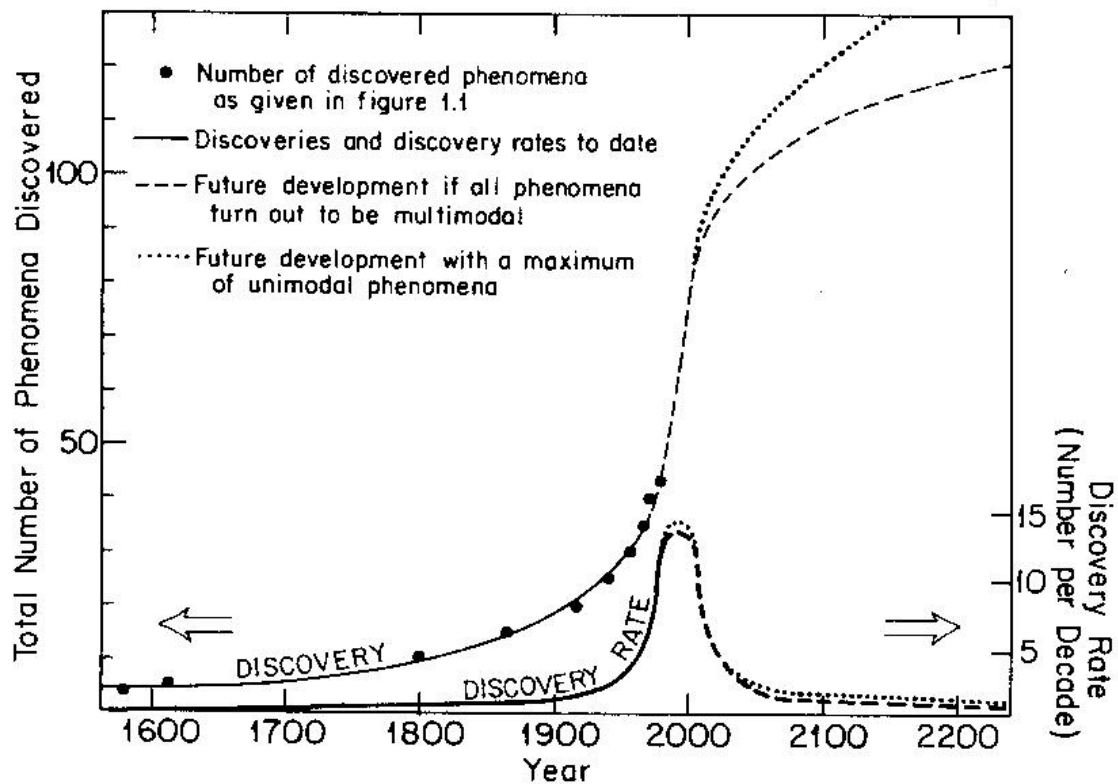


Fig. 3. Astrofysikeren Martin Harwits forsøg fra 1981 på at kortlægge og ekstrapolere vigtige opdagelser af astronomiske fænomener. Han kunne ikke forudse opdagelsen af hverken exoplaneter (1995), kosmiske gammaglimt (1997) eller universets acceleration (1998).

være under alle omstændigheder; tilgangen til fremtiden er af en teknologisk snarere end videnskabelig art (Kragh 1985; Kragh og Pedersen 1991, s. 256-265).

Tendenser og ekstrapolationer

Fremtidsforskning er langt fra nogen eksakt videnskab. I mange tilfælde er dens bud på fremtiden ikke andet end kvalificerede fremskrivninger af tendenser, der kan spores gennem f.eks. de sidste par tiår. Man forlader sig altså på den kendte nyere historie og ekstrapolerer denne ud i den ukendte fremtid i form af et eller flere plausible scenarier.

Dette er naturligvis en primitiv metode, men den er ofte det eneste alternativ til rene spekulationer. Selv om historien ikke er en god guide til fremtidens verden, er den ofte den eneste guide. Historien gentager sig ikke, men vi kan ikke desto mindre lære af den. Det er derfor værd at se på de tendenser, der har præget naturvidenskabens udvikling gennem det 20. århundrede, og specielt på udviklingen i sidste halvdel af århundredet. Vil disse tendenser fortsætte i den nære fremtid? Jeg vil bruge de fysiske videnskaber som eksempel, men omtrentligt tilsvarende tendenser kan spores i flere af de andre naturvidenskaber.

For så vidt det drejer sig om naturvidenskaben som et socialt system, der producerer viden og anvendelser heraf, har der især siden 1950 været nogle ret klare tendenser (Fink m.fl. 2003, s. 180-186). Disse kan samles i seks punkter, hvoraf jeg dog kun skal kommentere enkelte. De væsentlige tendenser synes at være:

1. Vækst
2. Kollektivisering
3. Globalisering
4. Specialisering
5. Teknologisering
6. Kommercialisering

Væksten kan opgøres på flere måder, f.eks. ved antallet af forskere, antallet af forskningspublikationer, antallet af laboratorier og lignende institutioner, eller ved de økonomiske midler der bruges til naturvidenskabelig forskning. Uanset hvilken parameter, der bruges, er væksten et markant træk ved udviklingen. Dette kan illustreres af, at ca. 80 % af alle naturforskere i historien stadig lever i dag. Væksten kan yderligere eksemplificeres med tal fra fysikken, der omkring 1900 i alt omfattede mellem 1200 og 1500 professionelle fysikere, typisk ansatte ved universiteter og tekniske højskoler. Disse fysikere, hvoraf langt de fleste var fra Europa, producerede

omkring 2400 forskningsartikler (Kragh 1999b, s. 13-21). Hundrede år senere var der globalt omkring 150.000 fysikere og antallet af artikler var af størrelsesordenen 200.000. Med andre ord, gennem århundredet har fysikken vokset med en faktor på ikke mindre end 100, hvilket er en kolossal vækst. (Man kan f.eks. sammenligne med verdens befolkning, der i det 20. århundrede voksede med en faktor på ca. 3).

Naturligvis kan en sådan vækst ikke fortsætte, og ved slutningen af det 20. århundrede kan man da også spore afmatningstendenser i videnskaben som helhed og direkte nedgang på enkelte områder. Den kvantitative udvikling af videnskaben synes at følge en S-kurve, eller hvad matematikere kalder en logistisk kurve. En sådan er karakteriseret ved at væksten flader ud og asymptotisk tenderer mod en nulvækst, svarende til en bestemt mætningsgrad. Meget tyder på, at vi allerede er tæt på denne mætning.

Mens naturvidenskab og teknologisk forskning endnu i 1930'erne kun nød meget beskednen økonomisk støtte, bliver disse områder i dag opfattet som en væsentlig del af mange landes økonomiske politik. Man har ofte særskilte videnskabs- eller forskningsministerier, sådan som Danmark har haft siden 1994. Den brede kategori betegnet som "forskning og udvikling" tegner sig i de rige lande typisk for 2-3 % af nationalproduktet, og fremskrivninger antyder en fortsat men langsom vækst til måske 4-5 %. Tallene omfatter såvel offentlige som private midler. Videnskab er i sit væsen international, men har dog indtil for ret nylig hovedsageligt været dyrket inden for nationale rammer. Dette har i væsentlig grad ændret sig, idet naturvidenskaben i stigende grad er blevet international eller global også i den forskningsmæssige praksis. Denne tendens mod globalisering afspejler sig i forskningspublikationerne, der i stigende grad har flere forfattere af forskellig nationalitet. Mellem 1981 og 1995 steg

