

# Holgers jagt på den fundamentale teori

Holger Bech Nielsen, Niels Bohr Institutet, og John Rosendal Nielsen, Aurehøj Gymnasium

Denne artikel er baseret på en samtale med Holger Bech Nielsen, hvor vi diskuterede fysik med fokus på en fundamental teori – også kendt som teorien om alting. Der er tilføjet flere af mine egne forklaringer til Holgers beskrivelse af fundamental fysik.

Jeg er på vej igennem Niels Bohr Institutets kringledede gange på vej over til bygning F. Det er her på øverste etage, at Holger Bech Nielsen har sit kontor. Jeg har været der mange gange i løbet af min studietid, men det er længe, længe siden. Dengang var jeg specialstuderende, og Holger var en af de professorer, der vejledte mig i mit speciale i teoretisk fysik. Da jeg står i Holgers kontor, må jeg konstatere, at der ikke er sket mange ændringer. Møblementet er det samme, og skrivebordet og hylderne har tendens til både kaos og orden. Det er i dette kontor, at gæsteprofessorer og studerende har diskuteret utallige problemer inden for fundamental fysik i Holgers tid som professor på Niels Bohr Institutet [1].

sammenstød af partikler i partikelfysikernes accelerato-  
rer eller ved sammenstød mellem partikler fra kosmisk  
baggrundsstråling og partikler i den øvre del af at-  
mosfæren. Standardmodellen beskriver med succes de  
kræfter, der virker i stoffet. Hertil har man introduceret  
fotoner, Z- og W-bosoner, der er de partikler, som bærer  
henholdsvis den elektromagnetiske og svage kernekraft  
(der samlet beskrives i den elektrosvage teori). Der er  
desuden kvantebærerne af den stærke kernekraft, glu-  
onerne, som ikke bare er ansvarlige for, at protonerne og  
neutronerne holder sig samlet i atomkernen, men også  
kvarkerne i nukleonerne.

Den fundamentale teori skal på den anden side  
også beskrive tyngdekraften. Til beskrivelse af stoffets  
tyngdekraftpåvirkning benytter vi os af Einsteins ge-  
nerelle relativitetsteori, der er en succesrig udvidelse  
af Newtons love. Relativitetsteorien har blandt andet  
været succesfuld til at beskrive stoffet eller lyset ved  
tilstedeværelse af et kraftigt tyngdefelt fra relativt tunge  
og tætte astronomiske objekter. Dertil har teorien med  
held kunnet beskrive nye objekter som sorte huller og  
universet som helhed, hvilket har resulteret i kosmolo-  
giens Big Bang-standardmodel. Det har vist sig proble-  
matisk at kombinere kvantefeltteoriene (kvanteelek-  
trodynamikken (QED) og QCD) og relativitetsteorien  
med hinanden. Det har ikke været muligt at lave en  
teori, der fornuftigt har kunnet beskrive tyngdekraftens  
kvantepartikel – også kendt som gravitonen.

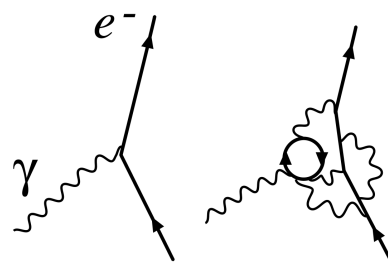
**Standard Model of Elementary Particles**

	three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)	
	I	II	III		
mass	~2.2 MeV/c <sup>2</sup>	~1.28 GeV/c <sup>2</sup>	~173.1 GeV/c <sup>2</sup>	0	~124.97 GeV/c <sup>2</sup>
charge	2/3	2/3	2/3	0	0
spin	1/2	1/2	1/2	1	0
<b>QUARKS</b>	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>g</b> gluon	<b>H</b> higgs
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>γ</b> photon	
	<b>e</b> electron	<b>μ</b> muon	<b>τ</b> tau	<b>Z</b> Z boson	
<b>LEPTONS</b>	<b>ν<sub>e</sub></b> electron neutrino	<b>ν<sub>μ</sub></b> muon neutrino	<b>ν<sub>τ</sub></b> tau neutrino	<b>W</b> W boson	<b>SCALAR BOSONS</b>
					<b>VECTOR BOSONS</b>

Figur 1. Partiklerne i Standardmodellen. Der er også vist deres masse, ladning og spin.

## Hvad skal vi med en teori om alting?

Formålet med en fundamental, forenet teori i fysikken er, at den skal kunne beskrive alt, hvad vi allerede ved. Det vil sige, at den skal indeholde partikelfysikkens Standardmodel, hvor den elektrosvage teori og kvantekromodynamikken (QCD) beskriver stoffet og dets vekselvirkninger. Denne model indeholder 12 stofpartikler – også kendt som fermioner – der er delt i 3 generationer (se figur 1). Det er interessant, at næsten alt stoffet omkring os – dig, mig, Kvant-bladet og alt andet – udelukkende består af partikler fra første generation. De to andre generationers stof findes kun i



Figur 2. En elektrons vekselvirkning med en foton kan blive kompliceret, da der kan opstå virtuelle partikler, og partiklerne kan vekselvirke med sig selv.

