

HOLGER BECH NIELSEN

*Videnskabens spekulative sider og  
verdens skabelse*

1 Indledning

Fysikken har ambitioner om at være en teori for alt – ikke sådan forstået, at man ikke har brug for de andre videnskaber – men på den måde, at man skal kunne opfatte f.eks. biologiske systemer som en art fysiske systemer. Der arbejdes meget på at finde en enhedsteori for hele fysikken, og det kan på dette tidspunkt ikke udelukkes, at man allerede har fundet den. Der er nemlig efter min opfattelse nogle forslag, som har en vis chance for at være en korrekt »teori for alt«, nemlig:

1. Superstreng-teorier.
2. »Babyunivers«-teorien, der for nylig er fremsat af Hawking, Coleman og Banks, henholdsvis engelsk, amerikansk og israelsk fysiker.
3. »Tilfældig Dynamik«, som jeg selv er ophavsmand til, og som er lidt beslægtet med babyunivers-teorien.

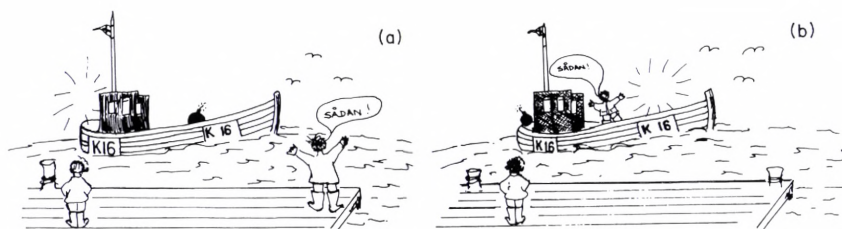
Det vanskelige ved at beskrive disse teorier nærmere er, at den moderne fysik bruger et meget matematisk og meget uvant sprog, fjernet fra dagligsproget og fra andre videnskabers sprog. Det følgende kan derfor desværre let blive en demonstration af, at man i moderne fysik betjener sig af et sprog, der er helt uforståeligt for ikke-eksperter.

## 1.1 Absurditeter i fysikken

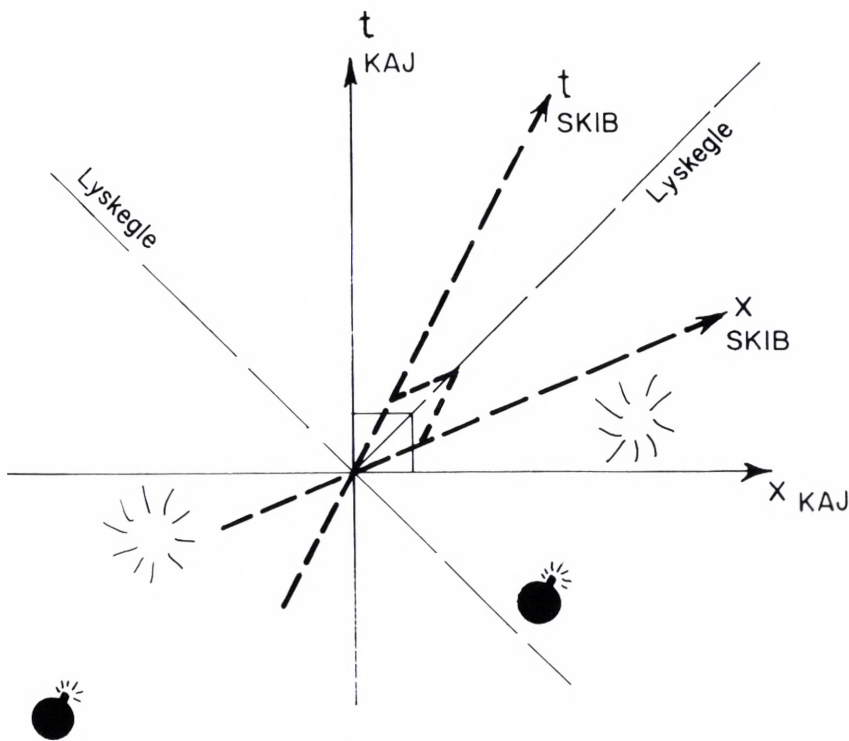
En af grundene til, at vi anvender et meget uvant sprog, er, at moderne fysik angår stoffets opførsel under betingelser, som er højst usædvanlige i dagliglivet; først og fremmest studerer man nu om dage stadig mindre stumper af stof. Man har herved lært en masse om stoffets struktur ved meget små afstande. Man kan ved de store eksperimentelle centre studere strukturer ned til afstande af størrelsesordenen  $10^{-18}$  m (altså 0.000000000000000001 m). For at kunne studere så små afstande må man bruge stumper af stof, som bevæger sig med hastighed nær lysets hastighed. Ved sådanne forsøg har det vist sig, at naturlovene ved meget små afstande er underlige. Jeg skal give to eksempler:

1) Relativitetsteorien, som skyldes Einstein, hævder bl.a., at begrebet samtidighed afhænger af den hastighed, som observatøren (= man) bevæger sig med. Det medfører, at to observatører, som bevæger sig med forskellig hastighed, ikke kan blive enige om rækkefølgen (i tid) af begivenheder, der finder sted på forskellige steder. Dette illustreres på figur 1, hvor en observatør på kajen og en observatør på et forbisejende skib hver for sig skal afgøre, hvilken af to bomber der sprang først. Hvis skibets hastighed er stor (f.eks. halvdelen af lysets), vil de komme til modstridende resultater.

Dette virker umiddelbart urimeligt, fordi vi er vant til at opfatte samtidighed som et veldefineret begreb, der ikke behøver yderligere specifikationer, som f.eks. ud fra hvilken hastighed vi



Figur 1. Illustration af, at begrebet samtidighed er flydende. Hvis båden sejler med en hastighed nær lysets, kan de to observatører ikke blive enige om rækkefølgen af de to eksplosioner.



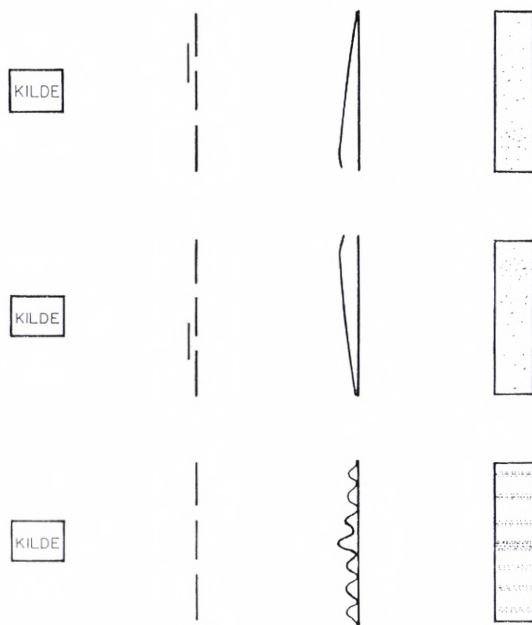
Figur 2. Situationen fra fig. 1 vist i rum-tid-diagram. En begivenhed (eksplosion) svarer til et punkt i dette diagram, dens sted og tid er projektioner på  $x$ - og  $t$ -akserne. Kaj og båd har hver sit sæt af akser. Derfor kan den ene observatør sige, at eksplosionen til højre skete før  $t = 0$ , den anden, at den skete efter  $t = 0$ .

mener »samtidighed«. Men det har altså vist sig at være sådan. Relativitetsteorien er blevet bekræftet gennem efterprøvning af flere af dens forudsigelser, og ifølge den kan samtidighed ikke defineres uafhængigt af en opgivelse af en hastighed. På figur 2 er situationen søgt beskrevet i koordinatsystemer, hvor sted ( $x$ ) og tid ( $t$ ) er afsat langs  $x$ - og  $t$ -akser. Der er to sæt af akser, det ene svarende til observatøren på kajen, det andet svarende til observatøren på skibet. En begivenheds sted er projektionen (parallel med  $t$ -aksen) ned på  $x$ -aksen, og dens tid er projektionen (parallel med  $x$ -aksen) ind på  $t$ -aksen. Med denne definition illustrerer figuren, at bomben til højre eksploderede sidst – set fra kajen, og

først – set fra skibet. Hvis lyset havde bevæget sig uendelig hurtigt, ville der ikke have været tvivl om rækkefølgen af de to begivenheder; men lyset tøver, som Ole Rømer viste, og derfor er rækkefølgen ikke entydig.

2) Kvantemekanikken forudsiger, at en partikel (f.eks. en elektron) i en vis forstand samtidig kan gå flere veje mellem to punkter:

Lad os se på et eksperiment, hvor vi sender elektroner ind mod en skærm med to spalter (se figur 3). Et stykke bag skærmen stiller vi en fotografisk plade, der bliver sværtet, hvor den rammes af elektroner. En sådan opstilling spillede (som tankeeksperiment) en stor rolle i diskussionen mellem Bohr og Einstein om kvantemekanikken. Vi ville umiddelbart forvente, at pladen bliver sværtet i to striber, en bag hver spalte, men kvantemekanikken forudsiger, at der skal komme et helt sæt af parallelle sværtede striber, ligesom hvis vi havde brugt lys i stedet for elektroner. I denne situation udviser elektronen *bølgeegenskaber*. Det er, som om en plan bølge falder ind mod skærmen og nye ringformede bølger udgår fra de to spalter for på skærmen enten at



Figur 3. Et eksperiment som skal vise, at elektronen har bølgeegenskaber. Figuren er stærkt stiliseret. Til elektronen svarer bølger, som går gennem hullerne i skærmen. De kan forstærke hinanden eller svække hinanden. Der, hvor de forstærker hinanden, er der størst chance for, at elektronen vil komme.



samvirke om at give stor sværtning eller at modvirke hinanden og give lille sværtning. Dækker vi den ene spalte, vil vi se en bred stribe bag den åbne spalte.

Men elektronen har også *partikelegenskaber*. Hvis vi erstattede den fotografiske plade med et (mikroskopisk) TV-kamera, skulle vi se elektronerne ramme en for en, i starten på tilsyneladende tilfældige steder, men efterhånden skulle striberne dukke op, hvor mange elektroner har ramt. Det svarer til, at man ifølge kvantemekanikken kun kan udtale sig om *sandsynligheden* for at få et givet udfald af et eksperiment. I vort eksperiment vil den forudsagte fordeling af elektronerne afhænge af positionen af begge spalter på en sådan måde, at det ikke er muligt at opretholde den antagelse, at elektronen må være gået gennem kun en af spalterne. Da kvantemekanikken er så vældig godt efterprøvet, og dens forudsigelser stemmer godt med målinger, er det så at sige naturen selv, der opfører sig så vanvittigt, at man kommer i modstrid, hvis blot man stiller det tilsyneladende uskyldige spørgsmål: Gennem hvilket hul er elektronen gået?

### 1.2 Planck-længden, standardmodellen og de fire slags kræfter

Et fælles træk ved de tre nævnte forslag til en »teori for alt« er, at de har en naturlig længdeenhed. Det er den såkaldte Planck-længde, som man når frem til ved at sammensætte de tre formodentlig mest fundamentale fysiske konstanter, nemlig lysets hastighed:  $c = 2.9979 \times 10^8$  m/s, *Plancks konstant* (divideret med  $2\pi$ ):  $\hbar = 1.054 \times 10^{-34}$  J  $\times$  s (Joule, J, er en energienhed og s = sekund) og Newtons gravitationskonstant:  $G = 6.673 \times 10^{-11}$  m<sup>3</sup>/(kg.s<sup>2</sup>). Værdien af Planck-længden er

$$l_{\text{Planck}} = 1.616 \times 10^{-35} \text{ m.}$$

Denne længdeenhed er virkelig ekstremt lille, så lille, at ingen eksperimentel teknik i dag giver os mulighed for at studere strukturen af objekter af denne størrelse, hvis de overhovedet eksisterer. Selv de bedste instrumenter, vi i dag kan bruge ved studiet af små afstande, kan kun nå ned til omkring  $10^{-18}$  m. Det er kun

ca. halvvejs ned til Planck-længden, målt på en logaritmisk skala, dvs. at forholdet mellem den menneskelige længdeenhed, meteren, og den mindste for tiden eksperimentelt tilgængelige længde er nogenlunde lig med forholdet mellem denne sidste og den fundamentale længdeenhed i de foreslåede »teorier for alt«. Vil vi i dag lære noget om fysikken ved Planck-længden, må vi bruge alt, hvad vi har lært fra eksperimenter ned til de  $10^{-18}$  m, og forsøge at gætte, hvorledes vor nuværende teori kan udstrækkes til kortere afstande.

Der er en tilsvarende Planck-energi  $E_{\text{Planck}} = 1.221 \times 10^{19}$  GeV =  $1.956 \times 10^9$  J (1 GeV  $\approx 1.6 \cdot 10^{-10}$  J er den energi som en elektron modtager ved at gennemløbe et potential på  $10^9$  V (V = volt)) og en Planck-masse  $M_{\text{Planck}} = 2.177 \times 10^{-8}$  kg.

