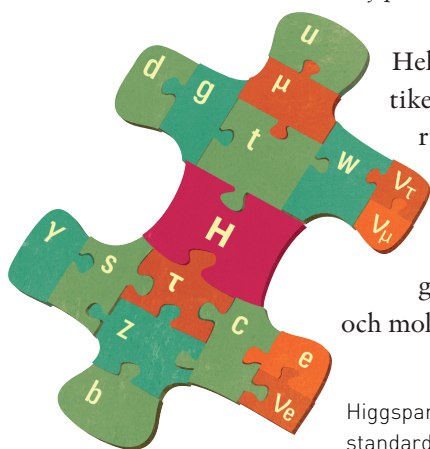


## Äntligen här!

**François Englert och Peter W. Higgs** delar årets Nobelpris för teorin om hur partiklar får sin massa. Oberoende av varandra föreslog de teorin samtidigt år 1964 (Englert tillsammans med sin numera avlidne kollega Robert Brout). Först 2012 bekräftades deras idéer genom upptäckten av den så kallade Higgspartikeln vid CERN-laboratoriet utanför Genève i Schweiz.

Den nu prisbelönta mekanismen är en central del i fysikens standardmodell som beskriver hur världen är uppbyggd. Allting, från blommor och människor till stjärnor och planeter, består enligt standardmodellen av några få byggstenar, *materiepartiklar*. Dessa partiklar styrs av krafter som förmedlas av *kraftpartiklar*, som ser till att allt fungerar som det ska.



Hela standardmodellen vilar även på att det finns en särskild sorts partikel – Higgspartikeln. Den är en vibration av ett osynligt fält som fyller rymden. Till och med när universum verkar tomt på allt, finns fältet där. Hade inte detta fält funnits, skulle elektroner och kvarkar sakna massa likt ljuspartiklar, fotoner. Och precis som fotonerna skulle de masslösa materiepartiklarna, som Einsteins teori föreskriver, rusa genom rymden med ljusets hastighet, omöjliga att fångas in i atomer och molekyler. Inget vi känner till skulle finnas, än mindre vi själva.

Higgspartikeln, H, är den sista pusselbiten som fattades i fysikens standardmodell som beskriver universums byggstenar.

François Englert och Peter Higgs var båda unga forskare när de 1964 oberoende av varandra föreslog en teori som skulle komma att rädda standardmodellen från kollaps. Efter nästan ett halvt sekel, onsdagen den 4 juli 2012, satt båda med i publiken på den europeiska partikelfysik-anläggningen CERN utanför Genève då upptäckten av en Higgspartikel tillkännagavs inför världspublik. Slutligen hade teorin bekräftats.



François Englert och Peter Higgs möts för första gången, på CERN den 4 juli 2012 då upptäckten av Higgspartikeln presenterades inför världspublik.

Foto: CERN, <http://cds.cern.ch/record/1459503>

### Modellen som skapade ordning

Tanken att det går att förklara världen med bara några få byggstenar är gammal. Filosofen Demokritos hade redan 400 år f.Kr. en idé om att allting består av atomer, átomos betyder odelbar på grekiska. I dag vet vi att atomer inte är odelbara. De består av elektroner som kretsar kring en atomkärna uppbyggd av neutroner och protoner. Också protonerna och neutronerna består av mindre delar som kallas kvarkar. Så det är faktiskt enligt standardmodellen bara elektroner och kvarkar som är odelbara.

Två sorters kvarkar, upp- och nerkvarken, bygger upp atomkärnan. I själva verket är det alltså tre elementarpartiklar som behövs för att bygga upp all materia vi känner till: elektronen, uppkvarken och nerkvarken. Men under 1950- och 1960-talen dök det upp nya, till synes onödiga partiklar i den kosmiska strålningen och i nybyggda accelerators, och standardmodellen fick utökas med elektrens och kvarkarnas nya syskon.

