

Standardmodellen

– teorien for stoffets byggesten

I udstillingen *Det nysgerrige menneske er der et afsnit om udforskningen af stoffets allermindste dele.*

Denne forskning har efterhånden givet en god forståelse af materiens mikroverden, som er samlet i den såkaldte standardmodel, der skitseres her.

Gæster på Steno Museum spørger ind imellem om, hvad grundstoffer er, og hvorfor de opfører sig forskelligt? Eller hvorfor Solen skinner? Nogle undrer sig også over, hvordan en mobiltelefon kan overføre lyd uden en ledning. Heldigvis kan fysikken forklare man-

ge af den slags spørgsmål. De mest interesserede gæster kan dog godt finde på at spørge videre: “Og hvorfor så det?”

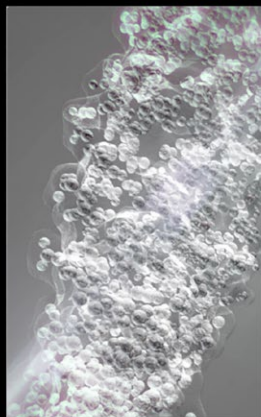
Når man på denne måde søger stadig mere basale forklaringer, ender man uvægerligt ved den teori, som lidt prætentivt kaldes standardmodellen. Det er den grundlæggende beskrivelse af stoffets mindste dele – elementarpartiklerne – og de kræfter, der virker imellem dem.

Teori og eksperimenter

Standardmodellen er en samling af teorier, som er baseret på forskningsresul-

tater, der er opnået op gennem hele 1900-tallet.

Udviklingen af standardmodellen har været drevet af både teoretiske og eksperimentelle fysikere. Som tidligere beskrevet i *Stenomusen* har eksperimentalfysikerne ved hjælp af stadig kraftigere accelerators og bedre og mere avancerede detektorer opnået dyb indsigt i stoffets byggesten. Parallelt med dette har teoretikere med papir og blyant – og computere – udviklet bl.a. såkaldte kvantefeltteorier, som forsøger at sammenfatte og forklare de mange eksperimentelle resultater.



Det er dette kompleks af teorier, der udgør standardmodellen, som giver en samlet beskrivelse af stoffets fundamentale bestanddele og deres vekselvirkninger. Ud over at forklare stoffets opbygning, giver modellen også en forklaring på tre af de fire grundlæggende kræfter, vi kender i naturen: den elektromagnetiske kraft samt den svage og den stærke kernekraft. Den fjerde af de basale kræfter – tyngdekraften – er det derimod ikke lykkedes at integrere i modellen.

En kinesisk æske

Helt overordnet har udforskningen af stoffet afsløret, at det er opbygget ligesom en kinesisk æske. Hver gang det er lykkedes at trænge dybere ind i stoffet, har der

vist sig at være nye strukturer. Dette er i udstillingen illustreret med en animationsfilm, som viser et zoom ind i et hår. Man ser, at håret er opbygget af hornskæl, der består af celler, som er bygget af molekyler. De viser sig at være opbygget af forskellige grundstoffer, der udgøres af hver sin slags atomer, som består af en kerne med elektroner omkring. Da man fik kigget nærmere på atomkerner, viste det sig, at de bestod af to forskellige partikler i forskellige antal, nemlig protoner og neutroner – som også har vist sig at være sammensat af endnu mindre dele.