Vi har i dag en særdeles god teori, den såkaldte standardmodel eller Weinberg-Salam-Galshow-modellen kombineret med Q.C.D. (Quantum Chromo Dynamics) som, så godt man i dag kan beregne, stemmer med alt, hvad vi har mulighed for at måle, indtil vi får bedre instrumenter, specielt bedre acceleratorer. Til denne standardmodel skal føjes tyngdekraftteorien, som, så længe det drejer sig om, hvad man kan måle i dag, er tilfredsstillende beskrevet ved Einsteins generelle relativitetsteori.

Vi kender i dag fire slags kræfter:

1. de elektromagnetiske kræfter,
2. de stærke kernekræfter,
3. de svage kernekræfter,
4. tyngdekraften.

Der har i de senere år været en del tale om en såkaldt femte kraft, der skulle vise sig som et ekstra bidrag til det, vi normalt opfatter som tyngdekraften. Det er dog sandsynligt, at alle antydninger af eksistensen af en femte kraft hidrører fra eksperimentelle fejl og unøjagtigheder.

Den før omtalte Weinberg-Salam-Glashow-model er allerede en forenende teori for de elektromagnetiske og de svage kræfter, mens Q.C.D. er teorien for de stærke kræfter. En »teori for alt« skal altså forene Weinberg-Salam-Glashow-modellen med Q.C.D. og den generelle relativitetsteori.

I det følgende vil jeg først forsøge at antyde, hvad materien er bygget op af ifølge den moderne fysiks verdensbillede. Standardmodellen er ikke så simpel, som man kunne håbe, en grundlæggende naturlov skulle være, skønt den faktisk heller ikke er så kompliceret endda.

Dernæst vil jeg søge at give en idé om, hvordan man tænker på felter og forestiller sig, at det tomme rum har en struktur. Tyngdekraften giver sit eget bidrag til de nye og lidt underlige tanker om vor verden, fordi Einsteins generelle relativitetsteori opfatter tyngdekraftfænomenerne som en konsekvens af, at geometrien bliver »dynamisk« og kan ændre sig, så rummet (og tiden med) kan »krumme sig«. En mulig kilde til information om en formodet ny fysik bagved standardmodellen er studiet – ganske vist i vid udstrækning teoretisk – af de første brøkdeler af et sekund efter verdens skabelse, det såkaldte Big Bang.

Endelig vil jeg tale om forsøgene på at opstille en »teori for alt«.

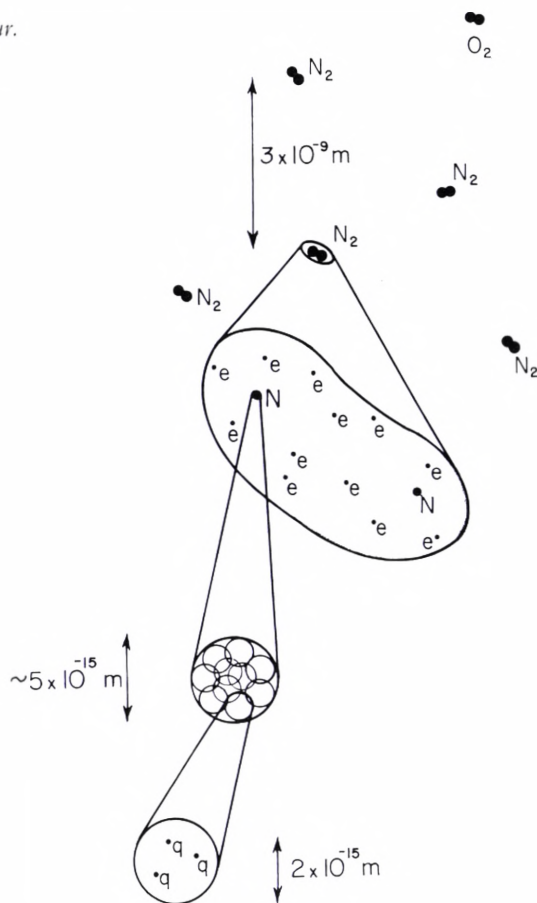
## 2 Stoffets sammensætning

Alt det stof, som vi møder i det daglige, er bygget op af atomer, der typisk har størrelser på nogle få Bohr-radier; en Bohr-radie er  $a_0 = 0.529 \times 10^{-10}$  m. Størrelsen af atomerne repræsenterer altså på den logaritmiske skala lidt over halvdelen af vejen ned til de mindste målte afstande. Atomets struktur (figur 4) betragtes i dag som meget velforstået, noget, der i meget høj grad skyldes Niels Bohr. Vi kan sammenligne atomet med solsystemet: I midten af atomet sidder atomkernen, der stort set har form som en kugle med en radius på nogle få fermi; 1 fermi er  $10^{-15}$  m. Atomkernen svarer til Solen i midten af planetsystemet, og elektronerne kredser udenom ligesom planeterne om Solen.

Ifølge den klassiske mekanik skulle elektronerne tabe energi ved udsendelse af lys, ligesom elektriske svingninger i en antenne leder til udsendelse af radiobølger. Elektronerne skulle derved falde tættere og tættere ind mod kernen, og atomet således blive



Figur 4. Stoffets struktur.  
Molekyler og atomer,  
kerner, nukleoner og  
kvarker.

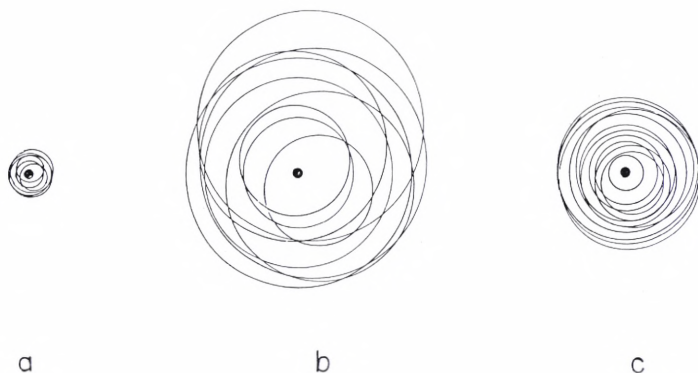


mindre og mindre. Det sker dog kun ned til et vist punkt, så bliver atomet stabilt. Man kan forklare den stabilisering ud fra Heisenbergs ubestemtheds-relation, der er en vigtig konsekvens af kvantemekanikken. Heisenbergs ubestemtheds-relation udsiger, at det er umuligt samtidig at give nøjagtige værdier for en partikels position og for dens bevægelsesmængde (en partikels bevægelsesmængde er produktet af dens masse og dens hastighed). Det bedste, man kan opnå, er, at produktet af usikkerheden på bevægelsesmængden og usikkerheden på positionen er lig med Plancks konstant  $\hbar$ .

Hvis elektronen skal løbe i en bane tæt på kernen, må den være afgrænset til et lille område i rummet. Men da må dens



bevægelsesmængde og dermed dens hastighed, som kun kan tænkes som en statistisk fordeling, have stor usikkerhed, dvs. at middelværdien af bevægelsesenergien bliver stor. Når banen gøres mindre, vokser bevægelsesenergien mere end den potentielle energi aftager; elektronen kommer altså ikke virkelig af med sin energi ved at rykke tættere ind mod kernen, selv om den derved sænker sin potentielle energi (figur 5). Dette er kvantemekanikkens forklaring på, at atomerne og dermed materien ikke falder sammen. Elektronens hastighed i dens bevægelse omkring kernen er, målt med lysets hastighed som enhed, af størrelsesordenen  $\alpha = \frac{v}{c} = \frac{1}{137.0360}$ . Denne størrelse, som kaldes finstrukturkonstanten, er konstrueret ud fra elektronens elektriske ladning  $e$ , lyshastigheden  $c$  og Plancks konstant  $\hbar$ . Elektronen bevæger sig altså typisk 137 gange langsommere end lyset. Det er dog en ganske betydelig hastighed, godt 2000 km/s. Til sammenligning kan nævnes, at Jordens hastighed i sin bane omkring Solen er



Figur 5. Atomets stabilitet. De tre tilfælde repræsenterer a) Elektronbanen er tæt ved kernen. Her er den dybt nede i kernens elektriske potential; dens potentielle energi er stærkt negativ, men den har meget stor positiv kinetisk (bevægelses-) energi. Den samlede energi er lidt negativ. b) Elektronbanen er langt fra kernen. Her er den potentielle energi lidt negativ og den kinetiske energi lidt (mindre) positiv. Den samlede energi er lidt negativ. c) Elektronbanens afstand fra kernen er moderat. Den potentielle energi (negativ) og den kinetiske energi (positiv) er begge moderate, men den samlede energi er (moderat) negativ.

Atomt er mest stabilt i tilfælde c, hvor den samlede energi er mest negativ.

ca. 30 km/s. Da elektronhastigheden i atomer er meget mindre end lyshastigheden, har man ikke brug for relativitetsteorien for at beskrive atomerne, undtagen hvis man vil undersøge meget fine detaljer (eller studere atomer, hvis kerne har en meget stor ladning, som forårsager, at elektronens hastighed bliver større).

Atomkernens masse er meget større end elektronens masse; den er ca. 2000 til 200.000 gange tungere. En given begrænsning i rummet medfører derfor ikke så store hastigheder, som en elektron ville få. Kernen bevæger sig langt mindre omkring inden i atomet. I atomets kvantemekaniske tilstand er den statistiske fordeling af kernens position snævrere end fordelingen af elektronens position; vi siger, at kernen (kvante)fluktuerer mindre i position.

Kernen består af *nukleoner*, et fælles navn for protoner og neutroner; også de styres af kvantemekanikken. De tiltrækker hinanden med en anden slags kræfter end dem, hvormed kernen tiltrækker elektronerne. Elektronerne tiltrækkes ved *elektromagnetiske kræfter*, mens kernen holdes sammen af kræfter, der kaldes de *stærke kernekræfter*. Hastigheden af en nukleon inde i kernen er typisk en tiendedel af lyshastigheden, så der er stadig ikke behov for relativitetsteorien, hvis man stiller sig tilfreds med en lav nøjagtighed.

Nukleonerne er igen sammensat af partikler kaldet *kvarker*. Ifølge Q.C.D.-teorien holdes de sammen ved hjælp af partikler, som kaldes *gluoner*. For at beskrive, hvorledes gluonerne vekselvirker med kvarker og dermed holder dem sammen, har man måttet opfinde en ny slags »ladning«. Denne ladning, som vi kalder »farve«, optræder i 3 varianter: rød, blå og gul.

Kvarkerne bevæger sig inde i nukleonerne med hastigheder, der er meget tæt på lysets, og det er her absolut nødvendigt at tage hensyn til relativitetsteorien. Protoner og neutroner er (næsten udelukkende) sammensat af to kvarktyper, kaldet up-kvark og down-kvark, men der er flere andre kvarktyper. Up-kvarken og down-kvarken har forskellig elektrisk ladning. De findes begge i 3 »farver«.

Vi ser altså materiens opbygning som en slags kinesisk æske: Stoffet er sammensat af atomer, atomet af elektroner og en kerne

i hvert atom, kernen af nukleoner, nukleonen af kvarker bundet sammen af gluoner.

Til disse partikeltyper kan føjes *fotonen*. Ifølge kvantemekanikken har elektromagnetisk stråling, dvs. lys, radiobølger, røntgenstråler og gammastråler, både bølgeegenskaber og partikelegenskaber ligesom elektronen. Til elektromagnetisk stråling svarer der altså en partikel: fotonen. Det er den, der er ansvarlig for, at elektronen bindes til kernen. Udover de nævnte partikler har man fundet en lang række nye partikeltyper, som naturen tilsyneladende ikke gør synderlig brug af til opbygning af dagligdagens stof.

Der er for det første et væld af partikler, kaldet *hadroner*, der ligesom nukleonerne er bygget op af kvarker bundet sammen af gluoner. Hadronerne blev oprindeligt defineret som de partikler, der mærker de stærke kræfter.

Videre må nævnes *leptonerne*, hvoraf nogle kan karakteriseres som en slags tunge elektroner, mens andre, som er neutrale, synes at være masseløse. Elektronen regnes selv med til leptonerne.

Jeg har nævnt de *svage kernekræfter*. De spiller ikke så stor rolle i det almindelige stofs opbygning. De kan f.eks. få en neutron – den ene af byggestenene i kernen – til at omdanne sig til en elektron, en proton og en (anti)elektron-neutrino. Ligesom de elektromagnetiske kræfter, der holder atomerne sammen, skyldes udvekslingen af fotoner, så skyldes de svage kræfter udvekslingen af partikler kaldet intermediære *bosoner*:  $W^+$ ,  $W^-$  og  $Z^0$ .

De fleste partikler er sammensat af andre, nemlig alle hadronerne, som bl.a. omfatter nukleonerne, kernerne naturligvis, og selve atomerne. Disse sammensatte partikler kan man imidlertid regne sig frem til, når teorien er færdig. De fundamentale partikeltyper, de partikler, som ikke er sammensat af andre, kan klassificeres i tre klasser efter en egenskab, spinnet, som groft sagt er et mål for, hvor meget partikler snurrer rundt om sig selv:

1. Gaugepartiklerne med spin = 1 (se nærmere om disse partikler s. 81): der er fotonen (lyspartiklen), 8 gluoner (der »limer« kvarkerne sammen til nukleoner og andre hadroner), og 3 intermediære vektorbosoner  $W^+$ ,  $W^-$  og  $Z^0$ .