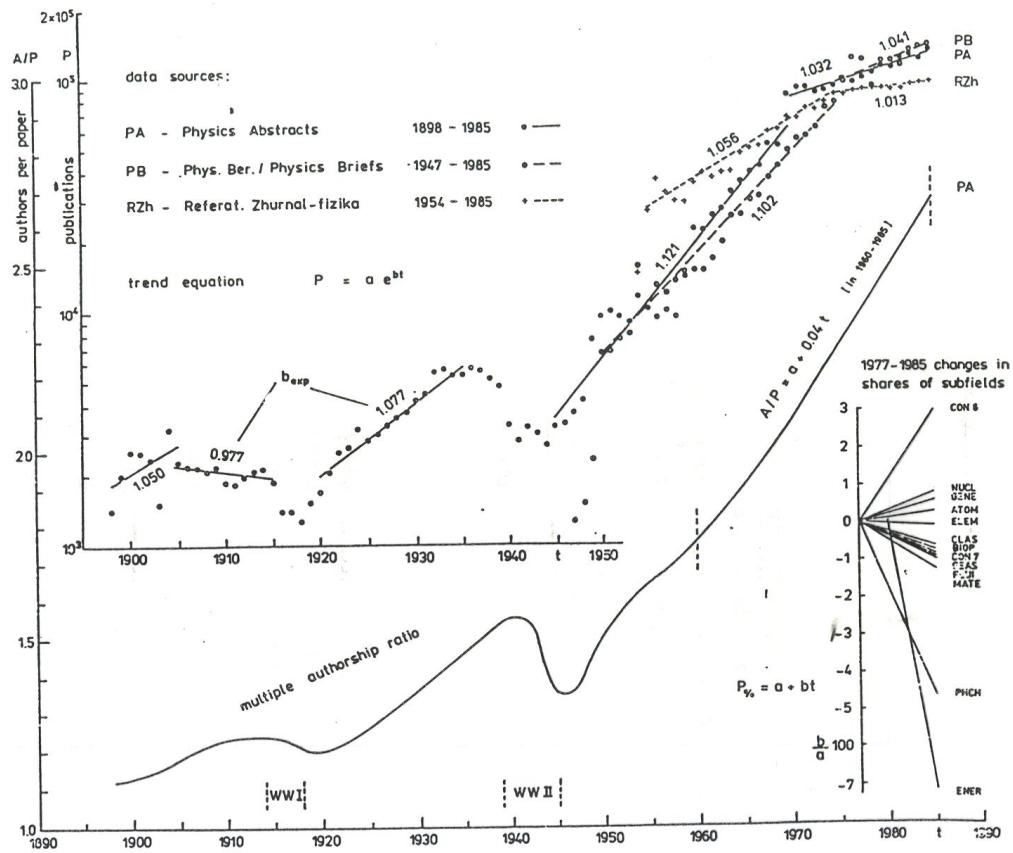


Fig. 4: Væksten i antallet af forskningsartikler i fysik ca. 1895-1985 (lille graf). Bemærk den semilogaritmiske skala, dvs. at en ret linje fremstiller en eksponentiel vækst med en konstant vækstrate. Den større graf angiver det gennemsnitlige antal forfattere pr. artikel i samme periode. For begge grafers vedkommende er indflydelsen af de to verdenskrige ganske klar.

antallet af artikler af denne art med hele 200 %, og alt tyder på, at denne form for globalisering vil fortsætte i fremtiden (Fink m.fl. 2003, s. 184).

Publikationsstatistikker fortæller os yderligere om den kollektivisering, der er en vigtig tendens i dele af moderne naturvidenskab, især i de eksperimentelle områder. Det er derimod en tendens, der stadig er fremmed for humaniora og den største del af samfundsvidenskaberne. Den traditionelle form for videnskabeligt arbejde var individuel eller foregik i små grupper i form af f.eks. en professor og en eller to

assistenter. Omkring 1900 var næsten alle artikler i fysik skrevet af en enkelt forfatter, mens der halvtreds år senere i gennemsnit var 1,6 forfattere per artikel; og ved århundredets afslutning var tallet vokset til 3,4 [Fig. 4]. Eksperimentalvidenskab dyrkes i dag af grupper, ikke enkelte forskere, og disse grupper kan være meget store. Tilsvarende kan forskningsartikler indeholde et meget stort antal forfattere, nogle gange flere hundrede.

Som et bemærkelsesværdigt men ikke meget ekstremt eksempel kan nævnes en 6-siders artikel i *Physical Review Letters* fra 2006, hvor en række fysikere rapporterede om deres – i øvrigt mislykkede – forsøg på at producere og påvise en bestemt elementarpartikel (en såkaldt magnetisk monopol) i en accelerator ved det store amerikanske fysiklaboratorium kaldet Fermilab (Fermi National Accelerator Laboratory) uden for Chicago. Artiklen havde 657 fysikere angivet som forfattere, og denne store gruppe af "forfattere" var fordelt på fysikere fra 57 forskellige institutioner og 21 forskellige lande [Fig. 5]. Det er værd at hæfte sig ved antallet af fysikere involveret i dette ene forskningsprojekt, idet det svarer til omkring halvdelen af verdens fysikere omkring 1900! Der er her tale om et klart eksempel på hvad der kaldes "big science", nemlig meget store og dyre forskningsprojekter med et stort antal forskere. Det amerikanske Fermilab og det europæiske CERN (Conseil Européen pour la Recherche de Nucléaire) er typiske eksempler på big science af en grundvidenskabelig karakter, mens andre eksempler kan findes i især astronomiske og kosmologiske forskningsprojekter (Galison og Hevly 1992).

Nogle af de her nævnte tendenser vil utvivlsomt fortsætte og endda forstærkes i fremtidens videnskab, mens andre af tendenserne nok vil stagnere eller svækkes. Mit bedste bud er, at det første vil ske med hensyn til kollektivisering, globalisering og ikke mindst teknologisering, idet det sidstnævnte begreb hentyder til den stærkt voksende



Fig. 5: Denne første side af en artikel om et fysisk big-science eksperiment viser omkring halvdelen af de mange forskere, der har været med til eksperimentet. Bemærk af de er opført alfabetisk.

betydning, avanceret teknologisk apparatur har haft for moderne naturvidenskab. Naturvidenskaben vil blive mere og mere "teknovidenskabelig". Derimod synes den generelle vækst at have nået eller næsten nået et mætningspunkt. Forskning er stadig et politisk mantra og vil vedblive med at være det i de næste mange årtier, men det er et mantra, der mere går på anvendt forskning end grundforskning. Jeg anser det for udelukket, at naturvidenskabelig grundforskning i det 21. århundrede vil opleve en vækst af samme eksplosive art som den, der prægede det 20. århundrede.

Når det drejer sig om naturvidenskabelig erkendelse i form af nye teorier, begreber og opdagelser, er der ikke megen hjælp at hente i analogier eller tendenser fra historien. Vi kan kun i beskeden grad forudsige, hvad der vil komme. Hvis vi ser tilbage på videnskabshistorien, er der al mulig grund til skepsis med hensyn til forudsigelser af det erkendelsesmæssige niveau i fremtidens videnskab.

Den amerikanske fysiker og senere nobelpristager Albert Michelson (1852-1931) mente i 1894, at "de fleste af fysikkens fundamentale principper er utvivlsomt sikkert fastlagte, og det videre fremskridt vil hovedsageligt bestå i en øget anvendelse af disse principper på nye områder" (Kragh 1999b, s. 3). Han var overbevist om, at fysikkens grundlag i form af den newtonske mekanik og den på æteren baserede maxwellske elektrodynamik var endegyldigt sikret. Nye overraskelser, der ville kuldaste dette grundlag, var ganske usandsynlige. Michelson var ikke den eneste, der så frem til en lang periode af konsolidering på grundlag af æteren og den klassiske fysiks etablerede principper, men han tog grueligt fejl i sin forudsigelse. Mindre end tyve år senere var "fysikkens fundamentale principper" ikke, hvad de havde været. Hverken Michelson eller andre fysikere i datiden kunne forudsige den revolution i det fysiske verdensbillede, der i det 20. århundredes begyndelse skete i form af relativitetsfysikken og kvanteteorien.