## Standardmodellens problemer

“Problemet med tyngdekraften er, at Standardmodellen er renormaliserbar – hvilket vil sige, at den giver fornuftige resultater, når man groft set stiller fornuftige spørgsmål”.<sup>1</sup> Hvis en kvantefeltteori ikke kan renormaliseres, vil ens udregninger give divergenser – dvs. ens

<sup>1</sup> Alle citater er fra samtalen med Holger Bech Nielsen, hvis intet andet er indikeret.

resultat bliver uendeligt, hvilket ikke er ønskværdigt. Disse divergenser opstår i kvantefeltteorien, når kvanter vekselvirker med sig selv, hvilket kvanter ofte gør. Et eksempel er en foton, der vekselvirker med en elektron – vist på figur 2. Ved denne simple vekselvirkning kan der opstå virtuelle partikler, som egentligt bryder med energibevarelse, men fordi de kun eksisterer i meget kort tid, tillader kvantefysikken, at de kan forekomme. Der kan for eksempel opstå virtuelle fotoner og elektroner (som vist på højre figur), der vekselvirker med sig selv.

Løsningen på dette problem er renormalisering. Når vi opstiller Lagrangefunktionen<sup>2</sup> i fx QED skal vi gøre os klart, at de fysiske størrelser såsom elektronens masse og ladning ikke passer med de fysiske størrelser, som vi kan måle i laboratoriet. Værdierne af de fysiske størrelser – også kendt som “bare størrelser” – bliver påvirket af kvanternes vekselvirkning med sig selv. Derudover bliver kvantefelterne også påvirket af selv-vekselvirkningen. Lagrangefunktionen i QED med “bare størrelser” vil blive,

$$\mathcal{L} = \bar{\psi}_B [i\gamma_\mu (\partial^\mu + ie_B A_B^\mu) - m_B] \psi_B - \frac{1}{4} F_{B\mu\nu} F_B^{\mu\nu} \quad (1)$$

hvor symbolerne ( $\psi_B$ ,  $\gamma_\mu$ ,  $e_B$ ,  $A_B^\mu$ ,  $m_B$  og  $F_{B\mu\nu}$ ) står for forskellige egenskaber ved felterne, der beskriver partiklerne og vekselvirkningerne imellem dem. Indekset  $B$  i Lagrangefunktionen indikerer, at der er tale om en “bar” størrelse. I hvert af disse led i ovenstående ligning, vil man introducere et “counter-term”,  $Z_n$  (hvor  $n$  kan være 0, 1 og 3 i QED).

Et simpelt matematisk eksempel på et dårligt defineret integral er

$$I = \int_0^a \frac{1}{z} dz - \int_0^b \frac{1}{z} dz = \ln(a) - \ln(b) - \ln(0) + \ln(0) \quad (2)$$

hvor  $\ln(0)$  giver et dårligt defineret uendeligt resultat. Man kan fjerne denne divergens ved at ændre de nedre grænser af integralerne til  $\varepsilon_a$  og  $\varepsilon_b$ :

$$I = \ln(a) - \ln(b) - \ln(\varepsilon_a) + \ln(\varepsilon_b) = \ln\left(\frac{a}{b}\right) - \ln\left(\frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_b}\right) \quad (3)$$

Når man lader  $\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} \rightarrow 1$ , bliver  $I = \ln\left(\frac{a}{b}\right)$ . Tilsvarende matematiske tricks laver vi i kvantefeltteoriene ved renormalisering. Det er kendt som regularisering eller teorien om grænseværdierne. Partikelfysikkens Standardmodel har også flere problematikker, som den ikke giver et fornuftigt svar på. Nogle af problemerne er:<sup>3</sup>

- Hvorfor har partiklerne de masser, som de har? Ifølge Standardmodellen skulle neutrinoerne – de mindste fermioner – være masseløse. Eksperimenter viser, at selvom vi ikke kan måle neutrinoernes eksakte masser, kan vi måle, at de har en masseforskel, og derfor må de også have en masse. Det kunne desuden være rart at få svar på, hvorfor partiklernes masser og koblingskonstanter har de størrelser, som vi måler.

- Hvorfor er der tre generationer af partikler? Der må være en dybereliggende årsag til, at der er tre generationer af fermioner.

- Hvad er den dybereliggende teori, der giver os Standardmodellen? Standardmodellen er bygget på et kludetæppe af teorier, og det vil være at foretrække med en underliggende teori.