2. Fermionerne med spin =  $\frac{1}{2}$ : de omfatter kvarkerne, der forekommer i 6 slags »flavour« (f.eks. up-kvark og down-kvark), og hver slags kan igen findes i tre »farver«; endvidere omfatter de leptonerne, dvs. elektronen og de elektronlignende partikler, samt 3 forskellige neutrinoer.
3. Higgs-partiklen med spin = 0. Ifølge den oprindelige feltteori skulle alle de fundamentale gaugepartikler og fermioner være masseløse, i strid med eksperimenter. I standardmodellen har de fundamentale partikler alligevel fået masse ved et trick, der skyldes Higgs. Prisen var, at man måtte opfinde en ny partikel: Higgs-partiklen. Det er dog højst sandsynligt, at der her er noget i modellen, som ikke er rigtigt.

Partikler med spin =  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{2}$  osv. kaldes fermioner; de har Fermi-statistik. Partikler med spin = 0, 1, 2, 3, osv. kaldes bosoner; de har Bose-statistik. Fermi- og Bose-statistik fortæller noget om partiklernes statistiske opførsel. For fermioner gælder Pauli's udelukkelsesprincip: to ens fermioner kan ikke være i samme tilstand. Derimod kan to ens bosoner meget vel findes i samme tilstand.

Til beskrivelse af disse partikler og deres indbyrdes vekselvirkninger (dog bortset fra tyngdekræfterne) har vi standardmodellen, som hører til den type af modeller, som kaldes Yang-Mills kvantefeltteorier. Standardmodellen er nok for indviklet til at være en endegyldig teori. Den indeholder en masse partikeltyper, hvis tilstedeværelse ikke følger af noget ledende princip forstået indtil nu. Hvorfor er der ikke andre, som virker på hinanden på en lidt anden måde? Naturen kunne tilsyneladende ligeså godt have valgt mange andre modeller.



### 3 Rummets struktur

#### 3.1 Feltteori

En *Yang-Mills kvantefeltteori* er en generalisation af den teori, der beskriver de elektriske og magnetiske fænomener, nemlig kvanteelektrodynamikken. I en Yang-Mills teori spiller felter af lignende art som de elektriske og magnetiske felter en afgørende rolle. De rigtige elektriske og magnetiske felter er mål for, hvor meget henholdsvis en elektrisk ladning og en kompasnål påvirkes forskellige steder i rummet. I kvantefeltteorier kan man forestille sig, at det er felterne, der har den egentlige eksistens, og at al materie er manifestationer af forskellige vibrationer i felterne. Verden tænkes altså beskrevet ved forskellige talværdier, som angiver de forskellige felttypers styrke og retning i hvert punkt i rummet. Der findes en slags magnetisk felt og en slags elektrisk felt for hver af de tolv fotonlignende partikler i standardmodellen, og de findes i hvert punkt af rummet. Til ethvert tidspunkt antager de i almindelighed forskellige værdier og retninger. Disse felter skal naturligvis opfylde kvantemekanikkens regler. Man kan derfor ikke i almindelighed have en tilstand, hvori alle felterne har bestemte værdier. Man kan kun beskrive tilstande, som svarer til en statistisk forventning om felterne. Der gælder en slags Heisenbergs usikkerhedsrelation for felterne.

På grund af kvantemekanikken må felterne selv i et tomt rum vibrere noget i samme kvantemekaniske forstand, i hvilken man kan sige, at elektronen går rundt om kernen, selv i den tilstand, hvori elektronen har lavest energi, og atomet er blevet stabiliseret. Selv det tomme rum er derfor i den moderne fysiks opfattelse et meget kompliceret medium. Man kan nu tænke på stoffet – partiklerne – som ret små modifikationer af det tomme rum. Når feltet for en partikeltype vibrerer kraftigere i et område, betyder det, at der er en eller flere partikler af denne type til stede i området. Det tomme rum – vakuum – synes at have forfærdelig meget struktur i forhold til den ekstra struktur, der skyldes tilstedeværelsen af almindeligt stof. I det almindelige stof ind-

går jo kun elektronen, up- og down-kvarkerne, gluonerne og fotonen. I det tomme rum er der felter, ikke bare svarende til disse partikler, men også svarende til alle de ekstra partikeltyper, vi har lært om og vil lære om gennem fremtidig eksperimenteren. Alle disse felter har kvantefluktuationer i det tomme rum.

Vi tænker altså på det tomme rum som et ret kompliceret objekt med en masse felter. Under normale omstændigheder er det i sin grundtilstand, dvs. i den tilstand, der har lavest mulig energi. Ligesom et atom har tilstande med forskellig energi, så kan rummet, ifølge kvantemekanikken, være i tilstande med forskellig energi. Den tilstand, der har lavest energi, kaldes vakuum eller det tomme rum.

Men bruges disse mange muligheder i rummet i feltteorien da aldrig til noget? Jo, for det første kan man bygge accelerators, der kan give elektroner og protoner meget store energier, meget store i forhold til hvad en enkelt sådan partikel sædvanligvis har. Det er egentlig ikke så meget energi, man kan overføre til en enkelt sådan elementarpartikel. Selv med de største accelerators kan man kun bibringe en elektron eller en proton så megen energi, som der skal til, for at en flue kan løfte sit ene ben en lille smule. Men at få en sådan energi overført på en enkelt partikel kræver en højt udviklet teknik. Ved at slynge disse elektroner eller protoner ind i sædvanligt stof eller endnu bedre mod hinanden kan man så, med lidt held, producere de fleste af de mere sjældne partikler. Partiklerne er så små, at man skal forsøge vældig mange gange og sigte særdeles godt, men det har man i dag instrumenter, der kan gøre. Vi kan f.eks. producere  $Z^0$ . Det betyder, i feltteoriens sprog, at feltet svarende til denne partikeltype bringes til at svinge lidt kraftigere.

Selv med de største accelerators, bygget i internationalt samarbejde, kan vi kun frembringe sammenstød med energier, der er små målt med Planck-energien, den formodede fundamentale enhed. Planck-enheden for energi svarer til bevægelsesenergien af et typisk eksprestog med mange vogne. For direkte at kunne studere f.eks. superstringteorien skulle vi helst kunne studere sammenstød med et eksprestogs energi samlet på hver enkelt elementarpartikel. Det har man ikke teknisk mulighed for at gøre i dag.



For at opnå interessante sammenstød, sådanne som virkelig ville fortælle om de korte afstande, skulle man desuden kunne ramme så præcist, at de formodede inderste dele af den ene partikel ville ramme de inderste dele af den anden inden for en Planck-længde, en næsten håbløs udfordring. Tænker man sig, at man kunne bygge en accelerator, der kunne samle en Planck-energi på hver partikel, og som kunne ramme inden for en millimeters nøjagtighed, så ville det alligevel være et problem at få de interessante sammenstød. For rigtig at kunne efterprøve en fundamental teori skulle man jo ramme inden for en Planck-længde. For at opnå dette måtte man skyde mange gange, før man ramte i plet ved et tilfælde. Faktisk ville man have brug for at forsøge  $(\frac{10^{-7}}{10^{-35}})^2 = 10^{64}$  gange ( $1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$  og  $l_{\text{Planck}} = 10^{-35} \text{ m}$ ). Så mange gange et eksprestogs energi har man næppe råd til, selv hvis det en dag skulle blive teknisk og økonomisk muligt at konstruere en Planck-energi-accelerator.

Det kan altså synes temmelig håbløst direkte at studere teorier, der skal kunne forene tyngdekraften og de andre kræfter, men der er en anden mulighed. Formodentlig var der, i de allerførste øjeblikke efter universets skabelse, så høj temperatur og tæthed, at mange af de nu sjældne partikeltyper var til stede i stort tal. Under sådanne betingelser er en forenende teori relevant. Hvis vi ud fra tilstanden af verden i dag kunne slutte tilbage til tilstanden af verden i disse allerførste øjeblikke efter Big Bang, så kunne vi måske lære noget om den fundamentale forenende teori.

Der er naturligvis sket meget siden, og det er antagelig ret få træk ved verden af i dag, som direkte kan forbindes med Big Bang. Vi kender dog nogle:

1. Hubble-ekspansionen. Astronomerne lærer os, at fjerne galakser (mælkevejssystemer) bevæger sig væk fra os, jo hurtigere, des længere de er væk. Dette viser, at der var en eksplosion, som sådan set stadig finder sted.
2. 3K-baggrundsstrålingen. Det er radiobølger i cm-området. De kommer ind fra verdensrummet med samme intensitet i alle retninger og med et spektrum, der svarer til hulrums-

strålingen (strålingen fra et absolut sort legeme) med temperaturen  $T = 2.7 \text{ K}$  ( $2.7^\circ$  over det absolutte nulpunkt). Vi kan opfatte Big Bang som en eksplosion, under hvilken selve det rum, vi lever i, udvider sig ligesom overfladen af en ballon, der pustes op. På grund af denne udvidelse er stof og bølger i verdensrummet blevet fortyndet, og temperaturen af hulrumsstrålingen er faldet. Man regner derfor med, at den nuværende baggrundsstråling engang har haft en langt højere temperatur.

3. Forekomsten af de letteste grundstoffer, brint, helium og lithium, der er blevet produceret på et tidspunkt, da verden endnu kun var nogle få måneder gammel, og temperaturen var ca. 1 million grader. De fleste tungere grundstoffer er formodentlig senere blevet produceret i stjerner med de lette grundstoffer, mest brint, som råmateriale og siden spredt ved stjerneeksplosioner (supernovaer). Man kan få oplysninger om den oprindelige fordeling af brint, helium og lithium ved at studere lys fra overfladen af stjerner, der antages ikke at være blevet nævneværdigt forurenset med stjerneproducerede stoffer.
4. Endelig kan man studere galaksernes fordeling i rummet og deraf prøve at udlede noget om Big Bang.

Den eneste pålidelige teori, man indtil nu har kunnet bruge til at beskrive Big Bang, er standardmodellen. Den indeholder visse usikre antagelser, f.eks. er Higgspartiklen allerede i høj grad spekulativ, så derfor kan man ikke stole på, at naturlovene vil være sådan som vi kender dem, når man kommer ned til afstande mindre end  $10^{-18} \text{ m}$ . Når temperaturen bliver tilstrækkelig høj, ca.  $10^{16} \text{ K}$ , vil partiklerne have så store energier og hastigheder, at hidtil ukendte typer af partikler eller endnu uopdagede fysiske love kan forventes at optræde. Dengang temperaturen var højere end  $10^{16} \text{ K}$ , og det var den antagelig indtil ca.  $10^{-13}$  sekund efter begyndelsen – gjaldt der altså muligvis andre fysiske love og fandtes andre partikler end de nu veletablerede. F.eks. drømmer



mange fysikere om supersymmetri, dvs. at hver af de kendte partikler skulle have tilknyttet en partner med et andet spin. Superstrengen har fået sit navn »super« på grund af denne specielle symmetri, som sammenknytter bosoner med fermioner. Når man laver modeller for det første ca.  $10^{-13}$  sekund, kan man altså ikke bare regne med kendte naturlove, men man må gætte sig til mange detaljer.

Interessant nok kan man ved kosmologiske betragtninger få oplysninger, eller i det mindste et lille vink, om hvad der foregik nogle måneder efter universets skabelse, på et tidspunkt da temperaturen var nået ned til en million grader. Man har kunnet vurdere, hvor mange typer leptoner og kvarker man skal forvente at finde, ud fra beregninger af de producerede lette grundstoffer. Disse beregninger stemmer bedst overens med de målte mængder af lette grundstoffer, hvis man antager, at der kun er tre neutrino typer. I standardmodellen vil tre neutrinoer betyde, at vi skal finde seks kvarktyper og tre elektronlignende partikler (ladede leptoner). I standardmodellen kommer fermionerne nemlig i såkaldte generationer, som hver består af en neutrino, en ladet lepton og to kvarker. Kosmologisk synes der altså at eksistere netop tre generationer, sådan som vi stort set allerede har fundet; vi mangler blot den såkaldte top-kvark  $t$ .

I det væsentlige drejer denne vurdering af antallet af generationer sig om, at tyngdekraften fra neutrinoerne vil opbremse eksplosionen kraftigere, jo flere typer af neutrinoer, der findes. Derfor: jo flere neutrinoer, des hurtigere må udvidelsen have været på det tidspunkt, da de lette grundstoffer blev produceret, og det ville have påvirket produktionen af lette grundstoffer.

### 3.2 Generel relativitetsteori

Hvis man vil stille spørgsmål om, hvorledes det hele begyndte, eller om der overhovedet var en begyndelse, er det formodentlig af afgørende betydning at tage hensyn til den generelle relativitetsteori, altså teorien om tyngdekraften, fordi denne teori leder til så underlige og betydningsfulde forestillinger om tid og

rum. I dag vil vi nok sige, at vi tror på, at der var en begyndelse: Verden har ikke eksisteret altid, det rum, vi lever i, og det stof, vi består af, eksisterede ikke forud for den store Big Bang-eksplosion. Et forslag til, hvordan det begyndte, er Hartle-Hawking-begyndelsesbetingelsen, som nærmest betyder, at verden kom til at eksistere ved en slags tunnelproces, et specielt kvantemekanisk fænomen.