Diskussionen om fysikkens fremtid

Mange forfattere og naturforskere har gennem det sidste århundrede givet deres bud på, hvordan naturvidenskaben vil udvikle sig i fremtiden. Ud fra vores privilegerede position i starten af det 21. århundrede kan det være interessant at se på, hvor gode eller dårlige disse fremtidsscenarier har været. Jeg skal nævne nogle eksempler fra fysikken. I 1927 skrev den engelske fysiker og forfatter Lancelot Whyte (1896-1972) en

bog med titlen *Archimedes, or the Future of Physics*, hvori han under indtryk af de nye relativitets- og kvanteteorier spekulerede over den fremtidige udvikling. Specielt profeterede han, at den nye fysik ville få afgørende betydning for vores viden om bevidstheden. "Vi står på tærsklen af en ny epoke," skrev han. "Fysik, biologi og psykologi konvergerer mod en videnskabelig syntese af en så enestående vigtighed ... at den vil udgøre et helt nyt stadium i den menneskelige udvikling" (Whyte 1927, s. 9). Han gav dog ikke noget bud på, hvordan denne konvergens ville foregå, og hans profeti kan ikke siges at være blevet opfyldt. I dag, mere end firs år senere, har fysikken ganske vist været i stand til at forklare en del af de neurologiske processer, men bevidstheden er dog ikke blevet en del af fysikken. Vi har ikke oplevet noget så grandiose som "et helt nyt stadium i den menneskelige udvikling".

Af større interesse er en artikel fra 1949, hvori den fremtrædende russisk-amerikanske kernefysiker og kosmolog George Gamow (1904-1968) diskuterede, hvilken form for fysik der ville være i fremtiden. Ville den erkendelsesmæssige horisont stadig udvides, som tilfældet havde været gennem de sidste 50 år, eller var fysikken ved at konvergere mod et system af fundamental og endelig viden? Gamow argumenterede ud fra den nyere historie, at en fundamental fysik baseret på nogle få naturlove og deres tilhørende naturkonstanter var inden for rækkevidde. Specielt foreslog han, at ideen om en "mindste længde" af samme størrelsesorden som en atomkerne (ca. 10^{-15} m) ville bringe orden og enhed i fysikkens grundlag. Hvis en sådan orden blev fundet, hvilket han anså for sandsynligt, ville den aldrig ændres. I en vis forstand ville fysikken nå sin afslutning:

Så ... ville vi kunne sige, at fysikken havde nået sin afslutning; at der ikke længere var nogen spændende opdagelser at gøre, og at alt, hvad fysikerne havde at tage sig til, enten var at udarbejde de kedsommelige detaljer eller at beundre storheden i det fuldendte system. På dette stadium ville den fysiske

videnskab gå fra Columbus' og Magellans epoke til en epoke svarende til *National Geographic Magazine*! (Gamow 1949, s. 18)

Gamow troede dog næppe i fulde alvor, at fysikken ville "slutte" i form af et fuldstændigt og permanent system af naturlove i den nære fremtid. Under alle omstændigheder var dette ikke, hvad der skete. I årene efter 1949 blev der tværtimod gjort en lang række nye opdagelser, der udbyggede og ændrede fysikkens grundlag. Da Gamow døde i 1968, havde den fysiske forskningslitteratur på ingen måde ligheder med *National Geographic Magazine*. Fysikerne var stadig opdagelsesrejsende, og de fortsatte med at gøre nye og forbavsende opdagelser af fundamental karakter.

Ikke desto mindre pegede Gamows diskussion mod et tema, mange senere fysikere ville tage op, og som vil blive omtalt nedenfor. Dette tema var muligheden for en endelig og afsluttet form af fysikkens grundlag. Den velkendte teoretiske fysiker Richard Feynman (1918-1988) var blandt dem, der diskuterede Gamows tema og fandt det relevant. I 1965, samme år som han modtog nobelprisen i fysik, funderede han over grundlagsfysikkens fremtid, som han mente, var begrænset (Kragh 1999b, s. 451). Vi kan ikke blive ved at opdage nye fundamentale naturlove, sådan som vi hidtil har gjort. En dag i den nære fremtid vil denne form for fysik stagnere eller endog degenerere, mente han. Ifølge Feynman var netop det 20. århundrede den epoke, hvor naturens grundlæggende love blev opdaget, og en tilsvarende epoke ville aldrig komme igen.

Den engelsk-amerikanske teoretiker Freeman Dyson har blandt andet lavet grundlæggende arbejder inden for den kvantemekaniske beskrivelse af elektromagnetiske processer. Denne teori, kaldet kvanteelektrodynamikken, havde Feynman som en anden af sine arkitekter. Den var færdigudviklet omkring 1950 og er den mest præcise videnskabelige teori nogen sinde. I 1970 reflekterede Dyson over

fysikkens nære fremtid, hvor han især så store muligheder inden for tværdisciplinære områder som astrofysik og molekylærbiologi. Derimod havde han blandede følelser med hensyn til datidens mest prestigefyldte og fundamentale disciplin, elementarpartiklernes fysik (Dyson 1970). For at udforske dette område eksperimentelt måtte man bygge nye og meget dyre acceleratorer, og Dyson var skeptisk med hensyn til deres videnskabelige værdi. For at studere processer ved meget høje energier kunne man satse på gigantiske acceleratorer, men man kunne ikke forvente, at de meget store investeringer ville resultere i banebrydende ny erkendelse. Dyson tilrådede derfor at satse på studiet af den kosmiske stråling, hvor de naturlige energier er meget høje, og hvor han mente at chancen for nye opdagelser var større. Dette var dog ikke, hvad der skete gennem de næste tiår. I denne periode udviklede den acceleratorbaserede fysik sig stærkt, og der blev faktisk gjort en række vigtige opdagelser som følge heraf. Den sidste i rækken er opdagelsen af den såkaldte Higgs-boson, der under stor mediebevågenhed blev offentliggjort af fysikere ved CERN i juli 2012.

Dyson var optimist med hensyn til fysikkens fremtid og mente ikke, i modsætning til Feynman og flere andre fysikere, at den nogen sinde ville komme til en afslutning. Han var overbevist om, at naturen er uudtømmelig – ”uendelig i alle retninger”, som han har udtrykt det – og at studiet af naturen derfor også er uudtømmeligt. Men ikke alle områder ville være lige frugtbare eller indbringende at satse på. Han forudså og anbefalede, at i resten af århundredet ville stjernerne og de biologisk aktive molekyler blive fysikkens nye og dominerende jagtmarker. Især argumenterede han for, at fysikken ville bidrage afgørende til løsningen af biologiske problemer, sådan som den allerede havde gjort. Som han påpegede, så var flere gennembrud inden for molekylærbiologien lavet af forskere uddannet i fysik og ved hjælp af fysiske teknikker. Francis Crick (1916-2004), der i 1953 sammen med James

Watson foreslog den berømte dobbeltspiralmode for dna-molekylet, var oprindeligt fysiker; og det samme gjaldt for Max Perutz (1914-2002), der i 1959 kunne fastslå molekylstrukturen for hæmoglobin. Både Watson og Perutz modtog nobelprisen for deres arbejder, men i henholdsvis biologi og kemi. Ifølge Dyson ville fremtidens fysik være præget af en lignende slags anvendte bidrag snarere end af mere traditionel fysik.

I sine refleksioner over fysikkens fremtid kunne Dyson få øje på to forhold, der muligvis ville udgøre en fare for fortsat vækst og frugtbarhed i de fysiske videnskaber:

Den ene er, at vi løser alle de større uløste problemer. Det ville være en katastrofe, men jeg er ikke bange for, at det vil ske i den nærmere fremtid. Den anden katastrofale ting ville være, hvis vi blev så rene og isolerede fra livets praktiske problemer, at ingen af de klogeste og mest engagerede studerende længere ville studere fysik. Denne anden fare anser jeg for at være virkelig.
(Dyson 1970 s. 28)

Dyson havde nok ret i, at en stor del af den naturvidenskabelige interesse i sidste del af det 20. århundrede var fokuseret på biologien snarere end på den traditionelle fysik. Og han havde også ret i, at fysikken har været en vigtig faktor i molekylærbiologiens fortsatte vækst. Men vi kan i dag se, at hans vision af fysikkens anvendelsesområder var alt for snæver, og at hans noget mørke billede af elementarpartikelfysikkens fremtid næppe var berettiget. Samlet må man sige, at ingen af de fire her nævnte fremtidsscenarier – af henholdsvis Whyte, Gamow, Feynman og Dyson – passede særlig godt med de fysiske videnskabers faktiske udvikling.

