

Stof i universet vejer noget. Men elementarpartiklerne fødes masseløse, så hvad er massens oprindelse? Når det kendte stof kun udgør en lille del af massen i Universet, hvad består universet da af? Og er naturen overhovedet naturlig?

MASSENS OPPRINDELSE OG NATURENS NATURLIGHED

MADS TOUDAL FRANSEN

LEKTOR, CP3-ORIGINS, INSTITUT FOR FYSIK, KEMI OG FARMACI, SYDDANSK UNIVERSITET

Partikelfysikken udvikler bla. modeller til at besvare de helt grundlæggende spørgsmål for vores eksistens. Og eksperimenter er nu blevet i stand til at teste modellerne.

Det er en hverdagsoplevelse, at stof vejer noget. Badevægten viser for meget og nogen gange for lidt, men den vidner trofast om, at det stof, vi er gjort af, vejer noget. Det har masse.

Længe før badevægten vidner vores mælkevej om, at stof vejer noget. Den og alle andre galakser er blevet til ved at diffuse skyer af gas er trukket tættere og tættere sammen af tyngdekraften i løbet af universets udvikling.

Under lup forekommer universet med dets hobe af galakser af stjerner og planeter med

planter at være et simpelt system. Mestendels består det af hydrogen, dvs. elektroner og protoner, som har vist sig at bestå af *quarker*. Det er det. Altså: Tager man to quarker og noget lim (gluonerne), limer dem sammen til det, vi kalder protoner (og neutroner) og så binder elektroner i baner rundt om med Ørsteds elektromagnetisme (fotoner) og lader der gå noget tid, hvor tyngdekraften får lov at virke og så...universet! I hvert fald den del, der er synlig i vores teleskoper. Men ikke blot på badevægten, også på elementarpartikelniveau volder massen kvaler.

For det første udgøres det meste stof i universet, ca. 80%, af *mørkt stof*, der ikke udsender lys. Det kan ikke observeres direkte i teleskoper, men indirekte når det 'trækker' i synligt stof vha. tyngdekraften. Fra de samme