- Hvorfor er der mere stof end antistof i universet? For hver fermion i Standardmodellen er der en antipartikel, der har mange fælles træk med partiklen, men antipartiklen har bl.a. modsat ladning og spin. Bosonerne har også antipartikler, men de er deres egen antipartikel. Partikler og antipartikler kan skabes fra energi, hvis der er en tilstrækkelig mængde energi. Det får dog én til at spørge: Hvorfor er der et overskud af partikler i forhold til antipartikler? Dette partikeloverskud forklarer Standardmodellen ikke, men det bør en mere fundamental teori gøre.

- Hvad er mørkt stof? Ifølge standardkosmologi skal der være stof, som ikke består af kvarker eller leptoner. Er der en eller flere partikler af en anden type end dem, som vi allerede kender?

Med hensyn til det sidste punkt bør det nævnes, at Holger mener, at problematikken med mørkt stof kan forklares inden for rammerne af Standardmodellen. Idéen, der involverer Multipel-Punkt-Princippet, foreslår, at mørkt stof kan forekomme som centimeter-store perler af bundne tilstande af top-kvarker med en masse på omkring 100.000 ton hver (se [1, kap. 7]).

En fundamental teori forventes at svare på et eller flere af ovenstående problemer. Holger nævner desuden, at man kan stille visse skønhedskrav til en fundamental teori. Men han indskyder dog, at man nok ikke bør være for krævende på dette område. Siden starten af 1970'erne har man ment, at strengteorien og senere superstrengteorien var en mulig kandidat til den “fundamentale teori – teorien om alting”.

## Strengteorien

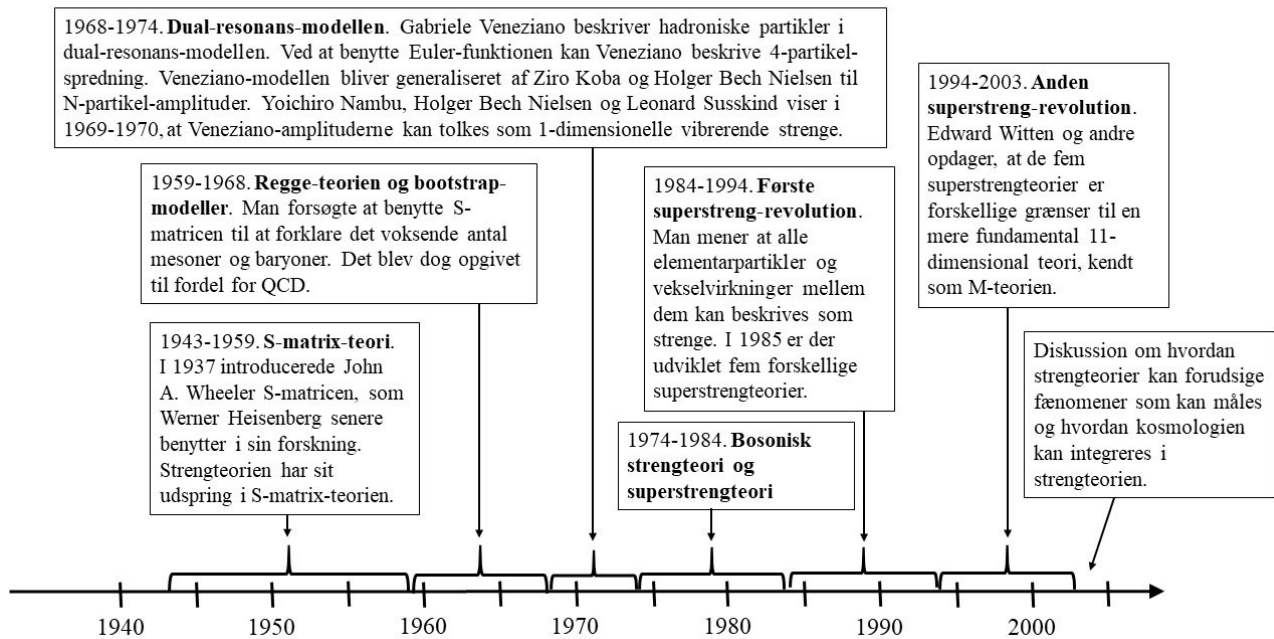
I strengteorien tænker man ikke på partikler som punktformede objekter, men som strenge. Strengens svingninger afgør, hvilke egenskaber partiklen har såsom ladning, masse, spin, osv. Idéen om strengteori trækker tråde tilbage til introduktionen af S-matricer af John A. Wheeler og Werner Heisenberg [2]. Men selve begrebet om vibrerende strenge som partikler kom først på tale i starten af 1970'erne, hvor Holger og den japanske teoretiske fysiker Ziro Koba fra begyndelsen var bidragsydere til strengteorien.