Den ændring af fysikkens karakter, som blandt andre Dyson forudså, kan konfronteres med nobelpriserne i det 21. århundrede. Disse prestigefyldte priser tildeles jo netop banebrydende og innovativ forskning, og de afspejler til en vis grad fysikersamfundets prioritering af forskningsområder. I overensstemmelse med Dysons

forventninger er der i nobelsystemet sket en ændring mod mere anvendelsesbetonet forskning og væk fra tidligere tiders fokus på elementarpartiklernes fysik. Mere end halvdelen af de nobelpriser, der er blevet tildelt siden 2000, må karakteriseres som belønninger til anvendelser eller udviklinger af især atom- og kvantefysikken. Der er blevet givet priser til udviklingen af moderne informationsteknologi (2000), til kvanteoptik og laserspektroskopi (2005), til optiske fibre og halvlederteknologi (2009), og til den materialfysiske forståelse af det plane grafenmolekyle (2010). Tilsvarende er der givet to nobelpriser for opdagelser inden for astrofysik og kosmologi (2002 og 2011). Denne udvikling er interessant, men den bekræfter ikke ganske Dysons profeti om molekylærbiologi som et nyt fokusområde for fysikken. Faktisk er der ikke givet en eneste nobelpris i fysik til arbejder af en biofysisk art eller på anden vis relateret til det biologiske fagområde.

Fysikkens afslutning?

Som antydnet i citaterne fra Gamow og Dyson kan man forestille sig, at fysikken, i det mindste på det helt fundamentale niveau, engang i den ret nære fremtid vil nå sin afslutning, nemlig når man har opdaget og forenet alle de grundlæggende naturlove. Ideen om at al fysik – og dermed (?) al videnskabelig forståelse af naturen – i princippet kan formuleres som nogle få naturlove, eller måske blot som en enkelt superlov, kan findes så langt tilbage som hos Laplace. Det er dog først i det 20. århundrede, at ideen er blevet taget alvorligt som andet end blot en filosofisk trossætning (Lindley 1993). Med kvantemekanikken og Einsteins relativitetsteori for tyngdekraften (gravitationen) blev mange teoretiske fysikere overbeviste om, at fysikken havde fundet et permanent grundlag. Dette er stadig tilfældet, idet de to teorier i dag opfattes som fundamentale og i praksis uantastelige. Fysikere har særdeles

god fantasi, men de kan ikke forestille sig, at kvantemekanikken eller relativitetsteorien skulle være forkerte, højst at de har et lidt begrænset anvendelsesområde.

Efter den nævnte tankegang er det netop fysikkens ultimative mål at finde de grundlæggende love og formulere dem i en enhedsteori inden for en fælles matematisk ramme. Når denne teori er fundet, vil den være endelig, og fysikken på det fundamentale niveau vil være et overstået kapitel. Der vil da ikke være andet for fysikerne at foretage sig end at fordøje denne "teori om alting" (TOE, *theory of everything*) og udlede konsekvenserne af den. En sådan udledning til målelige fysiske fænomener vil i princippet kunne foregå som en ren matematisk deduktion fra teorien, om end udledningen i praksis måske er umulig. Ud fra teorien om alting vil vi ikke blot have et fuldstændigt kendskab til nutidens fænomener, men også til fremtidens. Da teorien er kvantemekanisk, vil dette kendskab til fremtiden dog ikke være deterministisk som hos Laplace, men være i form af sandsynligheder for fremtidige hændelser.

Der er almindelig enighed om, at alle fysiske love eller vekselvirkninger kan inddeles i fire klasser, nemlig gravitation, elektromagnetisme, svage vekselvirkninger og stærke vekselvirkninger. Mens de elektromagnetiske og gravitationelle kræfter kontrollerer almindeligt stof og astronomiske fænomener, er de svage og stærke kræfter kun af betydning på atomkernernes og elementarpartiklernes niveau. Af de fire kræfter kan de tre sidstnævnte beskrives inden for kvantemekanikkens rammer i form af en forenet teori, der kendes som standardmodellen (den nylige opdagelse af Higgs-partiklen anses som en yderligere bekræftelse af denne standardmodel). Uheldigvis er dette ikke tilfældet med gravitationen, idet Einsteins teori er helt og aldeles anderledes end den kvantemekaniske teori. Problemet med at skabe en forenet kvantegravitationel teori, der altså samler alle fire vekselvirkninger i en fælles matematisk og

begrebsmæssig ramme, har udfordret fysikere og matematikere i mere end halvtreds år, uden at det endnu er løst – og uden at vi ved, om problemet overhovedet kan løses eller om det nødvendigvis er et problem. Ikke desto mindre er der sket fremskridt hen ad vejen mod den formodede teori om alting (Weinberg 1994; Kragh 2011, s. 292-305).

Et af disse fremskridt skete i slutningen af 1970'erne, da fysikere formulerede en teori om "supergravitation", der på kvantemekanisk grundlag søgte at forklare også gravitationen. Det var denne teori, der inspirerede den berømte engelske teoretiker Stephen Hawking til et foredrag i 1979 med titlen "Er Fysikkens Afslutning i Sigte?". Han mente, at spørgsmålet skulle tages alvorligt og nok måtte besvares med et "ja, måske". Denne holdning var ikke et udtryk for pessimisme, men tværtimod for optimisme, for en sådan afslutning ville være glorios, den største triumf nogensinde for den fysiske videnskab, ja for hele den menneskelige tænkning. Noget naivt (som han senere blev tvunget til at indrømme) forudså han, at i løbet af en generation ville vi nok have "en fuldstændig, konsistent og forenet teori for de fysiske vekselvirkninger der vil kunne beskrive alle mulige iagttagelser" (Hawking 1980, s. 2).

Andre prominente fysikere har givet udtryk for lignende tanker, dog typisk på en mere forsigtig måde. En af dem er den amerikanske teoretiske fysiker Steven Weinberg, der i 1979 fik nobelprisen for at have fundet en fælles teori for de svage og elektromagnetiske vekselvirkninger. Denne "elektrosvage" teori var en stor succes og blev betragtet som et vigtigt skridt på vejen mod en endnu mere omfattende teori. For Weinbergs vedkommende var det ikke teorien for supergravitation, der inspirerede ham til at tage teorien om alting alvorligt, men den noget senere og endnu mere ambitiøse teori for superstrenger.

Denne teori, ofte kendt som blot strengteorien, er en fundamental teori, ifølge hvilken alle naturens vekselvirkninger er manifestationer af vibrationstilstande af et

endimensionalt objekt kaldet en "streng". Mens strengen eller superstrengen selv har blot en enkelt dimension, beskrives den i et fysisk rum med ni dimensioner, i modsætning til vores almindelige tredimensionale rum. Hertil kommer i begge tilfælde en enkelt tidsdimension. De sidste matematiske udviklinger inden for strengteori har resulteret i en klasse af teorier, der betegnes M-teori, og hvor antallet af rumlige dimensioner er ti. Da strengteori ikke blot beskriver de kvantemekaniske vekselvirkninger, men også indeholder den einsteinske gravitation, betragtes den af mange fysikere som det bedste bud på en teori om alting. Weinberg hørte til de fysikere, der var imponeret over strengteoriens matematiske struktur og muligheder for at give en enhedsbeskrivelse af alle fysiske fænomener.