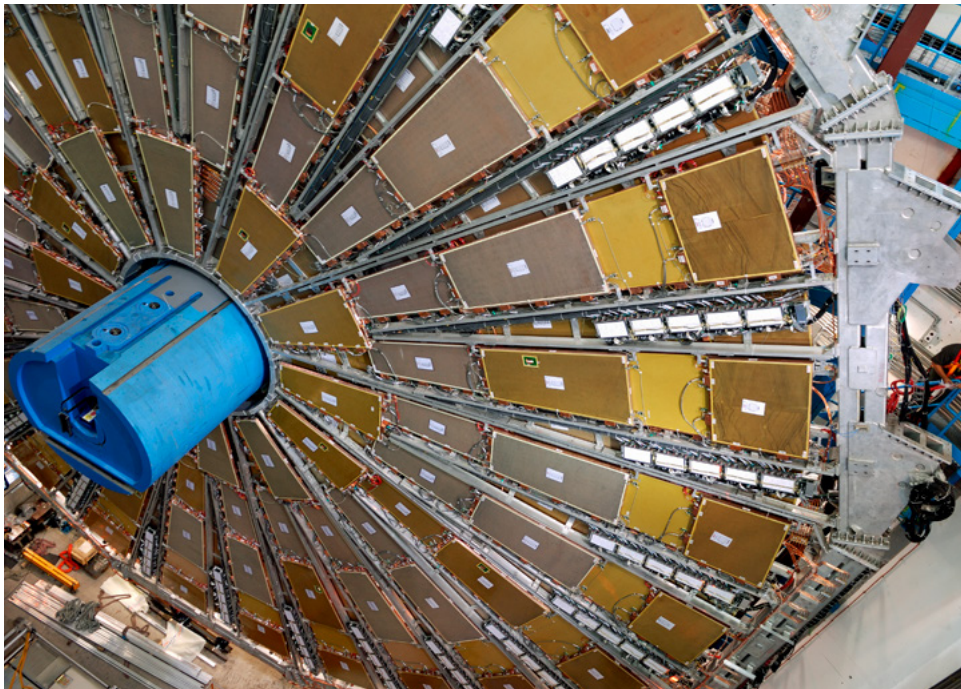


FOTO: CERN

observationer konstaterer vi, at mørkt stof med stor sandsynlighed ikke består af de velkendte elementarpartikler. Opskriften ovenfor med quarker, gluoner og elektroner giver altså kun den lysende del af universet, vi har observeret med teleskoper. Der er en anderledes dunkel underverden af nye elementarpartikler, vi skal afdække.

For det andet kræver vores matematiske beskrivelse af naturen, dvs. Gauge kvantefeltteori, at elementarpartiklerne er masseløse. En elementarpartikel er defineret ved et antal ladninger, eller kvantetal, der afgør, hvordan den vekselvirker med andre partikler via naturkræfterne. Elektrisk ladning er én slags ladning, der afgør, hvordan partiklerne mærker den elektromagnetiske kraft. Elektronen har elektrisk ladning -1 , neutrinoen har ladning 0 og positronen $+1$ med passende enheder. Så en elektron og en positron tiltrækkes af den elektromagnetiske kraft, mens to elektroner frastødes.

Masse er den 'ladning', der afgør, hvordan partiklerne oplever tyngdekraften. I modsætning til elektrisk ladning er massen af de partikler, der har masse (fotonen er masseløs), opstået i løbet af universets udvikling.

Det er *Higgs Mekanismen*, der gjorde (nogle af) partiklerne massive. Efterhånden som universet blev koldere og koldere indtraf Higgs mekanismen, der minder om en faseovergang i universet – analogt til faseovergange kendt fra hverdagen, som når vand fryser til is. Inden da var alle elementarpartikler masseløse, men efter Higgs mekanismen indtraf, ca. en milliardtedel af et sekund efter Big Bang, blev (nogle af) partiklerne massive.

Higgs mekanismen blev foreslået allerede i begyndelsen af 60'erne af bl.a. Peter Higgs, men det er først nu, at fysikken bag Higgs mekanismen kan testes eksperimentelt ved Large Hadron Collider (LHC) på CERN. LHC genskaber, i en vis forstand, betingelserne da Higgs mekanismen indtraf i det tidlige univers. Mekanismen, og den underliggende fysik, kan på den måde studeres direkte i laboratoriet. Og den 4. juli 2012 kunne LHC annoncere, at en ny partikel var fundet. Higgs mekanismen kræver nemlig ny bagvedliggende fysik udover de – før juli 2012 – kendte naturkræfter og elementarpartikler. Spørgsmålet er, hvilken ny fysik. Dvs. hvad er massens oprindelse?

Den simpleste model for Higgs mekanismen, kræver blot én ny partikel, Higgs partiklen. Den model foreslog Peter Higgs selv. Den nye

Et udsnit af ATLAS detektoren. En af de kæmpe partikeldetektorer, der benyttes ved CERN til at rekonstruere spor fra de partikler, der produceres i proton-proton kollisionerne ved Large Hadron Collider, CERN.

partikel, man opdagede i 2012 ved LHC, og som senere er blevet studeret nøjere, stemmer overens med den partikel Peter Higgs foreslog – men kun inden for de stadig betragtelige måleusikkerheder. Det er altså endnu ikke eksperimentelt etableret, at den opdagede (Higgs) partikel er Peter Higgs' partikel!