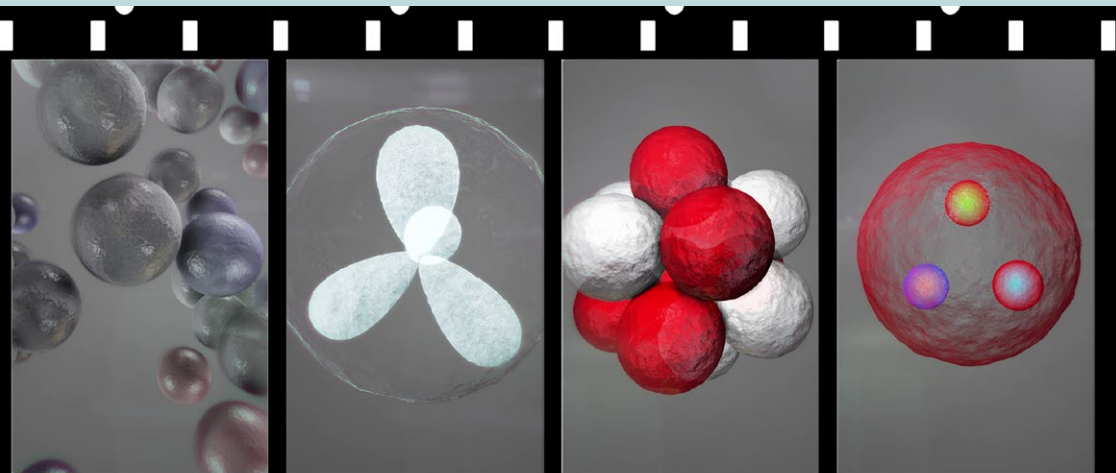
Flere og flere partikler

De første elementarpartikler, man fandt, var elektronen, protonen, neutronen og fo-

tonen. Det skyldes, at verden omkring os består af lige netop disse partikler. Men der dukkede nye og ekstremt kortlivede elementarpartikler op, da fysikerne i årene efter 2. verdenskrig begyndte at bygge kraftige accelerators for at studere stoffets grundlæggende struktur ved at smadre atomkerner hårdere og hårdere mod hinanden og studere de fragmenter, der blev dannet i sammenstødene.

Efterhånden opdagede fysikerne så mange forskellige partikler, at de dannede et ret uoverskueligt billede af stoffets opbygning. En overgang talte man ligefrem om 'The Particle Zoo', fordi der hele tiden dukkede nye, eksotiske partikler op. Som den ansete fysiker Enrico Fermi sagde til en af

Screendumps fra zoomfilm i udstillingen Det nysgerrige menneske. Kilde: CERN.



sine studerende: “Unge mand, hvis jeg kunne huske navnene på alle disse partikler, ville jeg have været botaniker.”

Kvark-modellen

Opdagelsen af de mange nye partikler satte de teoretiske fysikere på hårdt arbejde i forsøget på at finde et system i rodet. Måske i stil med, hvordan kemikerne Mendelejev et århundrede tidligere havde ordnet grundstofferne i det periodiske system.

Der blev fremsat adskillige frugtesløse hypoteser. Men så i 1964 foreslog fysikerne Murray Gell-Mann og George Zweig uafhængigt af hinanden, at mange

af partiklerne slet ikke var ‘rigtige’ elementarpartikler, men i stedet var sammensat af nogle endnu mere elementære partikler, som Gell-Mann fandt på at kalde kvarker. Han blev inspireret til navnet af linjen “Three quarks for Muster Mark!” i James Joyces roman *Finnegans Wake*.

Hadroner

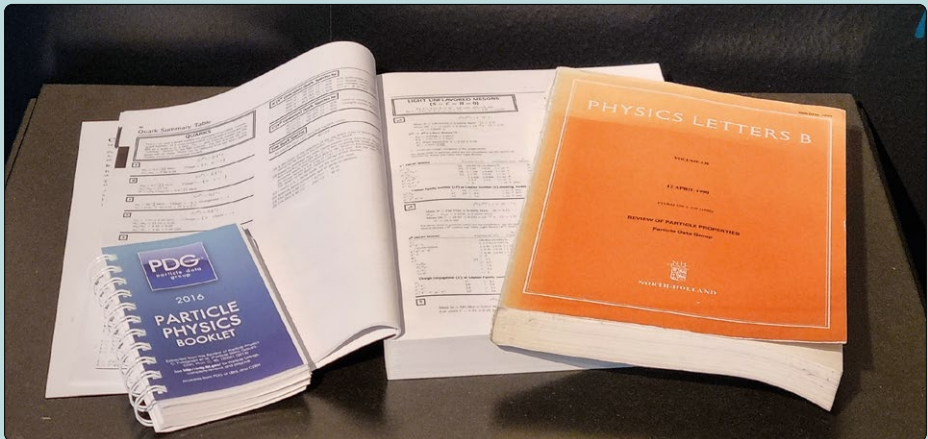
Ideen var, at ligesom de forskellige grundstoffer er opbygget af forskellige kombinationer af protoner, neutroner og elektroner, så er nogle elementarpartikler opbygget af forskellige kombinationer af kvarker.