Når Weinberg havde tiltro til strengteorien som en mulig endelig teori for fysikken, var det af teoretiske og ikke eksperimentelle grunde. Fysik på denne skala ville næppe kunne testes på nogen direkte måde, men den ville alligevel kunne vurderes, nemlig ud fra matematiske konsistenskriterier. Hvis den logiske og matematiske struktur af teorien var tilstrækkelig overbevisende, var det i sig selv et tegn på dens sandhed. Den endelige eller definitive teori måtte efter Weinbergs opfattelse være logisk isoleret, mens den ikke kunne være logisk uundgåelig. Med logisk isolation mente han at "den fundne definitive teori [må] være så stram, at den ikke kan modificeres det mindste, uden at det fører til logiske absurditeter. ... Den store teori må være som et stykke fint porcelæn, der ikke kan bøjes uden at gå itu. I så fald vil vi, selv om vi ikke kan vide, hvorfor den store teori gælder, ud fra den rene matematik og logik vide, hvorfor sandheden ikke er en anden" (Weinberg 1994, s. 205).

En sådan logisk isoleret teori eksisterede allerede i form af kvantemekanikken, og for Weinberg at se var den kvantegravitationelle strengteori en naturlig generalisation af denne yderst pålidelige og gennemprøvede teori. Weinberg var godt

klar over, at hele ideen med en endelig teori kunne opfattes som kontroversiel. Hvis vi i princippet ved alt, hvad der kan vides, vil naturens fascinerende magi da ikke forsvinde og blive reduceret til tørre matematiske ligninger? Den slags romantiske indvendinger havde han dog ikke noget tilovers for. Han fandt ingen grund til at beklage, at dagdrømmeri og fantasteri blev erstattet med rationel viden. Opdagelsen af de definitive naturlove, mente han, ville "give mindre plads til irrationelle forestillinger." Blandt sådanne irrationelle forestillinger nævnte han astrologi og ekstreme politiske ideologier, uden dog at nævne hvilke.

Der er næppe mange fysikere, der for alvor tror på, at en teori om alting er en realistisk mulighed i den nære fremtid, uanset om denne teori er baseret på strengteorien eller har en anden baggrund. Men nogle tager den endelige teori meget alvorligt og nøjes ikke med at skrive om den i populærvidenskabelige sammenhænge (Tegmark 2008). Som et eksempel kan nævnes den svensk-amerikanske fysiker Max Tegmark, der i flere arbejder har udarbejdet et skelet for en næsten maksimalt ambitiøs teori om alting. Tegmarks teori er matematisk snarere end fysisk i en traditionel forstand, idet han argumenterer, at den fysiske virkelighed grundlæggende består i matematiske strukturer. Ultimativt er der intet andet i verden end disse matematiske strukturer, der i vores univers manifesterer sig i form af de kendte fysiske love. En sådan tankegang er karakteristisk for den platonisk-pythagoræiske tradition i naturfilosofien, men hos Tegmark er der ikke tale om filosofi, men – ifølge ham selv – om eksakt fysik.

Som det fremgår af figur 6, er Tegmarks forslag til en fremtidig teori om alting stærkt reduktionistisk, idet al videnskab vil kunne udledes logisk fra den endnu ikke kendte kvantegravitationelle superteori. Denne reduktionisme, der er et almindeligt træk blandt mange teoretiske fysikere, bliver opfattet som en dyd og en nødvendighed.

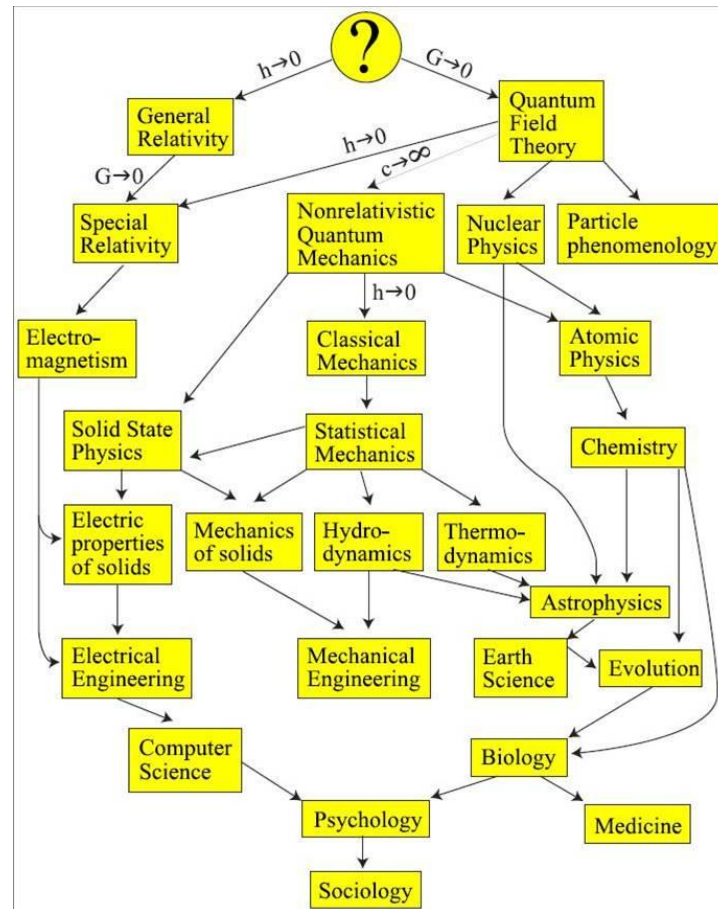


Fig. 6: Max Tegmarks reduktionistiske teori for alting, hvorfra alle andre teorier kan udledes. De mest fundamentale og generelle teorier er for oven, de mindst fundamentale for neden.

Ikke blot vil alle de kendte fysiske discipliner følge af den endelige teori, det samme vil være tilfældet med ingeniørvidenskaber, geologi, biologi og medicin; ja, selv psykologi og sociologi bliver reduceret til særtilfælde af den sagnomspundne (og trods alt helt hypotetiske) teori om alting.

Ideen om en endelig teori, der i princippet vil betyde fysikkens afslutning, er forståeligt nok blevet kritiseret af både fysikere og filosoffer (Scoular 2007; Taylor 1993). Mange fysikere afviser hele filosofien bag denne ide, der reduktionistisk hævder

en lineær forbindelse mellem teorien og fysikkens påviselige fænomener. Imidlertid er mange vigtige fænomener emergente, det vil sige, at de afhænger af bestemte organisationsformer og kollektive tilstande, som ikke kan reduceres til simple tilstande. Et eksempel er superledning ved relativt høje temperaturer, der kun optræder på et højt kompleksitetsniveau. Tankegangen blandt fysikere og andre forskere, som arbejder med materialer og komplekse systemer, er ganske anderledes end den reduktionistiske og fundamentalistiske tankegang, der kan findes i dele af det partikelfysiske miljø.

Den amerikanske fysiker og nobelpristager Robert Laughlin har påpeget, at ideen om den endelige teori hviler på en uholdbar reduktionisme. Denne teori, skulle den en dag blive fundet, vil være ganske hjælpeløs med hensyn til den virkelige verdens fænomener (Kragh 2011, s. 275). Teorien om superstrenger er matematisk imponerende, men trods alt kan strengfysikere ikke engang udlede elektronens masse ud fra teorien. Laughlin og andre kritikere af den dominerende partikelfysik mener ikke, at fysikken går en sort fremtid i møde, men nok at denne type teoretisk grundlagsfysik gør det og bør gøre det. Ifølge disse kritikere vil fysikken ændre karakter i fremtiden, hvor jagten efter grundlæggende teorier og ligninger vil blive nedprioriteret eller måske helt opgivet. Til gengæld vil studiet af emergente fænomener inden for f.eks. materialefysik og biofysik få større vægt og blive anset for mere interessant og relevant. Skulle udviklingen gå i denne retning, vil store dele af fysikersamfundet hilse det velkomment.