Men i virkeligheden er det lidt farligt overhovedet at bruge vort daglige sprog og vore tilvante tænke- og talemåder til at beskrive, hvad man forestiller sig der skete i begyndelsen, fordi vort sprog og vor tankegang er fyldt med fordomme angående rummets og vel især tidens egenskaber. Vi mødte allerede i den specielle relativitetsteori den for vor sædvanlige tidsforestilling overraskende forudsigelse, at samtidighed ikke er noget absolut begreb: om to begivenheder er samtidige, afhænger af observatørens hastighed.

I den generelle relativitetsteori bliver det endnu værre: Nu begynder hastigheden af alle fysiske processer, altså specielt et ursgang, at afhænge af, hvor vi befinder os i tyngdefeltet: De fysiske processer foregår hurtigere, jo højere man går op. I Jordens tyngdefelt kan forskellene dog kun måles med den mest nøjagtige teknik.

Fysikerne Pound og Rebka udførte i 1960 et eksperiment i et 22,6 m højt tårn. Ifølge den generelle relativitetsteori vil et ur i toppen af tårnet gå lidt hurtigere end et ur ved foden af tårnet; det vil vinde ca. et sekund på 10 millioner år i forhold til det andet ur. Eksperimentet blev udført med atomkerner som ure, og man benyttede den såkaldte Mössbauer-effekt. Hvis en atomkerne udsender en foton, vil den normalt rekyleres som et gevær, altså blive slynget tilbage; fotonen vil derfor ikke overtage hele den frigjorte energi. Det er imidlertid muligt, på grund af kvantemekanikken, at det er hele den blok materiale, atomkernen sidder i, der rekylerer, og i så fald taber fotonen næsten ingen energi til rekylbævelsen. Fotonen kan da optages af en anden atomkerne af samme slags på en måde, der er analog med udsendelsen. Det giver mulighed for at påvise ganske små forskelle i svingningsfrekvensen for de to kerner. Man fandt en fin overensstemmelse med den teoretiske forudsigelse.



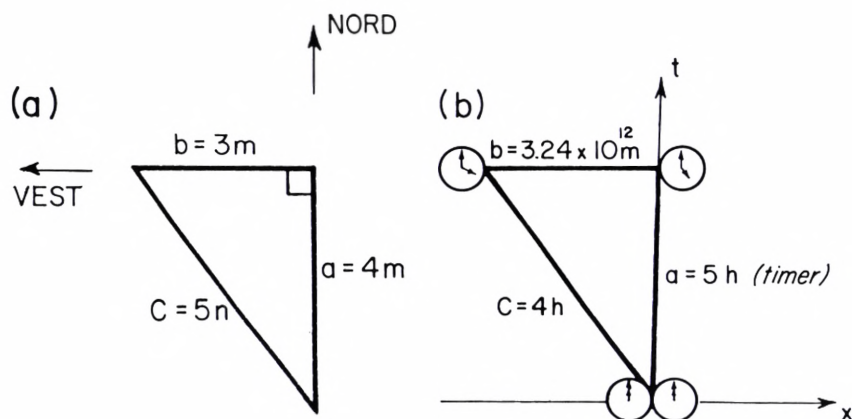
Hvis tyngdefelterne bliver kraftige, kan der også ske andre mærkelige ting; f.eks. kan en stjerne eller et andet objekt bryde sammen under sin egen vægt og danne et »sort hul«. Tyngdefeltet kan blive så stærkt, at end ikke lys kan nå op fra stjernens eller objektets overflade. Falder man ned i et sort hul, vil der derfor fra et vist tidspunkt ikke længere være nogen mulighed for at sende signaler af nogen art tilbage. Der sker endda det mærkelige, at der ikke længere er nogen løsning for ligningerne, der skal beskrive, hvad der vil ske med en person eller et objekt, der falder ned i et sort hul. Det betyder formodentlig, at han slet ikke har nogen fremtid. Han løber ind i en »singularitet« med meget kraftige tyngdefelter, og efter en tid, som han selv vil opfatte som endelig, vil han helt ophøre at eksistere. Ifølge teorien vil der ikke engang være noget lig eller andre efterladenskaber fra ham. Tiden kan altså holde helt op nogle steder. Nu afdøde professor Christian Møller (som var en fremragende kender af den generelle relativitetsteori) var meget bekymret over dette mærkelige aspekt af denne teori, og i en af de sidste samtaler, jeg havde med ham, gav han udtryk for, at han håbede at leve længe nok til at finde en løsning på dette problem. Han lavede også en model, der forsøger at løse problemet og få singulariteten væk, men jeg tvivler stærkt på, at den er rigtig.

Det karakteristiske ved den generelle relativitetsteori er, at den opfatter tyngdekraften som resultat af ændringer af felter, der beskriver geometrien for rum og tid.

Her må jeg indskyde, at det ofte er praktisk at opfatte tiden som den fjerde dimension i et firedimensionalt rum, som vi kalder rum-tid. Det er dog ikke et helt almindeligt (firedimensionalt) rum, for afstande skal udregnes lidt anderledes, end vi plejer. Vi kender Pythagoras' sætning (se figur 6), som f.eks. vil udsige at:

Når jeg går  $x$  meter mod nord og  $y$  meter mod vest, så er  $c$ , den totale afstand jeg er nået væk, bestemt ved  $c^2 = x^2 + y^2$ . Altså: kvadratet på den totale afstand er summen af kvadraterne på de to siders længder.

I relativitetsteorien afhænger et urs gang af dets hastighed. Jo hurtigere uret bevæges, des langsommere vil dets visere dreje sig,



Figur 6. Pythagoras' sætning, a) som vi kender den fra almindelig, euklidisk geometri, b) som den kan se ud i den ikke-euklidiske geometri, som vi må bruge i relativitetsteori.

og formelen for denne tidsforkortning er meget analog til Pythagoras' sætning. Lad os bruge enheder, i hvilke lyshastigheden er 1. Vi vil se på et ur, der med jævn hastighed bevæger sig distancen  $x$  i tiden  $t$  målt på målestokke og ure, der sidder fast på jorden. Relativitetsteorien (og eksperimenter) fortæller, at den tid det bevægede ur viser,  $t'$ , er givet ved  $t'^2 = t^2 - x^2$  eller  $-t'^2 = -t^2 + x^2$ . Vi lægger mærke til det ekstra minustegn på de to led  $t^2$  og  $t'^2$ , der beskriver tid. I rum-tid kan vi derfor formulere Pythagoras' sætning således: relativistisk afstand<sup>2</sup> =  $x^2 + y^2 + z^2 - t^2$ .

Når man forsøger at præsentere visse aspekter af relativitetsteorien, bruger man ofte en »Euklidisk« formulering, dvs. vi glemmer dette minustegn og lader, som om vi simpelthen havde fire rumdimensioner. Bedst er det vel endda at undvære to af rumdimensionerne og tænke på en flade i stedet for et firedimensionalt rum. I denne analogi har vi så:

Til den specielle relativitetsteori – altså uden tyngdekraft – svarer en helt plan overflade, som f.eks. en tavle.

Til den generelle relativitetsteori – altså med tyngdekraft – svarer en krum flade, som f.eks. overfladen af en pære.

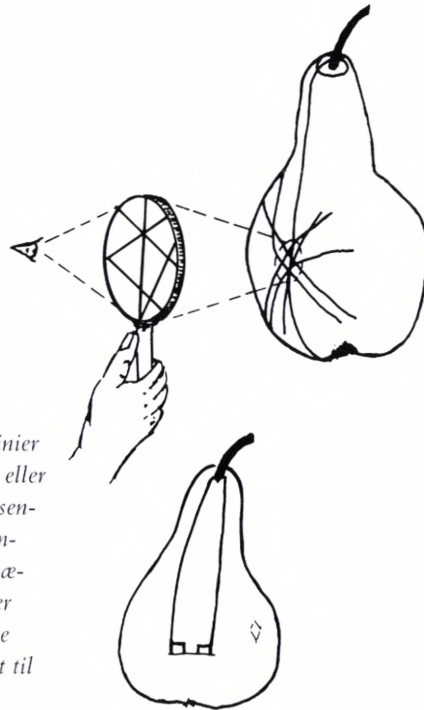
Ved at bruge denne analogi kan jeg illustrere, hvordan en ikke-triviell geometri kan betyde, at der kan være f.eks. en tyngdekraft:



Hvis jeg på en tavle tegner to parallelle linier, så vil afstanden mellem dem stadig være den samme, lige meget hvor meget jeg forlænger dem. De vil vedblive med at være parallelle. Ved at opfatte den ene af tavlens dimensioner som tid kan jeg lade de to linier forestille partikler, der bevæger sig med samme hastighed, da de hele tiden holder samme afstand. Men forsøger jeg nu at starte med et par parallelle linier på en krum flade (se figur 7), så vil de to linier i almindelighed ikke holde samme afstand, men snarere f.eks. begynde at nærme sig hinanden. Det vil man opfatte som relativ acceleration. Men så vil man konkludere, at der var en kraftpåvirkning af partiklerne.

Det er på denne måde man søger at beskrive tyngdekraften i Einsteins generelle relativitetsteori: som en geometrisk effekt af et krumt rum.

Egentlig er naturloven for bevægelse af partikler i den generelle relativitetsteori blot den, at de går så retliniet som muligt. De følger en såkaldt geodætisk linie, men på krum flade (i et krumt



Figur 7. Det er svært at tegne parallelle linier på en krum flade. De vil gerne nærme sig eller fjerne sig fra hinanden. Hvis fladen repræsenterer tiden (på langs ad linierne) og en rumdimension (på tværs af linierne), kan vi næsten se, at geometri svarer til kræfter: Nu er linierne sporene af to partikler; når sporene begynder at dreje mod hinanden, svarer det til at partiklerne accelererer mod hinanden.

4-dimensionalt rum) kan den ikke blive en ret linie. Man kan alligevel let tillægge det en mening at tegne en linie, der er så ret som muligt.

Denne indførelse af krumme rum i analogi med en krum flade lader formode, at mærkelige fænomener kan vise sig:

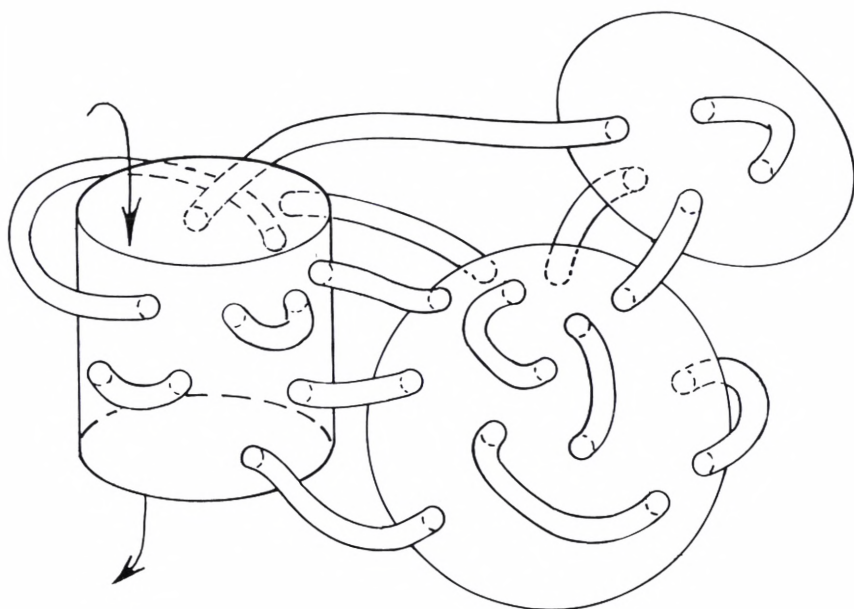
Nu behøver universet ikke at være uendeligt, men dog kan det være uden nogen grænse, hvor man kan stå og se, at man ikke kan komme længere. Vi har nemlig analogien med overfladen af en kugle, f.eks. Jordens overflade. Man kan på kuglen fortsætte »i samme retning« og dog aldrig nå nogen kant. Men kuglefladen har dog alligevel et endeligt areal.

Det er nu helt naturligt at forestille sig Hubble-udvidelsen af universet, der begyndte med Big Bang. I vor todimensionale analogi kan vi tænke på rum og tid som punkter på en skål, hvor højden over bunden repræsenterer tiden efter Big Bang, og buelængden mellem to punkter i samme højde repræsenterer deres afstand. Stjerners og galaksers position repræsenteres ved linier, tidsspor, der går fra bunden af skålen og op langs siderne. Det at skålen bliver bredere opefter, illustrerer Hubble-udvidelsen. Vi kan se, hvorledes alle galakserne bevæger sig bort fra hinanden. Ingen galakse indtager en særstilling med hensyn til rumlig placering. De kan allesammen med samme ret opfattes som centrum for universet.