Dual-resonans-modellen beskrev hadroniske partikler, hvilket vil beskrives i større detaljer i næste afsnit. Den første egentlige strengteori fra 1974 var bosonisk, hvilket begrænser sig til de kraftbærende partikler – bosonerne. Løsningen på at inkludere partikler var supersymmetri, der er en smuk udvidelse af matematikken bag relativitetsteorien. Supersymmetri skal forbinde bosoner og fermioner, hvor hver boson har en tungere fer-

<sup>2</sup>Lagrangefunktionen er en matematisk funktion, som beskriver dynamikken af et mekanisk system. Lagrangefunktionen i mekanikken er en funktion af de generaliserede variable, deres tidsafledte og tiden. I feltteorier er variablene felter.

<sup>3</sup>En mere detaljeret beskrivelse af problemer i fysikken findes på Wikipedia, en.wikipedia.org/wiki/List\_of\_unsolved\_problems\_in\_physics

# Tidslinje over strengteoriens historie



mion-superpartner og hver fermion har en tungere bosonisk superpartner. Egenskaberne ved den supersymmetriske partner skulle være de samme som de normale partikler, men deres spin er ændret, så supersymmetriske bosoner er halvtallige, og supersymmetriske fermioner er heltallige. Det vil være en smuk symmetri, der dog kræver, at der er endnu flere fundamentale partikler.

## En teori om æteriske atomer

De supersymmetriske partikler må være endnu ikke-opdagede partikler, som, håber man, vil dukke op i CERNs Large Hadron Collider (LHC). Disse ukendte partikler kunne bl.a inkludere det mørke stof, der skal forklare stofsammensætningen i universet, hvilket vil være besnærende. Desværre har man ikke kunnet observere de supersymmetriske partikler, selvom LHC burde ligge inden for massegrænsen ifølge den minimale (eller simple) supersymmetriske Standardmodel. CERNs LHC har elimineret flere 'simple' supersymmetriske modeller, men der er stadig mulige supersymmetriske modeller [3].

På nuværende tidspunkt er der fem strengteorier, der hver især er baseret på forskellige matematiske grupper og algebraer i ti dimensioner og en supergravitations-teori. Et teoretisk gennembrud for strengteorien er, at man opdagede, at disse teorier kunne samles i en 11-dimensionel teori, som kaldes for M-teorien. Om denne teori er en endelig teori for alting, er det alt for tidligt at sige.

## Venezianos Dual-resonans-model

Den italienske teoretiske fysiker Gabriele Veneziano (1942-) undersøgte en spredning af partikler. Holger

nævner et eksempel med pi-mesoner:

$$\pi + \pi \rightarrow \pi + \omega \quad (4)$$

hvor  $\omega$ -partiklen ligeledes er en meson, som typisk vil henfalde til en pion og et gammakvant – eller tre pioner. Veneziano opdagede i 1968, at spredningsamplituden for denne firepartikelproces kunne beskrives med Eulers Betafunktion:

$$B(x, y) = \int_0^1 u^{x-1} (1-u)^{y-1} du \quad (5)$$

der gælder for reelle og positive værdier af  $x$  og  $y$ . Eulers Betafunktion er opkaldt efter den schweiziske matematiker, fysiker og ingeniør Leonhard Euler (1707-1783), der har studeret denne funktion. Der er en tæt forbindelse mellem Gammafunktioner og Betafunktioner<sup>4</sup>:

$$B(x, y) = \frac{\Gamma(x)\Gamma(y)}{\Gamma(x+y)} \quad (6)$$

Ziro Koba og Holger Bech Nielsen generaliserede spredningsamplituderne i Veneziano-modellen til en N-partikelspredning. Senere i 1969-1970 gav Yoichiro Nambu, Holger Bech Nielsen og Leonard Susskind en fortolkning af Veneziano-amplituderne. De foreslog, at amplituderne repræsenterede kernekraften som vibrerende endimensionelle strenge. Dette markerede formentligt den egentlige start på forskningen i strenge som fundamentale objekter. Beskrivelsen af den stærke kernekraft som strenge kom dog med nogle forudsigelser, som var i direkte modstrid med de eksperimentelle resultater, og derfor blev denne strengmodel opgivet. Men man kan sige, at Veneziano-dual-modellen lagde idégrundlaget til fremtidens strengteorier og superstrengteorier, som vi beskrev i et tidligere afsnit.

<sup>4</sup>Hvis  $x$  og  $y$  er heltal, kan man bestemme Betafunktionen ved fakultetsfunktionen:

$$B(x, y) = \frac{(x-1)!(y-1)!}{(x+y-1)!}$$



Vi vil afslutte vores beskrivelse af strengteorien med et citat af professor i teoretisk fysik Lee Smolin [4]:

*String theory is a powerful, well-motivated idea and deserves much of the work that has been devoted to it. If it has so far failed, the principal reason is that its intrinsic flaws are closely tied to its strengths—and, of course, the story is unfinished, since string theory may well turn out to be part of the truth. The real question is not why we have expended so much energy on string theory but why we haven't expended nearly enough on alternative approaches.*

Citatet er en passende indledning til Holgers egen teori – Tilfældig Dynamik.