Der er andre grunde til at modsætte sig den endelige teori eller betvivle muligheden for den. Denne teori må nødvendigvis være formuleret i avanceret matematik, eller den må i sit væsen være matematisk, som tilfældet er hos Tegmark. Men ifølge et berømt teorem, som den tyske logiker Kurt Gödel (1906-1978) udledte i

1931, så er matematikken fundamentalt ufuldstændig: Det er altid muligt at konstruere sande sætninger, der ikke kan bevises. Dette problem vil formentlig også opstå i en fysisk-matematisk teori om alting, og derfor umuliggøre den i en streng forstand. Det er ikke bevist at Gödels ufuldstændighedsteorem på denne måde ødelægger drømmen om en teori om alting, men nogle fysikere finder slutningen rimelig.

I en forelæsning fra 2002 gjorde Hawking brug af Gödels teorem til at argumentere imod den teori om alting, han tidligere havde støttet (Hawking 2002). Han konkluderede nu, at fysikken aldrig ville blive afsluttet, og at den fortsat ville udvikle sig gennem nye teorier og opdagelser. Hawkings holdning mindede om den, Dyson havde givet udtryk for gennem lang tid, og som han i sine Gifford Lectures fra 1985 netop formulerede med henvisning til Gödels teorem:

Det er mit håb, at vi kan bevise, at fysikkens verden er lige så uudtømmelig som matematikkens verden. Nogle partikelfysikere tror, at de er ved at nærme sig en fuldstændig forståelse af de grundlæggende naturlove. ... Men jeg håber, at ideen om en endelig formulering af fysikkens love vil vise sig at være lige så illusorisk som ideen om en formel beslutningsproces for hele matematikken. Jeg ville blive skuffet, hvis det skulle vise sig, at hele den fysiske virkelighed kan beskrives i en endelig mængde af ligninger. (Dyson 2004 s. 53)

Endelig er der mere filosofiske og generelle indvendinger imod begrebet om en endelig og altomfattende teori. Hvis en sådan teori eller forklaringsprincip P er af en ultimativ karakter, da kan der ikke være en dybere forklaring, som dækker P . Enten må P selv forblive uforklaret, i hvilket tilfælde teorien ikke er om alting, eller den må på en eller anden måde være selvforklarende. Men i naturvidenskaben forklarer man ikke ting ved at påstå, at de er selvforklarende eller selvindlysende. Hvis vi ikke desto mindre finder en kandidat for P , f.eks. i form af strengteori eller M-teori, hvordan kan vi da vide at det er den ultimative forklaring? Teorien selv vil være uforklaret, og det samme

vil være tilfældet med de objekter (f.eks. strenge) den bygger på. Strengteorien antager eksistensen af superstrenge, den forklarer dem ikke og kan ikke gøre det.

Den almindelige holdning blandt filosoffer og mange fysikere synes at være, at den endelige teori om alting er et fantasifoster, om end af en intellektuelt tiltrækkende slags. Det er en forførende drøm, der gennem historien har ført til værdifuld indsigt i de fundamentale naturlove, men det er ikke andet end en drøm eller en nyttig illusion. På den anden side er der ingen grund til at tro, at drømmen ikke vil leve videre i fremtidens fysik. Man kan heldigvis ikke slå drømme ihjel eller teste dem i laboratoriet.

Alternativer og paradigmer

Drømmen eller mareridtet om en endelig fysisk teori er på mange måder af perifer betydning i forhold til de mere generelle udfordringer, naturvidenskaben står over for og må forholde sig til i fremtiden. En stor del af disse udfordringer er af en samfundsmæssig karakter snarere end knyttet til erkendelsesmæssige aspekter i form af teorier og opdagelser. Videnskaben har siden Galileo Galileis (1564-1642) tid gennemløbet en historie, der har været en enestående succes, men det følger ikke heraf, at succesen fortsætter i fremtiden. Kan vi være sikre på, at der ved næste århundredskifte vil eksistere en videnskab af samme størrelsesorden, vitalitet og type som i dag? Det er i denne sammenhæng værd at huske på, at det videnskabelige projekt er mindre end 500 år gammelt og ikke en naturlig eller nødvendig del af menneskelige samfund. Naturvidenskaben er på mange måder unaturlig (Wolpert 1992). Det er ikke aldeles absurd at forestille sig et fremtidigt samfund uden naturvidenskab eller, måske mere realistisk, med videnskabelige aktiviteter på et væsentligt lavere blus og med andre prioriteringer end i dag.

Naturvidenskab på en skala, som den vi kender i dag, afhænger af en udbredt politisk og folkelig velvilje. Den militære interesse i sagen er heller ikke uvæsentlig, specielt ikke i store nationer som USA, Rusland og Kina. Denne velvilje er der i det store og hele, men den er der ikke automatisk eller betingelsesløst. Der har altid været kritik af naturvidenskaben, enten konstruktiv kritik eller destruktiv kritik i form af skeptiske og antividskabelige strømninger, og disse kritiske røster hører ikke kun fortiden til. De er ikke i sig selv noget stort problem, men de bør minde os om, at befolkningens tillid til den eksisterende form for videnskabelighed potentielt er skrøbelig og ikke kan tages for givet. Diskussionen om intelligent design i forhold til den etablerede neodarwinistiske udviklingsbiologi er en påmindelse herom.

Der kan være mange grunde til at afvise eller kritisere moderne naturvidenskab, strækkende sig fra en total afvisning af det videnskabelige projekt til forhåbninger om at kunne revidere det radikalt i form af en eller flere alternative videnskaber. Der findes en ret udbredt følelse af, at det videnskabelige krav om kontrol og objektivitet har gjort naturvidenskaben irrelevant i forhold til menneskers eksistentielle relationer og tilværelsens åndelige dimensioner. Det er da også tilfældet, for den etablerede naturvidenskab har intet at sige herom. Fysikkens rolle i fremtidens samfund var emnet for en UNESCO-konference i 1999, hvor man blandt andet diskuterede nogle af de problemer, naturvidenskaben havde i forhold til den brede befolkning. Man noterede sig, at mange mennesker opfatter videnskaben som "kold" og "fremmedgørende". Desuden konkluderede man, at "irrationelle opfattelser er blevet almindelige, og de omfatter ofte en modstand mod videnskabelige holdninger og endog videnskabelig viden" (Mackintosh 1999). Disse observationer er utvivlsomt korrekte, men de er ikke specielt karakteristiske for vor tid.

Utilfredsheden med naturvidenskaben kan være af politisk art, som når det hævdes, at den er en form for naturerkendelse, der tjener kapitalens og ikke folkets interesser; den kan være af moralsk eller filosofisk art, som når det hævdes, at videnskaben i sit væsen er reduktionistisk, manipulerende, maskulin og teknokratisk; eller den kan være religiøst eller åndeligt orienteret, som når det påpeges (i hovedsagen korrekt), at videnskaben begrænser sig til det fysiske og målelige, men pr. definition ignorerer de åndelige og ikke-målelige dimensioner af verden.

Den slags kritik har givet anledning til mange forsøg på at erstatte den herskende form for videnskab med alternative videnskaber, f.eks. baseret på mental indleven i naturen og et tæt samspil mellem menneske og natur. Som et eksempel kan nævnes de feministiske alternativer, der i dele af humaniora har spillet en betydelig rolle, men som ikke haft nogen egentlig gennemslagskraft i de naturvidenskabelige miljøer. Ifølge nogle versioner af den feministiske kritik er naturvidenskaben ikke blot mandsdomineret; selve den videnskabelige måde at tænke og handle på er maskulin i sit væsen (Harding 1986). Hvis det er tilfældet, vil der formentligt kunne udvikles et feministisk alternativ i form af en ny og bedre videnskabelighed. Denne nye form for videnskabelighed kan hævdes at adskille sig fra den gamle maskuline form ved blandt andet at sammentænke naturbeskrivelsen med politiske og moralske perspektiver. Den alternative feministiske videnskab er dog snarere et program end en realitet, og det samme kan siges om de fleste andre alternativer. Man må nok konkludere, at hvis der findes veje til videnskabelig naturerkendelse, der radikalt adskiller sig fra den etablerede videnskabs veje, så er de ikke opdaget endnu. Det er ikke urimeligt at slutte, at det er fordi, sådanne alternative veje ikke findes.