Förutom materiepartiklarna finns det också kraftpartiklar för var och en av naturens fyra krafter – gravitationen, elektromagnetismen, den svaga samt den starka kraften. Mest bekanta är gravitationen och elektromagnetismen – de drar ihop eller stöter ifrån, vi kan vi se deras verkan med egna ögon. Den starka kraften verkar mellan kvarkarna och binder ihop kärnans protoner och neutroner medan den svaga kraften står för radioaktivt sönderfall, och är till exempel nödvändig för kärnreaktionerna i solens inre.

I standardmodellen förenas naturens grundläggande byggstenar och tre av de fyra kända krafterna (den fjärde kraften, gravitationen, står fortfarande utanför modellen). Hur dessa krafter egentligen fungerar har länge varit en gåta. Hur vet till exempel metallbiten som dras till magneten, att magneten ligger där, en bit ifrån? Eller hur känner månen egentligen av jordens gravitationskraft?

## Osynliga fält fyller rymden

I fysiken förklaras detta med att rymden är fylld med en mängd osynliga fält. Det elektromagnetiska fältet, gravitationsfältet, kvarkfältet och alla de andra fälten genomkorsar rymden, eller snarare den fyrdimensionella rumtiden, ett abstrakt rum som teorin utspelar sig i. Enligt kvantfältteori är de fälten och partiklarna som är de grundläggande brickorna i det stora universumbygget. Standardmodellen är en sådan kvantfältteori.

Med kvantfysikens ögon ses allting som en samling vibrationer i kvantfält. Vibrationerna bärs i fältet i små paket, kvanta, vilka vi uppfattar som partiklar. Två sorters fält finns: dels materiefält med sina materiepartiklar, dels kraftfält med tillhörande partiklar som är krafternas bärare. Även Higgspartikelnen är en vibration av sitt fält, det populärt kallade Higgsfältet.

Utan Higgsfältet rasar standardmodellen ihop som ett korthus. Kvantfältteori för nämligen med sig oändligheter som behöver tyglas och symmetrier som inte syns. Det var först efter det att Englert med Brout och Higgs, och så småningom flera andra, visade att Higgsfältet kan bryta standardmodellens symmetri utan att förstöra resten av teoribygget, som modellen fick godkänt.

Standardmodellen fungerade nämligen bara om partiklarna saknade massa. För elektromagnetisk växelverkan med sin masslösa foton som kraftförmedlare gick det utmärkt. Den svaga kraften däremot förmedlas av tre massiva partiklar, två elektriskt laddade W-partiklar och en Z-partikel. De gick inte ihop med den lättfotade fotonen. Hur skulle den så kallade elektrosvaga kraften, en förening mellan den elektromagnetiska och den svaga kraften, kunna bildas? Hela det eleganta teoribygget, standardmodellen, riskerade att falla samman. Här gjorde Englert, Brout och Higgs entré, och med en sinnrik mekanism för att tilldela partiklar massa räddade de standardmodellen.

## Det spöklika Higgsfältet

Higgsfältet är inte som andra fält i kvantfysiken. Alla de andra varierar i styrka, och när de hamnar i sin lägsta energinivå antar de värdet noll. Så inte Higgsfältet. Till och med om rymden töms på allt och bara vakuum blir kvar, så är detta vakuum fortfarande fyllt med ett spöklikt fält som vägrar att stängas av – Higgsfältet. Vi märker det inte – Higgsfältet är som luft för oss, som vatten för fiskarna. Men utan det skulle vi inte finnas, för det är genom kontakten med Higgsfältet som partiklarna får sin massa.

De partiklar som inte märker av Higgsfältet får ingen massa, de som växelverkar svagt med det blir lätta, och de som växelverkar starkt blir tunga. Till exempel elektroner, som får sin massa från fältet, spelar en avgörande roll för att atomer och molekyler ska bildas och hålla ihop. Om Higgsfältet plötsligt försvann, skulle all materia kollapsa när masslösa elektroner gav sig i väg med ljusets hastighet.