### Tilfældig Dynamik

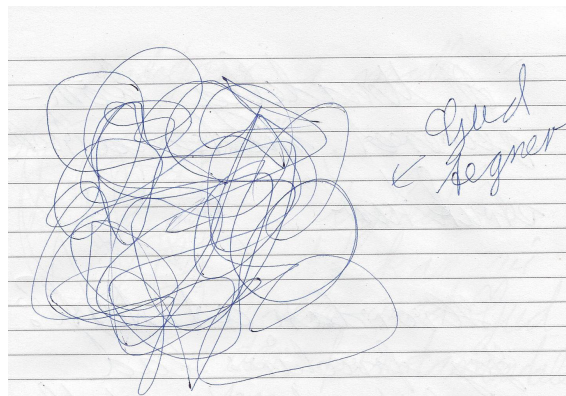
Holger Bech Niensens eget bud på en fundamental teori er nu "Tilfældig Dynamik" (eller Random Dynamics, RD). Tilfældig Dynamik går kort sagt ud på, at de grundlæggende naturlove er umådeligt komplicerede og bedst kan betragtes som tilfældige – deraf navnet [5]. En hovedantagelse i Tilfældig Dynamik er, at man ikke skal antage noget.<sup>5</sup> I fysik ønsker fysikere, at man skal antage så lidt som muligt (Occams ragekniv), og i Tilfældig Dynamik er det et ideal, at intet skal antages. Holger må dog erkende, at det i praksis er svært at leve op til dette ideal, men "hvis vi antager noget om den mikroskopiske fysik, så er de antagelser næsten sikkert forkerte. Hvis vi taler om fysikken uden for eksperimenternes område, gætter vi næsten sikkert forkert". Dette er grunden til, at Holger er temmelig loren over for kvantegravitationsteoriene, hvor man gætter, hvad der sker ved afstande på Plancklængden på  $10^{-35}$  m. Selvom man kan ekstrapolere ud fra eksperimenterne, vil der stadig være for mange muligheder, så der er stor sandsynlighed for, at man gætter forkert. Holger opfatter superstrengteorien som et modigt gæt om kvantegravitation, og det er nok det bedste gæt på markedet. Men det er stadig et gæt og derfor nok forkert.

"Oh ja, gravitation er nok lidt svært". Lad os nu søge de antagelser, som vi bliver nødt til at gøre. "For at minimere hvad jeg må putte ind i min kvantegravitationsteori, skal vi vide, hvad vi har brug for at putte ind". Hvilke antagelser kan vi ikke undgå at drage eller sagt på anden måde, "hvilke antagelser kan undgås?". I Tilfældig Dynamik tager man en naturlov, som vi antager, at man ikke kender eller ligefrem dropper, men vi kender nok nogle af de andre naturlove. Kan vi så udlede den fjernede naturlov? Det er en ønskedrøm i Tilfældig Dynamik, at vi får alle naturlovene af sig selv uden at antage noget som helst. Holger må dog anerkende, at det nok er for stærk en drøm, at naturlovene skulle komme ud af sig selv uden nogen antagelser.

### Den komplicerede antagelse

Holger stiller spørgsmålet: Hvis der slet ikke er noget, hvordan kan man så gøre noget som helst? Altså hvis der ingen antagelser er, kan man så udrette noget i

fysik? Det er nærmest håbløst. Lad os i stedet gøre en svær antagelse: Vi antager noget så kompliceret, at vi stort set ikke ved, hvad det er.



**Figur 3.** Gud (med Holgers hånd) tegner! Tegningen er noget kompliceret, og vi ved ikke, hvad det er. Vi kender heller ikke reglerne for at tegne det. Det er nogle regler, som Gud tegner efter (de vandrette streger er fra Johns notesbog og har ikke noget med tegningen at gøre).

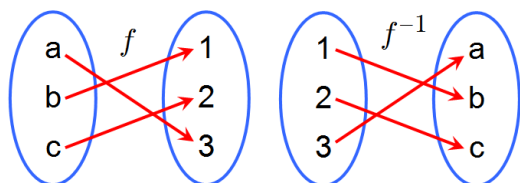
Vi skal tænke abstrakt. Hvis vi intet antager, ville det være en mere specifik og stærk antagelse, og det vil vi undgå. Hvorimod det at antage noget kompliceret er en svagere antagelse, og det er vores ønske. Det kan beskrives pædagogisk med den vilde tegning, men et mere matematisk forslag er en "umådelig kompliceret matematisk struktur" som et topologisk rum eller mængdelære. Hvordan skal man starte? Holger foreslår: Lad os være ledt af den tidlige uddannelse i matematik. Vores ledestjerne eller ånden i Tilfældig Dynamik kan være begreber som mængder og isomorfier. Holger håber at benytte kategori-teori til at formulere Tilfældig Dynamik.