Selv om egentligt alternative videnskaber næppe bør tillægges stor betydning, er det ikke utænkeligt, at de etablerede videnskabelige metoder og standarder ændrer sig

i fremtiden. Disse standarder har været relativt stabile siden Galileis tid, men dog undergået ændringer, og i nyere tid er de endnu en gang blevet gjort til genstand for diskussion blandt naturforskerne selv. Den traditionelle form for naturvidenskab har været en frugtbar dialog mellem teori og eksperiment (eller observation), hvor sidstnævnte bruges til at vurdere teoriens styrke og troværdighed; desuden fungerer eksperimentet eksplorativt, dvs. til at afdække naturfænomener og gøre nye opdagelser. Det afgørende er, at en teori, for overhovedet at kunne betegnes videnskabelig, må føre til sådanne forudsigelser eller konsekvenser, at de kan testes eksperimentelt. Denne metode har været et fundament for videnskaben gennem mere end 400 år og er stadig alment accepteret.

Imidlertid er der nogle områder af moderne videnskab, især inden for teoretisk fysik og kosmologi, der har vanskeligt ved at leve op til det klassiske kriterium for videnskabelighed. Dette gælder for teorien om superstrengte og også for den måske endnu mere spekulative teori om mange kausalt adskilte universer, det såkaldte multivers. Fysikere, der arbejder med disse teorier, kan være fristet til at bruge andre standarder i vurderingen af dem end empirisk testbarhed. Dette er forståeligt nok med til at gøre teorierne kontroversielle. Man kan f.eks. bruge kriterier af ren matematisk art, eller man kan bruge antropiske argumenter, det vil sige sådanne, der er baseret på eksistensen af mennesker eller lignende avanceret liv i universet. Ifølge det antropiske princip, der stammer fra 1974, betinger vores eksistens den måde verden er og har udviklet sig på. Vi kan forklare verden ved at henvise til os selv!

Det overordnede problem er, hvordan man skal afgøre, om et forskningsprogram er progressivt eller ej, eller om det overhovedet er videnskabeligt. Findes der ufravigelige kriterier, som enhver videnskab må leve op til? I så fald, hvem har ret til at bestemme disse kriterier og dermed i en vis forstand definere

videnskaben? Der har gennem det sidste tiår været en diskussion i fysikermiljøet om den slags spørgsmål, sådan at der internt er åbnet for en bredere forståelse af, hvad videnskab er (Kragh 2011; Kragh 2012). Den centrale placering, som eksperimenter og observationer traditionelt har haft, bliver ikke længere accepteret overalt. Inden for teorien om multiverset er nogle fysikere ikke blot parate til at forlade kriteriet om empirisk testbarhed, de har også alternative opfattelser af naturlovenes karakter, og hvad der kan anerkendes som forklaringer og forudsigelser. Man kan forestille sig, at ikke-empiriske standarder vinder udbredelse i fremtidens videnskab, hvilket i så fald vil indebære et ganske radikalt brud med traditionen. Der vil da være tale om et paradigmeskift i den stærke forstand, filosofen Thomas Kuhn (1962-1996) introducerede det i sin bog om videnskabens revolutioner fra 1962.

I og med at denne debat vedrører selve definitionen af god videnskab, er den af fundamental betydning og af interesse også uden for forskernes rækker. Kan fysikere eller andre videnskabsmænd selv vælge de relevante kriterier til bedømmelse af deres videnskab? Det er der tilsyneladende nogle, der mener, mens kritikere fastholder værdien af almene kriterier baseret på især empirisk testbarhed. Som den amerikanske fysiker Robert Ehrlich har udtrykt det: "Beslutninger om, hvad der udgør en legitim videnskabelig teori, er simpelt hen for vigtige til at blive overladt til udøverne af det pågældende område; de har tydeligvis en egeninteresse i det, som ønsket om at sikre fortsat økonomisk støtte" (Ehrlich 2006, s. 86). Naturen fortæller os ikke, hvad der er god videnskab, og hvad der ikke er det; der må være nogen til at træffe beslutningen. Men hvem?

Moderne naturvidenskab er endnu ikke blevet "postmoderne", men der er ifølge nogle iagttagere tendenser i en postmoderne retning. Hermed menes, at videnskabelige spørgsmål ikke afgøres ved sammenligning med eksperimentelle data,

men f.eks. ud fra matematiske eller æstetiske standarder eller måske ud fra deres sociale ønskværdighed. Det afgørende for den slags postmoderne videnskab er ikke, om en teori er sand eller falsk, men om den fremstår som interessant eller ej.

Videnskabsjournalisten John Horgan skrev i 1996 en bog med titlen *The End of Science*, hvori han indførte navnet "ironisk videnskab" for den slags videnskab, der ikke kan konfronteres med den objektivt givne natur eller finder en sådan konfrontation væsentlig. Det bliver interessant at se, om den ironiske eller postmoderne form for videnskab også bliver fremtidens videnskab. Jeg har dog mine tvivl.

Et forsigtigt bud på fremtidens videnskab

I betragtning af hvor uheldige mange prognoser om videnskaben har været, kan det synes hasarderet at komme med endnu et bud gældende for det 21. århundrede. Det bliver da også kun et forsigtigt bud på naturvidenskabens situation og status omkring 2050. En prognose med et længere tidsperspektiv vil blive for spekulativ.

Jeg ser ingen gode grunde til, at det offentlige engagement i videnskaben skulle blive mindre i den nære fremtid. Tværtimod, jeg vil forvente at både private og offentlige udgifter til den naturvidenskabelige forskning vokser i de kommende tiår, om end væksten i de rige lande nok bliver moderat. Den væsentligste grund til den forventede vækst er ikke en stor interesse for naturvidenskaben som sådan, men en fortsat voksende erkendelse af videnskaben som produktivkraft. Som nævnt er det allerede et mantra, at hvis man vil klare sig økonomisk i morgendagens hårde globale konkurrence, må man satse på forskning. Og det er ikke blot et mantra eller en tom frase, men en realitet. Det betyder dog formentlig også, sådan som der allerede er tendenser til, at det er de anvendte og udviklingsorienterede videnskaber, der særligt vil blive tilgodeset. Jeg anser det for ret sandsynligt, at den type grundvidenskab, der

primært er erkendelsesorienteret, vil få mindre midler og en lavere prioritet. Det vil blive stadig sværere at argumentere for big-science-projekter af den type, vi i dag ser i CERN eller i forbindelse med de store rumprojekter. CERN vil stadig være der i år 2050, og rumprojekterne vil ikke være skrinlagt, men ekstravagante big-science-projekter vil der ikke længere være tale om.

Internt i den store og heterogene gruppe af naturvidenskaber vil der ske ændringer i en retning mod det anvendelsesorienterede og samfundsrelevante. De medicinske videnskaber vil fortsætte med at blomstre i forbindelse med nye fremskridt i genetik, nanomedicin og molekylærbiologi, og områder som computervidenskab, bioteknologi, nanovidenskab og miljøvidenskaber vil blive endnu mere centrale end i dag. Dele af de biologiske og fysisk-kemiske grundvidenskaber vil følge med i denne vækst, mens andre dele vil opleve en nedgang. Astrofysikere og partikelfysikere vil i 2050 se tilbage på slutningen af det 20. århundrede med en god del misundelse. Generelt vil de biologiske, neurologiske og miljørelaterede videnskaber blive anset for mere interessante og relevante end de fysiske og astronomiske videnskaber.

Den naturvidenskab, der dyrkes i midten af det 21. århundrede, vil ikke adskille sig væsentligt fra den der dyrkes i dag. Vi vil i hovedsagen opleve mere af samme slags. Metoderne vil grundlæggende være de samme, blot vil avancerede instrumenter og massiv computerkraft spille en endnu større rolle. Alternative standarder for vurdering af videnskab, postmodernistiske eller andre, vil ikke have vundet indpas og kun interessere humanister og sociologer. Drømmen om en endelig enhedsteori for de fysiske vekselvirkninger vil stadig blive forfulgt af matematiske fysikere, men der vil være færre af dem, og deres drøm vil have et mere sekterisk præg end tidligere. Streng- eller M-teorien forbliver en matematisk model uden eksperimentel støtte og mister derfor det meste af fordums aura. Dog vil den fortsætte med at udfordre

matematikerne. Disse noget konservative profetier vedrører de fysiske videnskaber. Det er måske mere rimeligt at forestille sig en form for revolutionær ændring inden for de biologiske og neurovidenskabelige områder, idet disse videnskabers grundlag er genstand for større usikkerhed og diskussion.