Vi ser endda muligheden for, at vort univers kunne bryde op i to eller flere stykker, som måske forener sig igen. På overfladen af en kaffekande repræsenterer hanken et lille univers, der midlertidigt har skilt sig ud fra det større (figur 8).



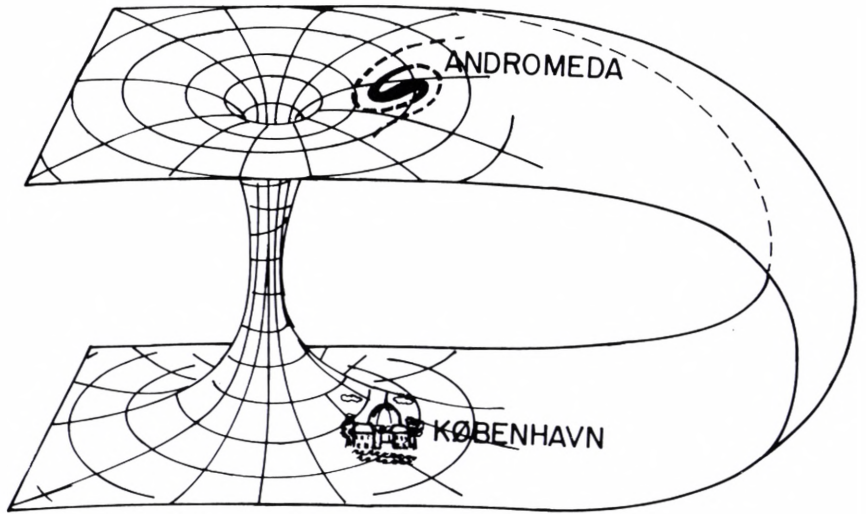
Figur 8. På kaffekanden er den hule hank en glimrende illustration af et ormehul, der forbinder to steder i »det virkelige« rum.



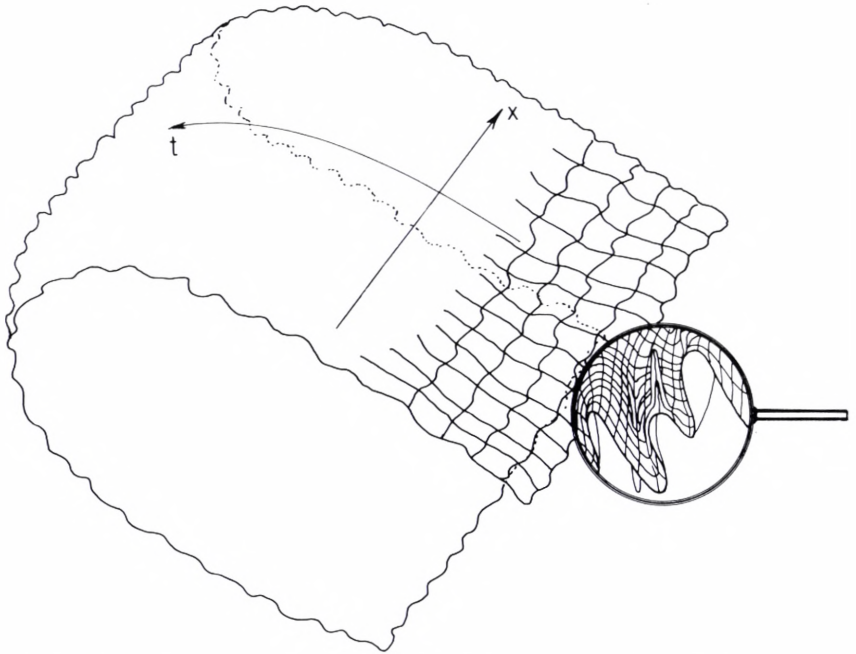
Figur 9. Et meget sammensat univers med ormehuller eller babyuniverser.

Jeg tror selv, at det er muligt, at universet således kan gå i stykker og forene sig igen, men det accepteres ikke uden videre af alle fysikere. Vi har ikke set nogen antydninger af tunneler eller »ormehuller«, der går ud et sted og ind et andet. Der må dog nok findes sådanne ormehuller på meget korte afstande på grund af kvantemekanikken (figur 9 og figur 10). I lyset af den geometriske tyngdekraftsteori må man forestille sig, at kvantemekanikken kan få tyngdefeltet til at fluktuere selv i det tomme rum, på samme måde som den fik felterne for de forskellige partikeltyper til at fluktuere. Men det betyder så, at geometrien fluktuerer (figur 11). Ja, der kommer endda håndtag og bobler af forskellig art; der dannes et såkaldt rum-tid-skum. Vi må altså forestille os, at der selv i et tomt rum, ved tilstrækkelig små afstande, findes en masse små huller og strukturer. Herudover er der alle de fluktuationer, som skyldes felter knyttet til alle de andre partikler; så vakuum er virkelig yderst kompliceret.





Figur 10. Endnu en variation af ormehuller.



Figur 11. Kvantegravitationsteorien indebærer, at rummets geometri er fluktuerende ved meget korte afstande, omtrentlig  $10^{-35}$  m.

## 4 Nogle forenende modeller

Lad mig nu gå over til at se på nogle enkelte forslag til en »teori for alt«:

### 4.1 Superstrengte

Den i dag mest populære teori er nok superstrengsmodellen. Ifølge superstrengsteoriene er alle partikler direkte eller indirekte bygget op af små strengstumper (figur 12). Alt er strenge – hvis vi tror på disse teorier.

Der er i dag to hovedmotiveringer for at tro på strengteorier:

1. Strengmodeller indeholder på en naturlig måde kvantegravitation, teorien for et kvantiseret tyngdefelt.
2. Krav fra kvantemekanik og relativitetsteori lægger en række stærke restriktioner på strengmodeller, ellers vil de ikke være konsistente. Der kan således kun eksistere et begrænset sæt af strengmodeller.

Det var ikke de oprindelige grunde til at se på strengmodeller. For ca. tyve år siden opstillede vi nogle modeller for hadronerne, altså de partikler, som mærker de stærke kræfter (har stærke vekselvirkninger), og som vi nu regner med er bygget op af kvarker og gluoner. Vi kaldte modellerne duale modeller eller Veneziano-modeller. I begyndelsen vidste vi ikke, at disse modeller i virkeligheden beskriver strenge. Det var først noget, jeg selv var med til at opdage.

Nu gik det ikke så godt med at få disse oprindelige strengmo-

Figur 12. En åben og en lukket streng. Den oprindelige strengteori svarede til en åben streng. Den heterotiske streng svarer til en lukket streng.



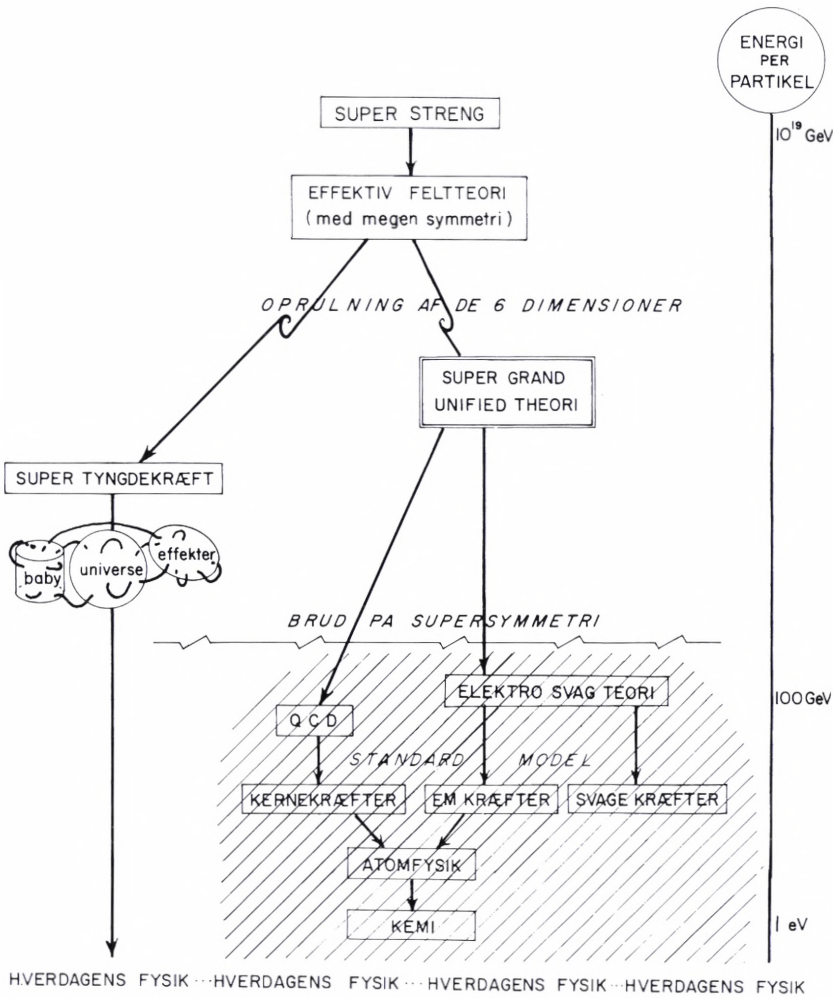
deller til at stemme med hadroneksperimenterne, bla. fordi modellerne forudsagde forskellige uønskede masseløse partikler. I virkeligheden mindede disse masseløse partikler om fotoner og gravitoner etc. Men dengang ønskede man jo at tolke dem som hadroner, altså som stærkt vekselvirkende partikler, og fotonen og gravitonen er *ikke* stærkt vekselvirkende.

Det var først, efter at strengene havde været gået af mode i nogle år, at Green og Schwarz fandt på at anvende dem som modeller for gravitoner, fotoner, kvarker, leptoner etc. Det, der gav stødet til, at strengteorier kom på mode som teorier for alt, og ikke bare som oprindelig for de stærke kræfter, var, at Green og Schwarz opdagede, at strengteoriene var endnu vanskeligere at få til at blive konsistente, end man tidligere havde troet. Det viste sig også, at teorien forudsagde en bestemt »gaugegruppe«. En gaugegruppe er en matematisk struktur, som karakteriserer Yang-Mills teorier. En Yang-Mills teori kaldes derfor ofte for en *gaugeteori*. Fotonen, gluonen og andre partikler med spin 1 kaldes gaugepartikler, fordi de altid optræder i Yang-Millsteorier, og er nært knyttet til gaugegruppen. Green og Schwarz kunne altså sige noget om, hvordan gaugepartiklerne i teorien vekselvirker, og om hvor mange af dem der skal være. På den måde så det ud til, at det var enormt entydigt, hvordan en strengteori måtte se ud. Det var kun ganske lidt valg. Havde man blot sagt, at det skulle være en strengteori, var næsten alt fastlagt!

Det har nemlig vist sig at være en matematisk overordentlig vanskelig sag at finde en strengmodel, som opfylder alle de krav, man må stille, for at en sådan model blot skal være selvkonsistent. Det har vist sig, at den simpleste strengmodel kræver, at tid og rum skal have 26 dimensioner i stedet for de 4, man kender. Den har dog stadig andre fejl, f.eks. forudsiger den eksistensen af en partikel, der kan løbe hurtigere end lyset. Den mest lovende strengteori er den såkaldte heterotiske  $E_8 \times E_8$  superstreng. Den kræver, at rummet har 10 dimensioner: 1 tidsagtig og 9 rumlige dimensioner. ( $E_8$  er navnet på en såkaldt exceptionel gruppe med en meget indviklet struktur).

Disse mærkelige restriktioner skyldes, at kvantemeknikken ofte fører til »anomale« effekter. Når man ønsker at opstille en





Figur 13. Fysikkens sammenhæng set fra et strengteoretisk synspunkt.

kvantemekanisk model, starter man fra en klassisk (dvs. ikke-kvantemekanisk) model med alle de ønskede symmetriegenskaber. Det viser sig da, at den fremkomne kvantemekaniske model ikke altid har de oprindelige symmetriegenskaber: dette er en anomal effekt.

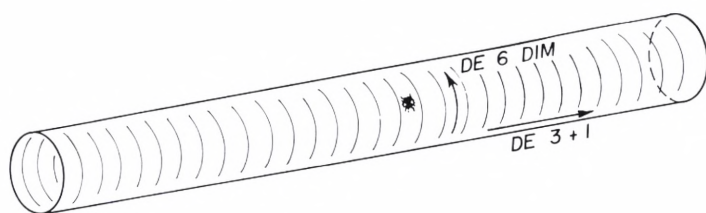
Vi kunne f.eks. starte med en strengmodel, som adlyder relati-

vitetsteorien. Specielt er den rotationsinvariant, dvs. at alle dens egenskaber er uændrede, hvis vi drejer den. Så går man i gang med at opstille en kvantemekanisk formalisme for denne model. Nu er der en vis frihed for, hvordan man bærer sig ad, fordi man blandt andet må tilordne tal til punkterne på strengen, så man kan fortælle, hvilke punkter der er hvor.