Vad är det som gör Higgsfältet så speciellt? Higgsfältet bryter världens inneboende symmetri. Symmetri är vanligt i naturen; regelbundna ansikten, blommor och snöflingor uppvisar olika sorters geometriska symmetrier.

I fysiken avslöjas även andra sorters symmetrier som beskriver vår värld, men som ligger på ett djupare plan. En relativt enkel sådan symmetri säger till exempel att det inte spelar någon roll för resultaten om ett vanligt fysikexperiment utförs i Stockholm eller i Paris. Inte heller vid vilken tidpunkt det görs. Einsteins speciella relativitetsteori handlar om symmetrier i rum och tid, och den har blivit förebild för många andra teorier, som partikelfysikens standardmodell.

Standardmodellens ekvationer är symmetriska. På liknande sätt som en kula ser likadan ut från alla möjliga vinklar, förblir standardmodellens ekvationer oförändrade även om perspektivet som definierar dem ändras.

Symmetriprinciperna ger också mer oväntade resultat. Redan 1918 visade den tyska matematikern Emmy Noether att fysikens bevarandelagar, som lagen om energibevarande och lagen om bevarande av den elektriska laddningen, också är sprungna ur de matematiska symmetriekvationerna.

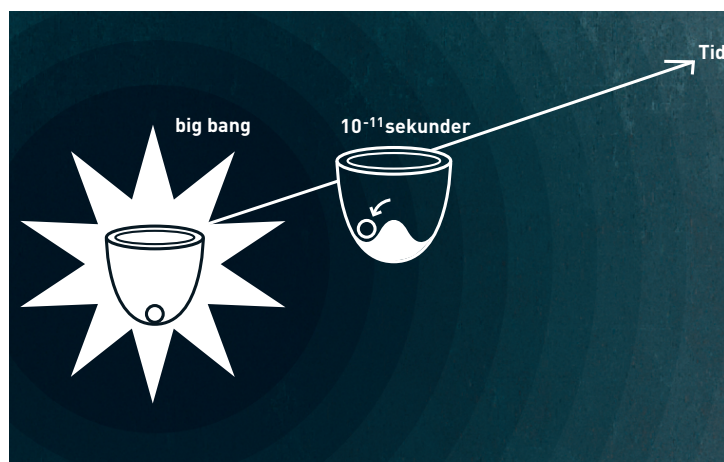
I gengäld ställer symmetrin krav på hur saker och ting ska se ut. För en kula gäller det att vara perfekt rund: minsta bula bryter symmetrin. För ekvationerna gäller andra villkor. Och en av symmetrierna i standardmodellen förbjuder partiklar att ha massa. Så är det uppenbarligen inte i vår värld, partiklarna måste ha fått sin massa någonstans ifrån. Det är här som den nu prisade mekanismen får verka, ett sätt att både ha symmetrin och samtidigt dölja den för världen.

## Symmetrin är dold men kvar ändå

Universum föddes troligen symmetriskt. Vid big bang var alla partiklar masslösa och alla krafter förenade i en enda urkraft. Denna ursprungliga ordning finns inte längre; symmetrin blev dold för våra ögon. Något hände bara  $10^{-11}$  sekunder efter big bang. Higgsfältet tappade balansen.

Hur gick det till? Det började, som sagt, symmetriskt. Tillståndet kan beskrivas med en kulas läge i mitten av en rund skål, då är kulan i sitt lägsta energiläge. För att rulla i väg behöver kulan en knuff, men efter ett tag rullar den tillbaka ner till lägsta punkten.

Fast om en buckla utvecklas i mitten och skålen ser mer ut som en mexikansk hatt, då är läget i mitten visserligen symmetriskt men inte stabilt. Kulan rullar ner från toppen åt valfritt håll. Hatten är fortfarande symmetrisk, men kulans läge bortom mitten döljer symmetrin. På liknande sätt begick Higgsfältet sitt symmetrirott och hittade ett stabilt energiläge i vakuum bortom den symmetriska nollpunkten. Higgsfältets fasövergång brukar det spontana symmetrirottet också kallas, ungefär som när vatten fryser till is.