Holger er overbevist om, at naturlove skal komme naturligt fra en slags matematik, og hvorfor skulle det ikke være mængdelære, som al matematik i bund og grund er? Mængdelæren er så generel, at al matematik kan formuleres ved hjælp af mængdelære. Holger anser matematikken som det sprog, som vi skal tale med Gud.<sup>6</sup> Den fundamentale teori er baseret naturligt på et sprog, som vi ikke behersker. Tilsvarende ville sproget i (partikelfysikkens) Standardmodel være meget fremmed for folk for et par hundrede år siden, og hvis vi skulle præsentere modellen for dem, ville vores forfædre finde sproget fremskredet. H. C. Ørsted kunne måske forstå sproget om Standardmodellen, men selv for ham ville det kræve større omskoling. Hvordan skal vi så tale om den fundamentale teori, når vi har svært ved at beherske det naturlige sprog, som den fundamentale teori er baseret på, og når det er fremmed for os? Her lægger Holger sig op ad Niels Bohrs tankegang. Bohr påpegede, at vi kun har vores dagligdagsprog til at beskrive fysikken. Deri er vores begrænsning, og ligeså snart vi kommer på en ny teori, prøver vi at skabe et sprog, der er egnet til at kommunikere vores nye teori. Det kan være navngivningen af begreber i de videnskabelige artikler, og når disse begrebsnavne

<sup>5</sup>Denne del af artiklen er næsten udelukkende baseret på samtalen med Holger Bech Nielsen.

<sup>6</sup>Da jeg bemærker over for Holger, at han inddrager Gud i diskussionen, lader han os forstå, at det er et abstrakt udtryk for den fundamentale teori.

er nævnt nogle gange i artikler m.m., bliver de en del af sproget. Man skal derfor læse alt, hvad der er skrevet om emnet. Det bliver samtidigt også et sprog, der bliver uforståeligt for andre. Det er måske en nødvendig proces, fordi vi ikke har nogen garanti for, hvordan man skal formulere den rigtige teori. Det er meget alvorligt, at vi bliver nødt til at gøre noget i den retning.



**Figur 4.** I kategoriteori er en morfi en strukturbevarende afbildning fra én matematisk struktur til en anden af samme type. Et eksempel på morfisme er to mængder – vist t.v., hvor objekterne  $a, b$  og  $c$  afbildes ved en funktion  $f$  til 1, 2 og 3. Hvis det omvendte gælder, hvor  $f^{-1}$  afbilder 1, 2 og 3 til  $a, b$  og  $c$  i eksemplet, er der tale om en isomorfi.

### Sproget i en teori for alt?

Holger stiller det retoriske spørgsmål: “Hvordan skal vi formulere en teori for alt, hvis sprog vi ikke kender?” Det er et godt spørgsmål til det, som Holger kalder den usunde del af Tilfældig Dynamik.<sup>7</sup> Det er her, hvor vi skal introducere kategoriteori. Vi har nogle mængder af nogle objekter, der kun er kendt i den fundamentale teori. Vi kender altså ikke teorien, men vi gætter på, at den har nogle mængder af noget, som vi kan betegne som objekter eller elementer. Derudover er der noget struktur; det kunne fx være en relation, som er en mængde af par. En relation er defineret som en undermængde  $R$  af et krydsprodukt af de to mængder  $M_1$  og  $M_2$

$$R \subseteq M_1 \times M_2 \quad (7)$$

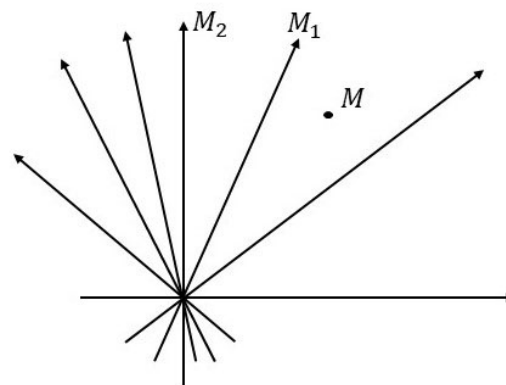
Holger er med vilje noget uklar i sine generelle overvejelser om relationen, hvilket nok er meget godt i tråd med vores mangelfulde sprog om en teori om alt. Vi kan have en morfi, som vi kalder for  $m : M_1 \rightarrow M_2$ . Et eksempel kunne være, at  $x, y \in M_1$  og  $x, y \in R$ , så ville der gælde, at billedet af  $x$  og billedet af  $y$  er i relationen i  $M_2$ :

$$(m(x), m(y)) \in R(M_2) \quad (8)$$

Sådan en morfi bevarer sin struktur i relationen. Hvis morfien  $m$  er bijektiv, hvor  $M_2$  afbildes i  $M_1$ , kaldes  $m$  for en isomorfi, og så er  $M_1$  isomorf med  $M_2$ . Dette er begyndelsen på et sprog til Holgers teori for alt.