Selvom teorien blev modtaget med en vis skepsis,

har utallige eksperimenter siden vist, at der findes seks forskellige slags kvarker med stigende vægt: up-, down-, strange-, charm-, bottom- og top-kvarker. De sidste fire er dog ustabile og henfalder ekstremt hurtigt til up- eller down-kvarker, som er de eneste, der er almindeligt forekommende. De ustabile bliver dannet i ekstreme astronomiske begivenheder – og så altså i fysikernes accelerators.

En proton består af to up-kvarker og en down-kvark, mens en neutron består af en up-kvark og to down-kvarker.

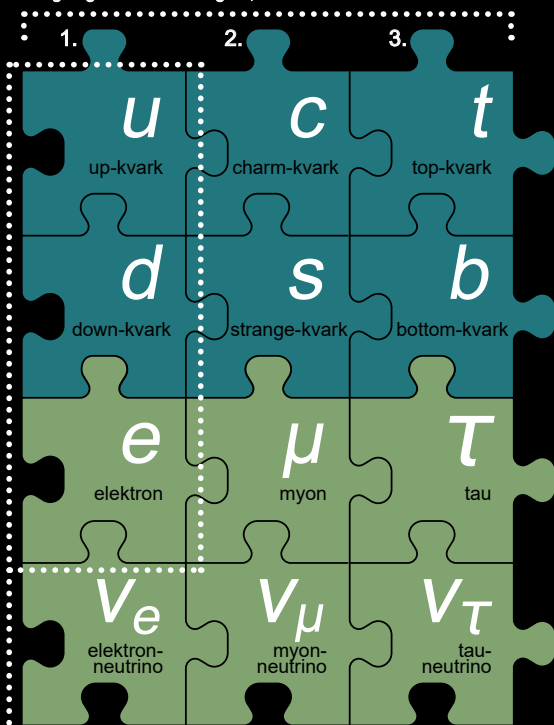
Kvarker har den særlige egenskab, at de *altid* optræder i par eller tre og tre.



I udstillingen Det nysgerrige menneske kan man se tykke kataloger over de mange forskellige elementarpartikler og deres egenskaber. Foto: Hans Buhl.

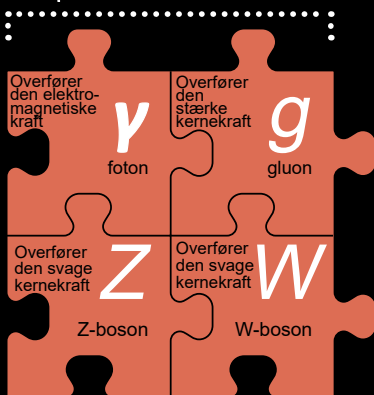
Partiklernes “periodiske system”

De 12 stofpartikler kan deles op i 3 generationer. 2. og 3. generation er tungere, ustabile versioner af den første.



Disse tre partikler er de byggesten, som alle atomer er opbygget af.

De 4 kraftpartikler gør det muligt for de andre partikler at vekselvirke.



Higgs-partiklen forklarer, hvordan de andre partikler får masse.

De egentlige elementarpartikler kan opstilles skematisk ligesom grundstofferne i det periodiske system. I udstillingen *Det nysgerrige menneske* er det gjort på denne måde for at illustrere, hvordan arbejdet har været som et puslespil, hvor fysikerne ikke har vidst hvor mange brikker, der skal være i alt. Men nye forsøg har givet nye brikker – og somme tider afsløret, at de gamle lå helt forkert.

Grafik: Hans Buhl og Hanne Kolding

Man har således aldrig set frie kvarker. Partikler, der er opbygget af kvarker, kaldes hadroner, hvilket betyder ‘tykke partikler’.

Leptoner

Atomkerner er altså grundlæggende bygget op af up-

og down-kvarker. Men hvor kommer elektronen, som jo også er en del af stoffet omkring os, så ind i billedet?

Jo, den tilhører sin egen gruppe af stofpartikler, som man kalder for leptoner, hvilket betyder ‘lette partikler’.

De almindeligt forekommende leptoner er elektronen og den såkaldte neutrino, der er en næsten masseløs partikel, som vekselvirker meget svagt med andre partikler. Begge disse partikeltyper kan også frembringes i to tungere udgaver, så-

ledes at der i alt findes seks forskellige leptoner.