Universum föddes troligen symmetriskt, och Higgsfältet hade också en symmetri som motsvarar läget hos en kula i botten på en rund skål. Men redan  $10^{-11}$  sekunder efter big bang bröt Higgsfältet symmetrin då det flyttade sitt lägsta energiläge bortom den symmetriska mittpunkten.

För att fasövergången skulle ske krävdes fyra partiklar, men bara en, Higgspartikeln, finns kvar. De övriga tre har slukats av den svaga kraftens förmedlare, de två W-partiklarna och en Z-partikel, som på så sätt fick sina höga massor. Så blev symmetrin i standardmodellens elektrosvaga kraft räddad – symmetrin mellan den svaga kraftens tre tunga partiklar och den masslösa fotonen fanns kvar, fast i det fördolda.

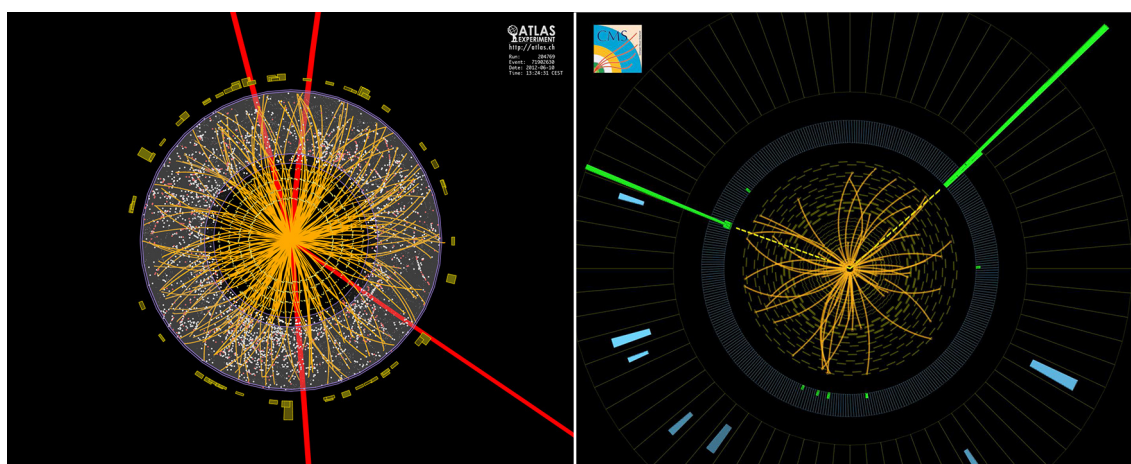
## Extremt bygge för extrem fysik

Förmodligen föreställde sig inte årets Nobelpristagare att teorin skulle bekräftas under deras livstid. För att hitta Higgspartikeln krävdes enorma satsningar av världens fysiker, och två anläggningar tävlade länge om att komma först med upptäckten – dels Fermilaboratoriet utanför Chicago; dels CERN på den fransk-schweiziska gränsen. Men när Fermilaboratoriets Tevatronaccelerator stängdes för några år sedan blev CERN ensam kvar i världen om att söka vidare efter Higgspartikeln.

CERN började uppföras 1954, då europeisk forskning skulle återuppbyggas efter andra världskriget, liksom relationerna länderna emellan. I dag är 20 länder medlemmar, och cirka hundra nationer från hela världen samarbetar kring de gemensamma projekten.

Deras största bygge, partikelkollideraren LHC (Large Hadron Collider) är nog den största och mest komplicerade maskin som någonsin byggts av människor. De två grupperna, med cirka 3 000 forskare var, arbetar med var sin katedralstor partikeldetektor, ATLAS och CMS. Detektorerna ligger 100 meter under marken och är redo att se partiklar krocka, igen och igen, 40 miljoner gånger i sekunden. Så ofta kan partiklarna kollidera när de leds åt motsatta håll runt en 27 kilometer lång LHC-tunnel.