Man kan vælge at nummerere punkterne på strengen ved at gå ud fra en bestemt retning i rummet. Dette valg af retning skulle egentlig ikke betyde noget, da det tilsyneladende kun er formalismen, man nu gør ikke-rotationsinvariant, mens man stadig skulle vente, at de fysiske forudsigelser af teorien skulle se ens ud fra alle retninger. Det viser sig imidlertid, at kvantemekanikken byder på overraskelser: Der er i almindelighed ingen rotationssymmetri i den kvantemekaniske strengmodel, som man herved får opbygget! Faktisk er det kun, hvis dimensionen af rum-tid just er 26, altså 1 tidslig og 25 rumagtige dimensioner, at der alligevel, næsten mirakuløst, viser sig rotationsinvarians! (I den heterotiske streng bliver 16 af de 26 dimensioner brugt til noget andet, så vi ender med 10).

På lignende måde vil en gaugesymmetri indsat i den klassiske strengmodel gå tabt, undtagen i specielle tilfælde. Derfor kan strengmodellerne udvælge bestemte gaugegrupper. Man kan vise, at det fører til inkonsistens, undtagen for en af de relativt få udvalgte grupper, såsom  $E_8 \times E_8$ .

Det er denne næsten mirakuløse konsistens af den kvantemekaniske formalisme i meget specielle tilfælde – bestemt dimension, bestemt gruppe – som har tiltrukket sig fysikernes interesse (figur 13). Gaugegruppen  $E_8 \times E_8$  er langt fra at være identisk med den gruppe, der anvendes i standardmodellen. Antallet af gaugepartikler i de to grupper er meget større end de 12 gaugepartikler, vi kender. Men man kan håbe, at en del overflødige gaugepartikler svarende til en af de store grupper, helst  $E_8 \times E_8$ , skønt masseløse på Planckskaalen, alligevel vil være så massive, at de ikke kan produceres med dagens teknik. Så ville strengmodellen i alt fald ikke være i uoverensstemmelse med eksperimenter. Hvorfor skulle man ikke også finde en masse nye partikler, efterhånden som man får bedre accelerators? Faktisk skulle man ifølge



Figur 14. Strengmodeller kan kun være konsistente, hvis rum-tid har bestemte antal dimensioner, 26 for nogle modeller, 10 for andre. De overflødige dimensioner må være usynlige for os. Vi forestiller os, at de krøller op som rør med radius på ca. en Planck-længde.

strengmodellerne finde en hel masse nye partikler. Men jo mere man appellerer til andre mekanismer, som kunne fjerne nogle af disse partikler, jo flere ukendte parametre må man putte ind i teorien, og dermed bliver en eventuel overensstemmelse med eksperimenter mindre overbevisende.

En anden svaghed er, at de mest lovende strengmodeller forudsiger 10 dimensioner. Vi må håbe, at de 6 er krøllet op på en eller anden måde og ikke effektivt kan observeres (figur 14). Da det blev moderne at arbejde med strengmodeller, viste det sig desværre alligevel, at der er frygtelig mange mulige modeller. Men det ødelægger jo egentlig den entydighed, som gav stødet til vor tro på, at naturen er bygget op af strenge.

Det er, som jeg har understreget, meget langt at ekstrapolere over de 18 størrelsesordener fra eksperimenterne til strengene, hvis de er sandheden. Det er derfor ikke så overbevisende, hvad der er kommet ud af strengteorien. For at få den til at passe med naturen må man tilføje ganske mange hjælpeantagelser.

#### 4.2 Babyunivers-teori

I de seneste år har vi set en ny »teori for alt« dukke op: Babyunivers-teorien.

Babyunivers-teorien tager sit udgangspunkt i den generelle relativitetsteori, efter hvilken geometrien ikke er fastlagt en gang for alle, men er afhængig af materiens fordeling i rummet. Hvis



kvantemekanikken inkluderes, er der endda en statistisk fordeling af geometrier. Således vil afstanden mellem to punkter ikke i almindelighed have en nøjagtig værdi, men kun være givet ved en sandsynlighedsfordeling. Geometrien (i firedimensional rum-tid) kan i kvante-tyngdekraftsteorien bedst sammenlignes med geometrien på en overflade, der er boblet og bølget (figur 11), ja der kan endda være såkaldte ormehuller, rør, der fører fra et sted på fladen til et andet (figur 10). Det kan godt tænkes, at afstanden mellem de to mundinger af røret er lang, målt på fladen, og ganske kort, målt gennem ormehullet. Lang betyder her lang i rumlig afstand eller lang med hensyn til tidsforskel. Vi kunne forestille os, at et tilstrækkelig lille væsen fandt på at krybe gennem et sådant ormehul, fra et tidspunkt til et andet, måske tidligere tidspunkt (det ville åbne mulighed for at se ind i fremtiden!). Undervejs ville han befinde sig i en nærmest separat – normalt meget lille – verden, kaldet et babyunivers.

Babyunivers-teorien udnytter, at sådanne små ormehuller dannes i rummets geometri på grund af kvantemekanikken. De svarer til, at små universer, babyuniverser, bliver udvekslet fra et sted og en tid til et andet sted og en anden tid.

Det nylige fremskridt i forståelsen af babyuniverserne består nærmest i at bortforklare de mest mærkelige og ikke-observerede effekter, såsom mulighederne for at sende meddelelser baglæns i tiden. Faktisk bliver der meget få virkninger at se af babyuniverser eller ormehuller, når det først er argumenteret, at alle deres effekter vil være de samme alle steder og til alle tider.

Nu er babyuniverserne kvantefluktuationer, som er statistisk fordelt i rum-tid, så de er ikke knyttet til noget bestemt sted eller nogen bestemt tid. Det er derfor ikke så overraskende, at de formelle beregninger viser, at effekten af dem er den samme overalt og til alle tider. Men det gør det naturligvis meget sværere at se nogen effekt af dem overhovedet. Hvordan skal man så vide, hvordan fysikken ville have været, hvis babyuniverserne ikke havde været der?

Babyuniversernes virkning er, at de modificerer naturkonstanterne. I naturlovene, som er godt beskrevet ved standardmodellen, indgår der en del talkonstanter, hvis værdier ikke kan for-

klares af teorien selv. Jeg kan nævne elektronens ladning og dens masse. Vi refererer til dem som koblingskonstanter, fordi de som oftest har at gøre med, hvordan felter eller partikler vekselvirker (kobler til) med hinanden.

I babyunivers-teorien opfattes disse koblinger ikke som konstanter, men snarere som variable størrelser på lige fod med f.eks. positionen af en partikel. Ifølge kvantemekanikken får koblingerne derfor statistiske fordelinger, men ikke bestemte værdier. Så i første omgang ser det ud til, at babyunivers-teorien umuliggør ethvert håb om nogensinde at kunne beregne sådanne koblinger teoretisk. Når de er tilfældige (statistiske), er det jo umuligt at beregne dem i forvejen.

Nu kan man imidlertid argumentere for, at fordelingen i de fleste tilfælde bliver meget snæver, så snæver at den i praksis angiver en bestemt værdi med stor nøjagtighed. Så har man faktisk en forudsigelse. Blandt andet får man en slags løsning på det såkaldte kosmologiske konstantproblem. Dette problem refererer til spørgsmålet: Hvorfor er universet ikke mere krumt end det er? Det er faktisk meget fladt.

Babyunivers-teorien løser problemet således: Størrelsen af universerne influerer på koblingernes sandsynlighedsfordelinger. For universer, der ikke er meget små, vil den kobling, der hedder den »kosmologiske konstant«, med meget stor sandsynlighed antage en værdi særdeles tæt på nul. Det betyder, at universet er meget fladt og dermed også *meget* stort.

Det er den flade geometri, svarende til værdien 0 for den kosmologiske konstant, der er skyld i, at vi i virkeligheden kun har små afvigelser fra den specielle relativitetsteori, og at vi kan bruge den sædvanlige geometri, som man lærer hos Euklid.

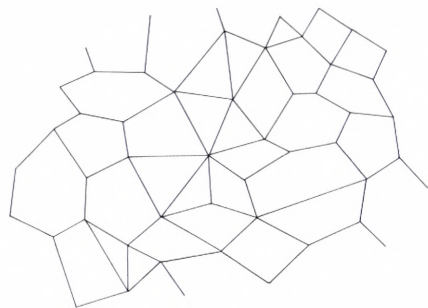
Da den kosmologiske konstant fra et rent teoretisk synspunkt ligeså godt kunne have haft enhver anden værdi, må man sige, at det er en stor sejr for babyunivers-teorien, at den kan give den rigtige værdi, den, som man finder eksperimentelt.

Selv har jeg været med til, ved hjælp af babyunivers-teorien, at forklare, hvorfor værdien af en anden kobling, kaldet  $\Theta$ , måtte være enten 0 eller  $\pi$ . Nøjere beregninger viste mærkeligt nok, at den blev forudsagt til  $\pi$ . Værdierne 0 og  $\pi$  ville begge være gode

nok til at forklare hovedproblemet i forbindelse med  $\theta$ , nemlig hvorfor de stærke kræfter har så høj grad af spejlingssymmetri. At den beregnede værdi er  $\pi$  i stedet for 0, må desværre regnes for en af babyunivers-teoriens uheldige forudsigelser; det er faktisk i modstrid med eksperimenterne. Men babyunivers-teorien synes i flere tilfælde at have det problem at komme med forkerte forudsigelser.

### 4.3 Tilfældig dynamik

De ovenfor nævnte tilfældige koblinger minder om en af de grundlæggende ideer i min egen kæphest: tilfældig dynamik. Også her tænker man sig, at koblingerne, altså naturkonstanterne, har tilfældige værdier. Hele modellens struktur tænkes endda at være tilfældig, inklusive rummets struktur ved små afstande (figur 15). Det er nok bedst at fremstille tilfældig dynamik som den filosofi, vi måtte anvende, hvis de grundlæggende naturlove var umådelig komplicerede. Dermed mener jeg, at der slet ikke var nogen ledende principper, ingen simple regler, intet gyldent princip, som fysikeren kunne finde frem til ved et godt gæt og derefter bruge til at beregne, hvad der sker i naturen. Jeg forestiller mig i modellen, at de lovmæssigheder, der måtte eksistere på det fundamentale niveau, i det mindste er så uhyre indviklede, at de er totalt ubrugelige for mennesker forsynet med realistiske regnemaskiner. Egentlig vil det vel sige, at der slet ikke er nogen grundlæggende naturlove. Men hvis det nu virkelig var så kompliceret, så kunne vi ligeså godt betragte naturens grund-



Figur 15. I tilfældig dynamik anser vi endog rum-tids-strukturen for at være tilfældig. Dette rum kunne være et sæt af punkter, som sad i et helt kaotisk gitter.



læggende ligninger eller grundlæggende love som tilfældige. Vi ville jo næppe slippe godt fra at gætte dem.

Umiddelbart vil man vel indvende, at eksistensen af en række ret simple naturlove eller regelmæssigheder taler imod den idé, at de grundlæggende naturlove eller den grundlæggende dynamik skulle være så kompliceret, at den i det mindste i praksis var tilfældig. Jeg indrømmer også, at dette i første omgang er et argument imod ideen, men der er den mulighed, at den grundlæggende dynamik ikke spiller nogen væsentlig rolle for de »effektive naturlove«, som vi kender fra eksperimenter. Den egentlige hypotese i tilfældig dynamik-ideen er altså, at

næsten alle tilfældige forslag – af meget kompliceret karakter – til hvad fysikken kunne være på det mest »fundamentale niveau« (ved korte afstande), vil vise sig at stemme med de relativt simple love, man indtil nu har fundet empirisk.

Måske har næsten alle umådelig komplicerede modeller enkle egenskaber, som gælder for store objekter under visse specielle forhold, og måske kan alt, hvad fysikerne indtil nu har fundet, tolkes som en afspejling af sådanne meget generelle egenskaber ved næsten alle modeller (»dynamikker«). Faktisk er vi kommet ganske langt med at udlede forskellige kendte naturlove ud fra andre og ved at vælge parametrene i den grundlæggende model tilfældigt, eller i hvert fald uden at antage nogen præcis værdi for dem. Hvis næsten alle grundlæggende modeller virkelig var så rigtige, at de reproducerede fysikernes viden i dag, så skulle det være en god tilnærmelse at antage, at den fundamentale models parametre var tilfældige; det skulle være nok at undgå nogle helt uheldige og forhåbentlig sjældne modeller, som netop ikke reproducerer de allerede kendte love. Faktisk bruger vi heller ikke antagelsen om tilfældige parametre i modellen, undtagen netop til at undgå de sjældne modeller, der ikke ville fungere.

I virkeligheden er tilfældig dynamik inspireret af forbindelsen mellem forskellige fagområder, f.eks. mellem biologi og fysik: De biologiske systemer, dyr og planter og vi selv, er samtidig fysiske systemer og må adlyde de kendte naturlove. Men nu fin-

der man f.eks. regelmæssigheder, som kan forklares teoretisk ved Darwins udviklingsteori, uden brug af detaljer i de kendte fysiske love. Mange grundstoffer spiller kun en meget beskednen rolle for de levende væsener, og det ville være meget overraskende, om ikke livets opståen og udvikling kunne have fundet sted også uden dem. Måske ville livet have udviklet sig en smule anderledes, hvis der f.eks. ikke havde eksisteret sølv. Men biologiens lære om hensigtsmæssige organer og formering ville generelt set nok være lidet forstyrret af ændringer i fysikkens detaljer.