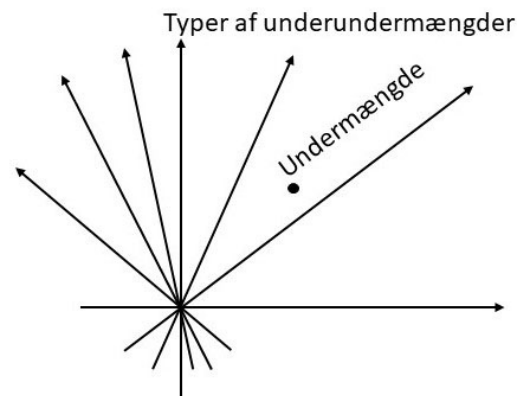
Lad os nu tage en mængde  $M_1$  og spørge, hvor mange  $M_k \in M$  er isomorfe med  $M_1$ ? Vi introducerer et naturligt tal  $k$ , som er antallet af undermængder eller strukturer (i vores tilfælde  $M_1$ ). Mængden  $M$  er hermed en kompliceret struktur – dvs. med relationer osv. – og der er så understrukturerne, der nok ikke er defineret klart. Disse understrukturer er  $M_1$  og de mængder, som minder om den som  $M_2, \dots, M_k$ . Disse understrukturer kan så have underunderstrukturer, da

man kunne blive ved med at finde strukturer inde i understrukturerne. Mængden antages at være meget stor og kompliceret, hvilket gør, at man kan skabe de mindre understrukturer, underunderstrukturer, osv. Det er selvfølgelig under meget generelle omstændigheder, men vi er kommet i gang med et komplekst sprog.



**Figur 5.** Koordinatsystem med de mange akser – tegnet efter Holgers skitse. Koordinaterne er understrukturerne.

Hvordan skal vi tolke dette sprog? Altså hvordan skal vi forstå disse strukturer, understrukturer osv.? Lad os tænke på et koordinatsystem med mange akser, som det er vist i figur 5. Det skal forstås symbolsk. Understrukturerne  $M_1, M_2, \dots$  er navnene på koordinataksene, og mængden  $M$  bliver et punkt. Koordinaterne korresponderer med undermængderne (eller understrukturerne), og koordinaterne er antallet af isomorfe kopier.



**Figur 6.** Graf med antallet af undermængder afbildet i rummet, hvis koordinater er underundermængderne.

Hvert punkt, der kan realiseres som i grafen i figur 6 – hvilket ikke alle kan, men der vil være et helt spindelvæv af punkter – giver et tal for hver koordinatakse, altså hver type af underundermængder. Tallet er, hvor mange af de isomorfe underundermængder, der er i undermængden betegnet med punktet. Det vil sige, at grafens koordinat viser hver klasse (eller type) af isomorfe underundermængder, og dens hovedmængde giver nu et tal for hver undermængde. Vi kan så lave en tilsvarende graf for underunderundermængden, hvor punkterne bliver underunderundermængder. I princippet kan man blive ved med at sætte et ekstra “under” på vores undermængder.

<sup>7</sup>En mere detaljeret beskrivelse kan findes i Astri Kleppe og Holgers artikel [6].

Hvad er forbindelsen til en fundamental teori, kan man spørge sig selv om? Vi kan sætte et ekstra “under” på grafens hovedmængde i figur 6, hvor koordinaterne er koordinater mærket med underundermængder, og punkterne svarer til undermængder. I underunderundermængde-koordinatsystemet bliver punkterne underundermængder, og grafen bliver nu i korrespondance med en undermængde, idet vi har sat et overflødigt “under” på. Hovedmængden bliver dermed en slags funktional, idet den bliver en funktion af funktioner – sagt på en anden måde: den bliver en funktion af graferne. Holger vil identificere funktionalet for hovedmængden med virkningsfunktionalet  $S$ , der er givet ved et integral over firedimensionelle rum

$$S = \int \mathcal{L}(x) d^4x \quad (9)$$

Holger påpeger, at ligheden mellem funktionalet for hovedmængden og virkningsfunktionalet er, at de begge er funktionaler, og det er måske det bedste, som vi kan gøre i dette abstrakte niveau. Vi vil fortsætte med vores identifikationsantagelse:

- Undermængdetypen er funktionalet af felternes tidsudvikling i en model – fx Standardmodellen – hvilket igen er en slags tænkbare historier. Det er en udvikling af systemet eller sagt på en anden måde: det er en konfiguration af felterne til alle tider.