Kraftpartikler

Ud over disse to gange seks stofpartikler har fysikerne identificeret nogle få særlige partikler, som har til formål at overføre kræfter mellem stofpartiklerne.

F.eks. mener man, at *elektromagnetiske kræfter* mellem to ladede partikler overføres ved, at de udveksler fotoner, altså lyspartikler. Tilsvarende overføres *den svage kernekraft* ved udveksling af såkaldte Z- og W-partikler. Den svage kernekraft spiller f.eks. en rolle ved β -henfald af radioaktive stoffer og ved den fusionsproces, der skaber Solens energi. Endelig er

der *den stærke kernekraft*, som bl.a. holder sammen på protonerne og neutronerne i en atomkerne. Den overføres ved udveksling af såkaldte gluoner, altså “lim-partikler”.

Partiklernes “periodiske system”

De to typer af stofpartikler og kraftpartiklerne kan samles i et særligt skema, som minder om grundstoffernes periodiske system.

Som det ses i figuren på forrige side kan de seks kvarker anbringes to og to i tre forskellige generationer, som de kaldes. 2. og 3. generation er tungere versioner af kvarkerne i 1. generation.

Tilsvarende er 2. og 3. generation af leptonerne

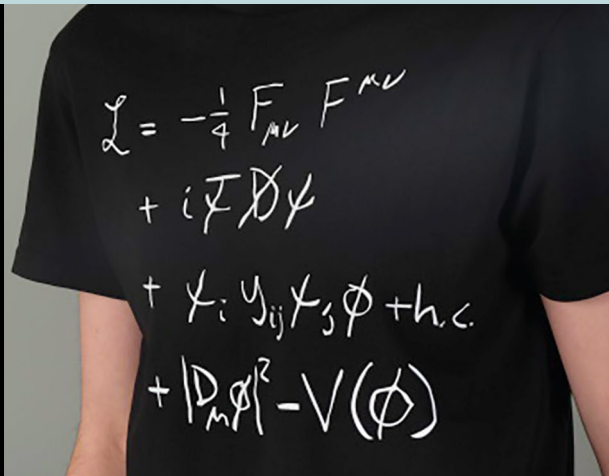
tungere slægtninge til elektronen og neutrinoen.

Dette er dog et lidt for simpelt billede, da der til alle disse partikler svarer en såkaldt antipartikel, som ligner til forveksling, men har modsat ladning.

Higgs-partiklen

Nederst til højre i figuren ses endnu en partikel, som ikke lige passer ind i det nævnte system, nemlig Higgs-partiklen. Den blev foreslået teoretisk af flere fysikere i 1964, som en mulig forklaring på, hvorfor alle de andre partikler har den masse, de har. Men det var først i 2012, at det lykkedes at påvise den eksperimentelt på CERN ved hjælp af den enorme Large Hadron

Standardmodellen kan også opsummeres mere matematisk på denne måde. Første linje i den såkaldte Lagrange-funktion beskriver kræfterne. Anden linje beskriver, hvordan de virker på de fundamentale stofpartikler, kvarker og leptoner. Tredje linje beskriver, hvordan de får deres masse af Higgs-partiklen, mens fjerde linje beskriver, hvordan Higgs'en gør dette.



Collider (LHC). Den er afløseren til LEP-acceleratoren, som man kan se et stort stykke af i udstillingen på Steno Museet.

Alt det vi ikke ved

Opdagelsen af Higgs-partiklen var en stor sejr for standardmodellen, som endnu engang har vist sig ekstremt effektiv til at beskrive

alle mulige fænomener i stoffets mikroverden.

Samtidig ved vi med sikkerhed, at den ikke er hele forklaringen. F.eks. giver modellen ingen beskrivelse af det såkaldte mørke stof og den endnu mærkeligere mørke energi, der udgør størstedelen af universet. Det er heller ikke lykkedes at integrere den fjerde af de

fundamentale kræfter – tyngdekraften – i modellen.

Der er altså mange ting, vi ved, at vi ikke ved. Og så er der selvfølgelig også alt det, vi ikke ved, at vi ikke ved. Så der er nok for fysikere at tage fat på i de kommende år.

Hans Buhl