På lignende måde afhænger kemiens fænomener ikke meget af detaljer i kernefysikken. Det er stort set kun antallet af protoner i kernen, der er vigtigt for kemien, mens antallet af neutroner kun har en meget lille betydning. Og alle de nye partikler, som man har fundet i højenergifysikken, spiller slet ingen rolle for hverken kemi eller biologi.

I analogi hermed er det en naturlig tanke, at de partikler, strenge eller hvad det nu kan være, som højenergifysikkens partikler måtte være bygget op af, heller ikke spiller nogen større rolle for de fænomener, vi kan udforske med vor tids instrumenter. Måske kan de mere generelle aspekter af de love, der gælder for de kendte højenergifysik-partikler, ligesom hensigtsmæssigheden af organer, opfattes som et udtryk for en udvælgelse af de mest egnede individer.

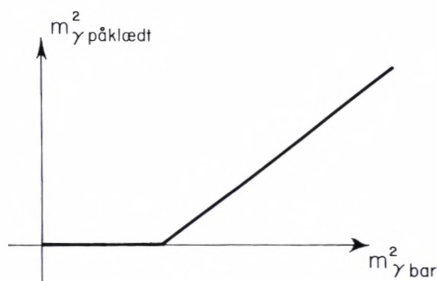
Vi kan med nogen ret anskue de fra højenergifysikken kendte partikler som udvalgte med særlig små masser i forhold til Planck-massen (formodentlig den fundamentale masse)  $10^{19}$  GeV/ $c^2$ . Vi er jo kun i stand til at se partikler med ekstremt lave masser, målt med denne enhed. Den tungeste partikel, man har produceret, er  $Z^0$  med masse på ca. 90 GeV/ $c^2$ .

Det er faktisk sådan, at de partikler vi kender, altså standardmodellens partikler, bærer spor af at være udvalgte. Alle partiklerne i standardmodellen har nemlig på den ene eller den anden måde egenskaber, som gør, at de ville have været masseløse, hvis det ikke var på grund af Higgs-feltets effekt. Hvis der ikke er noget Higgs-felt eller en anden mekanisme, der kan give gaugepartiklerne, kvarkerne og leptonerne masse forskellig fra nul, så ville alle de kendte partikler stort set være masseløse. Kun sam-

mensatte partikler, der er bygget op af standardmodellens fundamentale partikler, ville have masse forskellig fra nul. I denne forstand bærer de kendte partikler spor af at være udvalgt som ekstraordinært lette.

At leptoner, kvarker og gaugepartikler skal være masseløse, kan i virkeligheden føres tilbage til den samme formelle symmetri, nemlig gaugesymmetri, der er en vigtig egenskab ved Yang-Mills teorier. Det er et hovedpunkt i tilfældig dynamik, at vi kan argumentere for, at en almindelig feltteori kan blive til en gaugeteori ved et tilfælde:

Vi ser på fotonens masse. Det er en erfaring, at hvis man ønsker at få en parameter som fotonens masse til at blive præcis nul, må man enten tilpasse en eller anden parameter særdeles nøjagtigt, eller man må pålægge modellen et symmetrikrav; her ville kravet om gaugesymmetri kunne bruges. Men nu påstår vi, at selv om man starter fra en model, der ikke er pålagt noget dertil svarende symmetrikrav, og selv om man ikke finjusterer nogen parameter, så kan det alligevel meget let ske, at fotonmassen bliver eksakt lig nul. Dette er illustreret ved figur 16. Her har jeg vist fotonens »effektive« masse,  $m_{\gamma \text{ påklædt}}^2$ , som funktion af teoriens oprindelige tilfældigt valgte masse,  $m_{\text{bar}}^2$ . (Den teori jeg her har brugt er en »gittergaugeteori uden gaugesymmetri«). Det er en teknisk model, hvori felterne kun er defineret i adskilte punkter. Model-



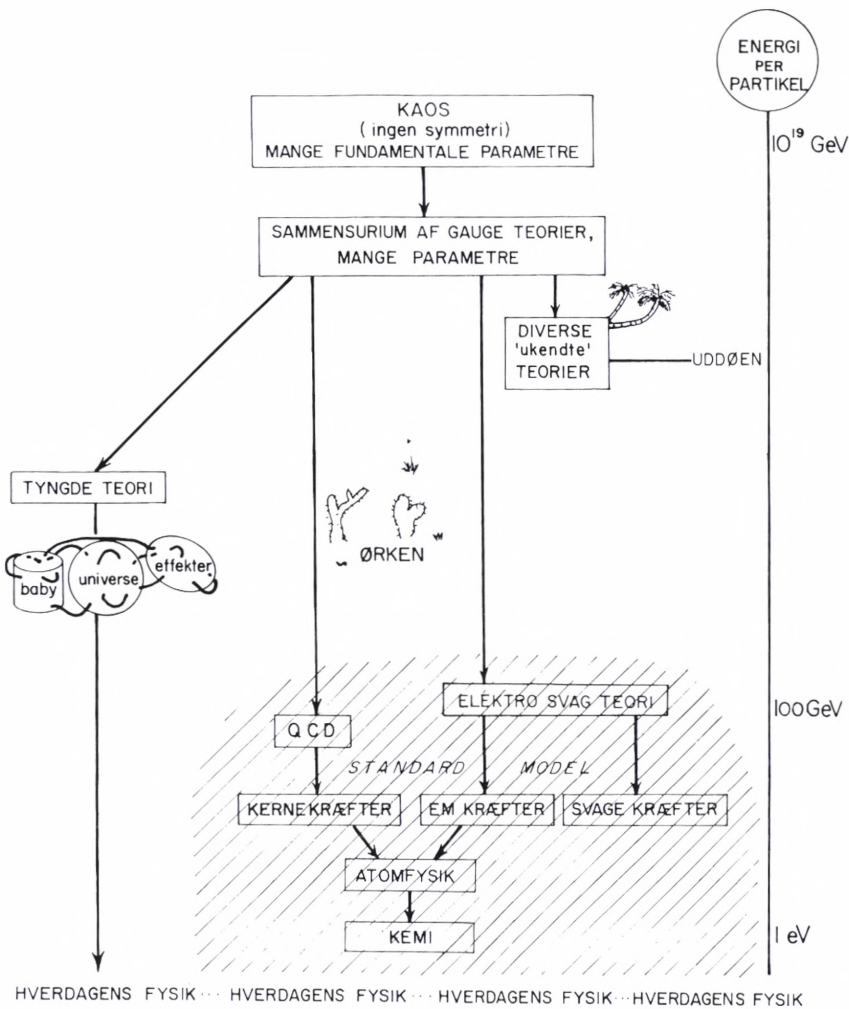
Figur 16. I kvantefeltteorier er der ofte forskel på den oprindelige værdi af en kobling, den, man indsætter i teorien, og den effektive værdi, den man kunne måle ved eksperimenter. I grafen er det illustreret ved fotonens masse for en vis type teorier. Grafen giver den effektive masse,  $m_{\text{påkldt}}^2$ , som funktion af den oprindelige,  $m_{\text{bar}}^2$ . For tilfældig dynamik er det interessant, at den effektive masse kan blive nøjagtigt 0, selvom den oprindelige værdi kunne være en hel del forskellig fra 0.



len er konstrueret, så den ligner elektrodynamikken, uden at der dog er pålagt nogen symmetri som f.eks. gaugesymmetri). Pointen er, at den effektive fotonmasse bliver eksakt nul for et helt interval af den oprindelige (tilfældige) masse. Da afstanden mellem gitterpunkterne antages at være nær Plancklængden, må masserne måles i enheder af Planckmassen. Det virker altså, som om man får et præcist tal 0 ud uden at have måttet putte noget præcist tal ind. Gud havde så at sige ikke behov for at finindstille nogen parameter for at sikre, at fotonens masse skulle blive eksakt nul, det kom af sig selv, blot den bare masse  $m_{bar}$  var lille nok.

Det er bemærkelsesværdigt, at de partikler, der bliver masseløse ved denne lidt mirakuløse mekanisme, hører til blandt dem, vi kender fra eksperimenter. Noget kunne altså tyde på, at de partikler, som vi har observeret indtil i dag, netop er dem, som kan gøres masseløse uden at finindstille nogen parametre. Det virker, som om vi just ser de partikeltyper, der er masseløse som følge af en naturlig mekanisme. Naturens tilsyneladende interesse for gauge teorier kan altså, efter min opfattelse, være en afspejling af, at vi kun kan observere partikler, der er masseløse på Planckskalaen, og at gauge teorier med masseløse partikler kan opstå fra feltteorier med tilfældige parameterværdier (figur 17). Vi har været i stand til at argumentere for de fleste kendte naturlove ud fra meget generelle forudsætninger, og på den måde mener vi at have en vis støtte for tilfældig dynamik, men jeg må indrømme, at vore argumenter for det meste ikke er tilstrækkelig overbevisende, og at vi har måttet gøre forskellige hjælpeantagelser.

Nogle af vore bedste forudsigelser er, at vi kan sige noget om den gauge gruppe, som karakteriserer standardmodellen. Denne gruppe og dermed strukturen i standardmodellen er bemærkelsesværdig ved en særlig mangel på symmetri. Vi kalder den skæv. Skævheden kan forklares ved tilfældig dynamik. En anden forudsigelse, som vi med lidt god vilje kan få ud af tilfældig dynamik, kommer fra en beregning af de tre finstrukturkonstanter (for stærke, for elektromagnetiske og for svage kræfter), som indgår i standardmodellen. Der er nemlig en relation mellem antallet af partikel-generationer og finstrukturkonstanternes værdier. De



Figur 17. Fysikkens sammenhæng set fra tilfældig dynamik-synspunkt.

eksperimentelle værdier kan kun reproduceres, hvis der er netop tre generationer. I den første kladde til dette manuskript måtte jeg skrive, at antallet af generationer endnu ikke var kendt – det kunne være både tre eller fire, måske endda mere. Det er nu blevet målt. Antallet er tre.

Hvis virkeligt tilfældig dynamik var sandheden, ville det be-

tyde, at Gud havde flere tangenter at spille på, end hvis for eksempel superstrengteorien var den rigtige. Ifølge tilfældig dynamik skulle det nemlig ikke gøre nogen forskel for de kendte naturloves udledning, hvilken grundlæggende fysik og hvilke parametre Han måtte vælge. Han behøvede ikke at kere sig om naturlovene, men kunne hellige sig andre interesser, og lade naturlovene vise sig af sig selv.

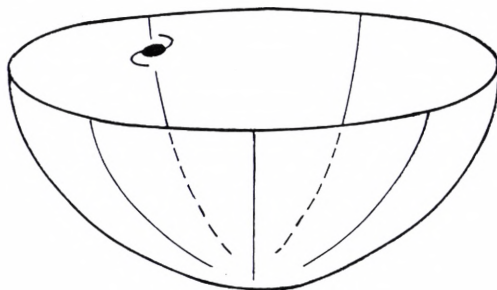
Jeg synes selv, at det er et overordentlig lovende tegn for sandheden af tilfældig dynamik-teorien, at vi har været i stand til at komme til tallet tre for generationer, inden det blev endeligt målt. Endnu er dog ingen af de tre »teorier«, som jeg har omtalt, blevet bekræftet overbevisende, heller ikke strengteorien, selv om den er den mest populære blandt fysikerne.

Så der er stadig åbent for yderligere spekulationer. Vi kan formodentlig slet ikke få nogen afklaring af, hvilken teori der er den rigtige, før vi har meget store acceleratorer, f.eks. med energi helt op til Planck-energien.

Men det må betragtes som ret fantastisk, at vi allerede nu har så gode forslag til teorier for fysikkens love: Superstrengen, babyunivers-teorien og tilfældig dynamik. Til en vis grad kunne sandheden være en kombination, især kunne babyunivers-effekterne være vigtige, selv om en af de andre modeller var sandheden.

Jeg vil gerne takke Lisbeth Nordby og Elisabeth Grothe, som henholdsvis har læst korrektur på manuskriptet og lavet tegningerne.

Figur 18. Skål, der symboliserer universets udvikling.





## Litteratur

- Fabien Gruhier et Bernard Werber: Dieu et le Big Bang. Le nouvel Observateur 1989/3.
- G. 'tHooft: Gauge Theories of the Forces between Elementary Particles. Scientific American, Juni 1980.
- H. Georgi: A Unified Theory of Elementary Particles and Forces. Scientific American, April 1981.
- S. Weinberg: The Decay of the Proton. Scientific American, June 1981.
- E. D. Bloom and G. J. Feldman: Quarkonium. Scientific American, May 1982.
- C. Quigg: Elementary Particles and Forces. Scientific American, April 1985.
- J. M. LoSecco, F. Reines and D. Sinclair: The Search for Proton Decay. Scientific American, June 1985.
- J. D. Jackson, M. Tigner and S. Wojcicki: The Superconducting Supercollider. Scientific American, March 1986.
- H. E. Haber and G. L. Kane: Is Nature Supersymmetric? Scientific American, June 1986.
- M.B. Green: Superstrings. Scientific American, September 1986.
- M. J. G. Veltman: The Higgs Boson. Scientific American, November 1986.
- J. L. Petersen: Superstreng. Fysisk Tidsskrift 85, 1987, No. 3.