Der vil næsten med sikkerhed blive gjort vigtige, måske endda epokegørende opdagelser i det kommende halve århundrede, hvor en række videnskabelige gåder vil blive løst. Men slet ikke alle. For at begrænse mig til kosmologiens område, så tror jeg, at fysikere og astronomer i 2050 vil vide, hvad den gådefulde mørke energi er, og også forstå naturen af det mørke stof. Derimod vil de stadig ikke vide, om universet er uendelig stort eller ej, og de vil heller ikke vide, om universet i en absolut forstand havde en begyndelse i tiden.

Har vi nogen gode grunde til at tro, at vores nuværende videnskabelige verdensbillede også vil være verdensbilledet om 40 år? Eller om 100 år? Viser videnskabshistorien os ikke, at veletablerede teorier, som f.eks. fysikkens æterteori i slutningen af 1800-tallet eller kemiens tidligere flogistonteori (en populær teori fra 1700-tallet om bl.a. forbrændingsprocesser) næsten altid har været forkerte, og det selv om der var gode grunde til at tro på dem? Har vi grunde til at tro, at vore nutidige teorier adskiller sig fra denne historiske tendens? Ja, jeg vil mene at vi har sådanne grunde, om end de ikke er tvingende. Efter min og mange andres vurdering – og det kan kun være en vurdering – er det højst usandsynligt, at vi vil opleve en ny revolution af den art, fysikere i starten af 1900-tallet iværksatte i form af kvante- og relativitetsteorierne. En vigtig del af vore nuværende teorier er stabile og i det mindste tilnærmelsesvist sande, og de er testet så overbevisende at vi har al mulig grund til at tro, at de også vil være gyldige i fremtiden. Anno 2050 vil fysikere som en selvfølge

forlade sig på kvantemekanikken, lige som geologer fortsat vil bygge deres viden på den pladetektoniske teori og biologer på den neo-darwinistiske evolutionsteori.

Naturen vil utvivlsomt fortsætte med at levere os overraskelser, store såvel som små, men de vil næppe være i stand til at ryste verdensbilledet i dets grundvold. Det må på det nærmeste betragtes som udelukket, at naturvidenskaberne kommer til at opleve et paradigmeskift af samme drastiske karakter, som da det aristoteliske verdensbillede blev afløst af den galileisk-newtonske version. Dette er unægtelig en konservativ og ikke særlig spændende prognose, men den er nok mere realistisk end de scenarier, der forudser en fremtidens videnskab byggende på helt nye opdagelser og nye paradigmer. Dog er der en enkelt mulig opdagelse, der efter min vurdering kan vende op og ned på vores opfattelse af både verden og mennesket, nemlig hvis der etableres kontakt med en civilisation uden for solsystemet. Skulle dette ske, vil det have konsekvenser, man knap kan forestille sig.

Litteratur

- Dyson, Freeman J. 1970. "The future of physics." *Physics Today*, **23**: 9, 23-28.
- Dyson, Freeman J. 2004. *Infinite in All Directions*. New York: Perennial.
- Ehrlich, Robert. 2006. "What makes a theory testable, or is intelligent design less scientific than string theory?" *Physics in Perspective*, **8**, 83-89.
- Faye, Jan. 1989. *The Reality of the Future*. Odense: Syddansk Universitetsforlag.
- Fink, Hans. m.fl. 2003. *Universitet og Videnskab*. København: Hans Reitzels Forlag.
- Galison, Peter og Bruce Hevly, eds. 1992. *Big Science: The Growth of Large-Scale Research*. Stanford: Stanford University Press.
- Gamow, George. 1949. "Any physics tomorrow?" *Physics Today*, **2**: 1, 16-22.
- Harding, Sandra. 1986. *The Science Question in Feminism*. Ithaca: Cornell University Press.
- Harwit, Martin. 1981. *Cosmic Discovery: The Search, Scope & Heritage of Astronomy*. New York: Basic Books.

- Hawking, Stephen. 1980. *Is the End in Sight for Theoretical Physics?* Cambridge: Cambridge University Press.
- Hawking, Stephen. 2002. "Gödel and the end of physics."
<http://www.damtp.cam.ac.uk/strings02/dirac/hawking/>
- Horgan, John. 1996. *The End of Science*. New York: Broadway Books.
- Kaku, Michio. 2011: *Physics of the Future: How Science Will Change Daily Life by 2100*. New York: Doubleday.
- Kragh, Helge. 1985. "Noter om fremtidsforskningens videnskabsteoretiske grundlag."
Futuriblerne, nr. 1-2, 30-35.
- Kragh, Helge. 1999a. *Videnskabens Væsen – en Søgen efter Sand Erkendelse*. København: Fremad.
- Kragh, Helge. 1999b. *Quantum Generations: A History of Physics in the Twentieth Century*. Princeton: Princeton University Press.
- Kragh, Helge. 2008. *Entropic Creation: Religious Contexts of Thermodynamics and Cosmology*. Aldershot: Ashgate.
- Kragh, Helge. 2011. *Higher Speculations: Grand Theories and Failed Revolutions in Physics and Cosmology*. Oxford: Oxford University Press.
- Kragh, Helge. 2012. "Criteria of science, cosmology, and lessons of history."
<http://arxiv.org/abs/1208.5215>.
- Kragh, Helge og Stig Andur Pedersen. 1991. *Naturvidenskabens Teori: En Indføring i Naturvidenskabernes og Teknologiens Filosofiske Problemer*. København: Nyt Nordisk Forlag.
- Lindley, David. 1993. *The End of Physics: The Myth of a Unified Theory*. New York: Basic Books.
- Mackintosh, Robert S. 1999. International workshop on the future of physics and society.
 Arxiv:physics/9904013.
- Scoular, Spencer. 2007. *First Philosophy: The Theory of Everything*. Boca Raton, Florida: Universal Publishers.
- Taylor, John G. 1993. "On theories of everything." *Foundations of Physics*, **23**, 239-243.
- Tegmark, Max. 2008. "The mathematical universe." *Foundations of Physics*, **38**, 101-150.
- Thastrup, Tom E. 1991. *Fremtidsforskning: Hvorfor og Hvordan*. Herning: Systime.
- Toulmin, Stephen og June Goodfield 1965. *The Discovery of Time*. Chicago: University of Chicago Press.
- Weinberg, Steven. 1994. *Den Store Teori: Jagten på Naturens Grundlove*. København: Gyldendal.
- Whyte, Lancelot L. 1927. *Archimedes, or the Future of Physics*. London: E. P. Dutton & Co.
- Wolpert, Lewis. 1992. *The Unnatural Nature of Science*. London: Faber and Faber.

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 dissertation)
- #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 imperishability 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" (Article)
- #11 (2010-10) **Henrik Kragh Sørensen**: "The Mathematics of Niels Henrik Abel: Continuation and New Approaches in Mathematics During the 1820s" (PhD dissertation)
- #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 lærrød" (Preprint)
- #14 (2011-2) **Helge Kragh**: "*Quantenspringerei*: Schrödinger vs. Bohr" (Talk)
- #15 (2011-7) **Helge Kragh**: "Conventions and the Order of Nature: Some Historical Perspectives" (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 science students" (Talk)

#19 (2012-8) **Helge Kragh**: "Newtonianism in the Scandinavian Countries, 1690–1790"
(Book chapter)

#20 (2012-9) **Helge Kragh**: "Har Naturvidenskaben en Fremtid?" (Book chapter)

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