- Underundermængder svarer til begivenheder. Det er i virkeligheden et felt, som er en funktion af rum og tid. Underundermængder svarer altså til rummets punkter eller begivenheder. Feltet har en spinkomponent, hvilket også skal inddrages (det kan være et potentielt problem, som Holger dog håber, at man slipper ud af).

- Underunderundermængder bliver så de normale koordinater (de er i korrespondance med symbolerne  $x, y, z, t$ ) og evt. ekstra stof til at specificere spin. En fundamental funktional er den kvantemekaniske Feynman-Dirac-Wentzel-funktional

$$\int \mathcal{D}\phi e^{\frac{i}{\hbar} S[\phi]}. \quad (10)$$

Virkningsfunktionalens eksponent svarer til hovedmængdens funktional. Plancks konstant kan bare sættes til én, da den kun er afhængig af valget af enheder, men Holger er opmærksom på, at den imaginære del kan blive et problem. Dette leder op til et mere sundt Tilfældig Dynamik-projekt, som Holger har forsket i sammen med japaneren Nagao. De har fundet, at kun den reelle del af virkningen  $S$  er vigtig, hvilket gør eksponenten til en ren imaginær størrelse.

En videnskabelig teori bør indeholde troværdig information om virkeligheden, som vi ikke har i forvejen. Den skal i princippet kunne modstå et teoretisk eller eksperimentelt falsificeringsforsøg, og samtidig skal den være smuk i den henseende, at den er så enkel, at den kan anvendes i praksis til at beskrive vores omverden [5]. Der er nok af kandidater til den fundamentale teori om alt – vi har beskrevet to teorier, som Holger har haft indflydelse på eller ligefrem er ophavsmanden til. Holgers Tilfældig Dynamik betragter vores univers som så kompliceret, at det ville være vanvittigt at forsøge at gætte på den bagvedliggende fysik. De fysiske processer ville være så komplicerede, at beskrivelsen

ville kræve computerhukommelse, der ville fylde mere end hele universet.

Endnu har man ikke kunnet finde evidens for supersymmetrien, som er vigtig for strengteoriens overlevelse. Der er forsøg i CERNs LHC, som har falsificeret nogle af de enklere supersymmetriske modeller, men der er stadig muligheder for, at superstrengteorien er den fundamentale teori. Man er for øjeblikket enige om, at superstrengteorien er en af de bedste kandidater, men det ville være rart, hvis fysikerne også brugte tiden på andre teorier.

Da jeg forlod Niels Bohr Institutet kunne jeg (John) ikke lade være med at blive lidt filosofisk. Tidligere har fysikere og ingeniører udtalt sig om fremtidens teknologiske fremskridt som computere og flyvemaskiner, og de har en stor skepsis over for vores formåen. Så på trods af Tilfældig Dynamiks lidt pessimistiske syn på mulighederne for at finde en teori for alt, tror jeg, at vi gætter forkert i at afvise en sådan teori. En falsificerbar teori, der måske ikke giver os alle detaljerne om universet, men som kan give os en beskrivelse af de fundamentale egenskaber i universet, burde være inden for rækkevidde, men man bør nok ikke være så fokuseret på strengteorien alene.

## Litteratur

- [1] H. B. Nielsen og J. K. Rathje (2019) “Teorien om alt”, Gyldendal.
- [2] D. Richles (2014) “A Brief History of String Theory”, Springer.
- [3] D. Castelvecchi (2012) “Is supersymmetry Dead?”, *Scientific American*, side 9–10, maj 2012.
- [4] L. Smolin (2006) “The Trouble with Physics: The Rise of String Theory, the Fall of a Science, and What Comes Next”, side 349, Penguin Books.
- [5] H. B. Nielsen (2010) “Om begyndelsen til alt og det mindste af alt”, kap. 4 i B. R. Jørgensen, J. Lyngbye og H. G. Bohr (red.), “Maskinen skabt i menneskets billede”, Nyt Nordisk Forlag Arnold Busck.
- [6] A. Kleppe og H. B. Nielsen (2007) “Random dynamics in starting levels”, [www.researchgate.net/publication/44218129\\_Random\\_dynamics\\_in\\_starting\\_levels](http://www.researchgate.net/publication/44218129_Random_dynamics_in_starting_levels).



Holger Bech Nielsen (t.h.) er professor emeritus i teoretisk højenergifysik ved Niels Bohr Institutet, og John Rosendal Nielsen (t.v.) er lektor ved Aurehøj Gymnasium, hvor han underviser i fysik. Han beskæftiger sig desuden med videnskabshistorie og kosmologi.