En *teoretisk* grund til at være skeptisk overfor Higgs partiklen, men ikke Higgs mekanismen, er, at det er en meget speciel partikel. Den er *unaturlig!*

I partikelfysikken kan (u)naturlighed defineres præcist. En måde at anskueliggøre det på er et tankeeksperiment: I en varm gas farer gasmolekyler rundt mellem hinanden med høj hastighed og støder hele tiden ind i hinanden. Hvis vi nu lægger ét andet molekyle i fuldstændig hvile ned i gassen, vil der lynhurtigt

være gasmolekyler, der kolliderer med det nye molekyle og banker det op til samme hastighed som alle de andre molekyler i gassen. Det vil være ekstremt usandsynligt at finde molekylet i hvile efter bare ganske kort tid. På elementarpartikelniveau er der hele tiden *kvantefluktuationer*. Hvis en partikel får masse via Higgs mekanismen vil kvantefluktuationerne forsøge at skubbe massen op til den højest mulige masse systemet kan tillade -- på samme måde som gasmolekylerne i eksemplet ovenfor skubbede molekylet i hvile op til den samme hastighed som alle andre – den højeste hastighed i systemet.

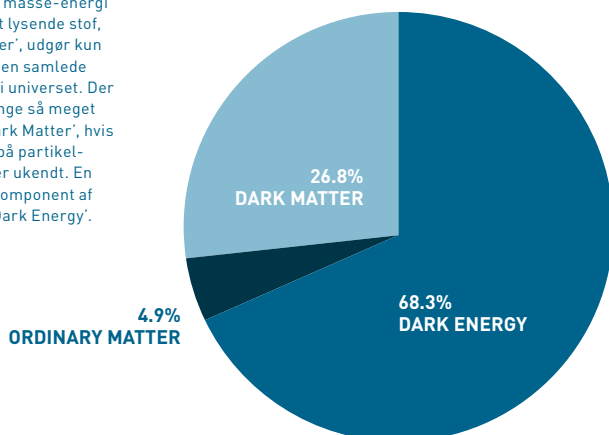
Problemet er, at den højest mulige masse i systemet af elementarpartikler ligger langt over de masser, vi rent faktisk har målt for elementarpartiklerne, inkl. den nye Higgs (-lignende) partikel. De observerede masser er umiddelbart meget usandsynlige eller *unaturlige*.

Den *naturlige* løsning er, at en dybereliggende *struktur* forklarer problemet. I partikelfysikken har sådanne strukturer eller *symmetrier* gang på gang vist sig ved nærmere efterlysning (på endnu mindre længdeskalaer) når naturen fremstod unaturlig. På elementarpartikelniveau, kan visse symmetrier skærme partiklernes masse fra *kvantefluktuationerne*, og for alle de kendte partikler har man opdaget sådanne symmetrier i teorien. Peter Higgs' partikel vil være den første elementarpartikel - hvis det altså er den, der er blevet opdaget ved LHC – der ikke er skærmet af en sådan symmetri. Dermed vil (vores model af) naturen være unaturlig. Med mindre det viser sig, at partiklen ved LHC faktisk er en del af en dybere struktur. Det er den struktur, vi søger at afdække.

Når vi konstruerer elementarpartikelmodeller med strukturer, der kan forklare Higgs mekanismen *naturligt*, så forudsiger modellerne flere nye partikler. Nogle af de partikler har vist sig at have de rette egenskaber til at udgøre mørkt stof.

Det er derfor vores håb, at vi med den samme model kan forklare, hvordan elementarpartiklernes masse opstod og hvad hovedbestanddelen af massen i universet, det mørke stof, faktisk består af. Sådant en model vil så - endnu engang - afsløre naturen som naturlig. Alternativt vil eksistensen af Peter Higgs partikel være en stærk indikation af at naturen er unaturlig.

Fordelingen af masse-energi i universet. Det lysende stof, 'Ordinary Matter', udgør kun en brøkdel af den samlede masse-energi i universet. Der findes ca. 5 gange så meget mørkt stof, 'Dark Matter', hvis beskaffenhed på partikelniveau endnu er ukendt. En endnu større komponent af mørk energi 'Dark Energy'.



Et eksempel på en observeret proton-proton kollision ved LHC i ATLAS detektoren. Der er bl.a. blevet produceret en tung partikel, der herefter er henfaldet til 4 muoner, der er fløjet gennem detektoren (indikeret ved de 4 røde spor samme udgangspunkt). Præcist som forventet af en Higgs partikel.