## Diskussion

OVE NATHAN: Jeg takker foredragsholderen for en omfattende, alvorlig og dog humorfyldt fremstilling af det hele, hvor det jo blev gjort nemt for Vorherre. Jeg forstår, at Vorherre nærmest kører i en bil med automatgear og automatisk choker, så han behøver bare at trykke på speederen, og så vil alle finindstillinger i øvrigt fungere af sig selv. Mit spørgsmål gælder dit udgangspunkt, The Big Bang, som du introducerede og også i din afslutning kommenterede ret håndfast. Du sagde: »I hvert fald var der en stor eksplosion«. Når det kommer til stykket, så er vel Big Bang-hypotesen en hypotese eller, med Olaf Pedersens ord, en fysisk teori, som konsistent forklarer tre endnu ikke fuldstændige datasæt, som du ikke nærmere kom ind på. Men kan disse data ikke om 10-20-50 år være modificerede af ny iagttagelser, så vi også må modificere hypotesen eller teorien om The Big Bang? I så fald er det måske nok temmelig spekulativt så dramatisk at introducere ordet »skabelsen« allerede i overskriften og senere i foredraget. Spørgsmålet er, om man ikke bør forlene disse ambitiøse fysiske teorier med en betydelig grad af ydmyghed og konstatere, at man altså har et sæt matematisk formulerede synspunkter, som kan forklare nogle endnu ufuldstændige observationer, og så glæde sig over, at man kan bygge visse ordvisioner op om det, men at det er lige hårdt nok så vedholdende og så postulatorisk at tale om så definitivt et ord som »skabelse«. Det er mit hovedspørgsmål til dig, om du ikke lader dig rive med af den utvivlsomme succes, dine og andre teorier har, til en lovlig vidtgående fortolkning, i hvert fald på det verbale plan.

HOLGER BECH NIELSEN: Når man vil tale om »skabelsens« allerførste øjeblik, er der grund til at være forsigtig. Jeg tror, at et Big Bang har fundet sted; vi har ikke mange observationer, men véd dog, at galakserne, mælkevejssystemerne, bevæger sig bort fra os. Modforslag er opstillet, men er man skeptisk her, er der mange ting at være skeptisk overfor.

Men selvfølgelig: Extrapolerer man ned under  $10^{-13}$  sekunder og regner med en temperatur, der er så høj, at vi ikke kan simu-

lere den med vore instrumenter i dag – så er vi ude i det spekulative. Hvad var der før? Ikke nødvendigvis en skabelse, for naturlovene kan have været anderledes – og nogle mener, vi kan være kommet ud af et univers, der eksisterede før vort. Vi ved meget lidt om det første øjeblik, og hvis jeg siger, at der dengang ikke fandtes tid og rum, så er det jo spekulativt uanset eksperimenterne bagved teorien. Den har imidlertid en så betydelig skønhed, at man nok må regne med en vis sandhedsværdi. Alligevel: Situationen under og måske »før« Big Bang er højst uklar; først lidt senere kan man udtale sig med nogen sikkerhed.

HECTOR ESTRUP: Mit spørgsmål drejer sig også om The Big Bang. Det, der fangede mig, var din påstand om, at der før The Big Bang hverken var tid eller rum. Men hvis man bruger ordet *før*, så har man jo allerede forudsat tiden. Taler man om altings begyndelse, så forudsætter man næsten også, at der har været både et før og et efter.

Må det her være mig tilladt at påpege, at vi også inden for samfundsvidenskaberne har eller har haft en eller flere teorier om et Big Bang. Det har altid forundret samfundsforskerne – økonomer, sociologer og jurister – at et samfund bestående af millioner af mennesker, der alle, hver især, gør, som de selv vil – at det hele så alligevel falder til ro i et ordnet mønster. Så vi starter med de tilfældige mennesker, de tilfældige viljer, der krydser hinanden på masser af forskellige måder, og alligevel mønstres det på en smuk, forudsigelig måde, og des bedre jo større grupper man ser på. Mange gange er nemlig makrofænomenerne mere forudsigelige og også mere strukturerbare end den enkelte persons handlinger; for de enkelte mennesker kan finde på så frygtelig meget. I samfundsvidenskaben er teorien om The Big Bang en teori om overgangen fra et gorillasamfund til et organiseret menneskesamfund. En sådan teori stilledes på benene af forskellige forfattere i det 18. århundrede. Det var teorien om samfundskontrakten. På en eller anden måde måtte mennesker have mødtes og aftalt de grundlæggende regler, man skulle opføre sig efter. Ud fra disse grundlæggende regler udvikler sig da det mønster og de samfundsformer, som man faktisk observerer. Samfundskontrakten



er derfor en slags Big Bang. En måde at kritisere denne teori på er at sige, at en sådan kontrakt aldrig kunne være indgået, for hvordan skulle man enes om noget, når der ikke i forvejen var regler for, at aftaler skulle holdes, osv.? Så det kunne jo aldrig være noget, der i virkeligheden var sket. Svaret herpå er, at teorien ikke refererer til et historisk faktum, og at samfundskontrakten altså ikke er noget, der refererer til den materielle virkelighed. Det er en logisk betingelse, ikke noget ontologisk.

Når man nu tænker på, hvordan man skal forstå fysikerens teori om The Big Bang, forekommer det naturligt at spørge, om The Big Bang er noget, der virkelig fandt sted, eller om det er en teori, der har karakter af en slags logisk betingelse for de øvrige ting, – altså om man skal forstå den som en ontologisk eller som en logisk teori. Er det det ene, eller er det det andet?

BECH NIELSEN: Det skal forstås på niveau med andre fysiske teorier – hvor »ontologiske« man så vil gøre partiklerne. Stoffet var faktisk engang varmere og tættere. Man bør for så vidt nok udrydde talen om, hvad der skete, før eksplosionen var i gang; men da den var startet, fandt den virkelig sted. (Egentlig foregår den stadigvæk, idet galakserne endnu fjerner sig fra hinanden). Men vi bruger nu engang modelbilleder, og tidsbegrebet ligger dybt i vort sprog, så vi fristes til at bruge det, også hvor det næppe er eller var gyldigt. Det medfører modsigelser i sproget, ligesom Olaf Pedersen refererede det fra Antikken.

Hvis vi skal beskrive de ting, der hænger sammen med Big Bang og med relativitetsteorien, så skal vi nok bruge matematiske begreber som ligninger for mangfoldigheder eller Riemannrum. Hvis vi derimod bruger dagligsproget, støder vi på det indbyggede tidsbegreb, som måske kommer i konflikt med vort emne.

Man kan dog godt forsøge med at tale om noget, som egentlig skulle omtales i et andet sprog, og så må man bruge metaforer som i det gamle Grækenland. »Før Big Bang var der ingen tid og intet rum« er selvfølgelig en metafor, og tanken om »ingen tid« forbyder i sig selv ordet »før«. Måske burde man tage et kursus i den generelle relativitetsteori og lære at udtrykke sig i matemati-

ske termer. Men hvordan når man via computer eller via videnskabelig tænkning frem til at beregne og tolke konsekvenserne? Man siger, at galakserne flyver fra hinanden – men hvad man i praksis har observeret, er, at en linie i galaksens spektrum er mere rød, end den ville være, hvis galaksen ikke fjernede sig.

Man har måske ikke forstået tingene, før man har gennemskuet hele vejen – og måske ikke engang da. Måske kan man tale ontologisk – måske er det farligt at huse for mange fordomme. Men Big Bang-teorien har i hvert fald målelige konsekvenser og er derfor brugbar.

OLAF PEDERSEN: Fremkaldt af Ove Nathans indlæg vil jeg sige, at om det er filosofisk eller fysisk, ved jeg ikke rigtigt; men jeg vil gerne sige til dig, Holger, at det jo ikke er teologi, du har talt om. Og jeg synes, at der er grund til at gøre opmærksom på, at i sådan en diskurs som din, – som jeg har beundret meget, ikke mindst fordi det altid er rart at høre det fra »the horse's mouth«, – er det lidt betænkeligt at tale om begreber som skabelse og Gud, der spiller på klaver. Det giver jo menneskene den forestilling, at her knytter du fysikken til en teologisk diskurs om verden; men det er jo ikke tilfældet. Når du siger »skabelse«, ved jeg godt, hvad du mener: du mener, at verden har haft en begyndelse for et endeligt antal år siden, da der skete mange sære ting; men det er jo ikke det, teologerne mener med skabelse. Teologisk forstået siger begrebet ikke noget om, om verden er begyndt for endeligt eller uendeligt mange år siden; det siger bare, at verden er begyndt uden os. Vi har ingen lod og del i, at den er der; den er noget, vi forefinder, – den er ikke af os; og det er det, man her forstår ved skabelse. Man kan måske gøre det lidt vanskeligere for overfladiske apologeter at hoppe på dit foredrag ved at præcisere disse ting.

BECH NIELSEN: På den anden side: et ord som »skabelse« er måske igen en søgen efter ord, som man kan bruge til at udtrykke en mening, som ikke er så nem at få frem med andre ord fra dagligsproget. Egentlig føler jeg ikke, at udstrækningen af ordet skabelse fra den teologiske anvendelse til anvendelsen i Big Bang-

beskrivelsen er så lang – hvis man vil understrege, at det foregår uden os; og siger teologien, at det er Gud, der har gjort det, eller måske direkte, at Verden er skabt uden menneskene, så stemmer det jo også meget godt med Big Bang-historien, da der jo ikke var mennesker, dengang Big Bang begyndte; og derfor skete selvfølgelig skabelsen, sådan som jeg brugte ordet, uden os. Om vi så skal kalde det skabelse eller ej? Personligt finder jeg ikke ordet skabelse så vildledende, men selvfølgelig må man så modificere meningen af ordet så meget, at man ikke, blot fordi jeg siger ordet skabelse, tror, at jeg taler teologisk. Det må man i hvert fald advare imod.

Til sidst brugte jeg »Gud« i forbindelse med tilfældig dynamik: Han behøvede ikke at finindstille noget eller tage hensyn til naturlovene, de kom af sig selv i tilfældig dynamik. Det var nok ment delvis humoristisk, men der kunne måske også være nogen ide i, at tilfældig dynamik kan mildne følgende, som nogle kan føle som et problem: I andre fysiske verdensbilleder, hvor verden udvikler sig deterministisk, må Gud blot sætte sig hen og lade Universet køre uden rigtig at kunne gribe ind. Men der har vi også en mulig metafor, som egentlig ikke er så dårlig: De grundlæggende naturkonstanter er de tangenter, Gud har at spille på. Vi står over for et sprogligt problem, vi vil gerne udtrykke noget, og så kan vi gribe i kasser forskellige steder; og når vi taler om Big Bang, og om at naturkonstanterne skulle være tilfældige i min model, er teologien ikke nogen dårlig kasse at finde nogle begreber i.

JES FORCHHAMMER: Et kort spørgsmål om den første tid i Big Bang: Har man i teorien nogen beregning af, om universet udviklede sig med hastigheder over lyshastigheden i denne enorme eksplosion, eller er det meningsløst, hvis tiden ikke engang fandtes på det tidspunkt? I så fald kan man jo ikke engang tale om hastighed.

BECH NIELSEN: Nej, men tiden fandtes jo sådan set, så snart Big Bang var i gang. Så var der jo en slags tidsbegreb, måske modificeret lidt efter den generelle relativitetsteori; men jeg vil godt tale



om tid på det tidspunkt. Men kan man tale om en hastighed, som kan sammenlignes med lyshastigheden, når man spørger om ekspansionen af et univers? Her taler vi nemlig om en ekspansion, hvori galakser, eller hvad der nu har været af stof på de forskellige tidspunkter, spredes fra hinanden, men med forskellig relativ hastighed. I denne såkaldte Hubble-ekspansion spredes galakserne fra hinanden således, at de galakser, der allerede ligger langt fra hinanden, spredes med større relativ hastighed end de, der ligger nærmere ved hinanden. Jo længere væk en galakse er i forvejen, des hurtigere fjerner den sig fra os. Der er så at sige den samme procentuelle udvidelse alle steder, og derfor bliver »hastigheden«, hvormed eksplosionen foregår til et bestemt tidspunkt – hvis jeg må tillade mig at tale om tidspunkt her – spørgsmålet om, med hvor mange procent den udvider sig om året, og det vil sige: hvor stor er fordoblingstiden, hvor længe går der, for at alle afstandene skal fordobles? Det tager nu noget i retning af 10 milliarder år.

Man forestiller sig faktisk, at tilstrækkelig fjerne galakser fjerner sig med hastigheder større end lysets. I generel relativitetsteori, hvori selve rummet kan tænkes at udvide sig, er der ingen modstrid mod, at afstanden mellem to galakser øges med mere end de  $3 \times 10^8$  m/sek., som er lysets hastighed.