Protonerna skjuts in i LHC i klump var tionde timme, en stråle i varje riktning, med- och motsols. Hundratusen miljarder protoner buntas ihop och trycks samman till en ultratunn stråle, en inte så lätt uppgift då protoner, som är positivt elektriskt laddade, helst strävar efter att stöta bort varandra. De rör sig med 99,99999 procent av ljusets hastighet, och kolliderar med en ungefärlig energi på 4 TeV var, alltså 8 TeV totalt (en teraelektronvolt = tusen miljarder elektronvolt). En TeV är kanske inte så mycket energi, ungefär som hos en flygande mygga. Men när energin packas ner i en enda proton och 500 biljoner sådana protoner ilar runt i acceleratoren, blir strålens energi som hos ett framrusande tåg. Och 2015 ska energin nästan fördubblas i LHC.



En möjlig upptäckt med ATLAS-detektorn visar spår av fyra myoner (rött) som den kortlivade Higgspartikeln gett upphov till. Bild: CERN, <http://cds.cern.ch/record/1459496>

En Higgspartikel kan ha bildats och omedelbart sönderfallit i två fotoner vars spår (grönt) är synliga i CMS-detektorn. Bild: CERN, <http://cds.cern.ch/record/1459459>

## Ett pussel i det ännu större pusslet

Det händer att partikelexperiment jämförs med att krocka två schweiziska klockor för att sedan se hur de är uppbyggda. I själva verket är det svårare än så, för de partiklar som forskarna letar efter är helt nya – de skapas ur energin i krocken.

Enligt Einsteins välbekanta formel  $E = mc^2$  är massa en form av energi. Det är magin i denna ekvation som gör det möjligt, till och med för partiklar som saknar massa, att bilda något nytt när de krockar med varandra. Som när två masslösa ljuspartiklar, fotoner, krockar och bildar en elektron och dess antipartikel, positron. Eller när en Higgspartikel bildas då två av protonens invånare, gluoner, krockar vid tillräckligt höga energier.

Protonerna är som små säckar fyllda med partiklar – kvarkar, antikvarkar och gluoner. De allra flesta passerar obekymrat varandra – varje gång två protonsvärmar kolliderar blir det i snitt bara 20 frontal-krockar. Mindre än en krock på en miljard kan vara intressant att följa vidare. Det låter inte mycket, men varje krock ger upphov till ett fyrverkeri med ett tusental partiklar. Nu har Higgspartikeln visat sig vara över hundra gånger tyngre än en proton, 125 GeV (gigaelektronvolt), vilket är ett av skälen till varför den var så svår att få fram.

Men experimentet är långt ifrån avslutat. Forskarna vid CERN hoppas komma med flera omvälvande upptäckter under de närmaste åren. För även om det är ett storverk att finna Higgspartikeln, den sista pusselbiten som fattades i standardmodellen, så är standardmodellen inte den sista biten i pusslet om hela universum.



Higgspartikeln var den sista pusselbiten som fattades i partikelfysikens standardmodell. Men standardmodellen är inte den sista biten i pusslet om hela universum.

Ett av skälen är att vissa partiklar, neutriner, i standardmodellen beskrivs som masslösa, medan ny forskning pekar mot att de faktiskt har massa. Ett annat skäl är att modellen bara omfattar den synliga materien, vilken endast är en femtedel av all materia som finns i världsalldet. Resten av universums materieinnehåll består av så kallad mörk materia av okänt slag. Den ger sig inte till känna direkt, bara genom sin gravitation, då den till exempel håller ihop roterande galaxer så att de inte slits isär.

Annars undviker den mörka materien nogsamt att befatta sig med den redan kända materien. Fast Higgspartikeln är ju speciell; den kanske skulle kunna få kontakt med det gåtfulla mörkret. En glimt åtminstone, av den mörka materien, hoppas forskarna få se när de i ett par decennier till fortsätter jakten på okända partiklar vid LHC.

---

## LÄNKAR OCH LÄSTIPS

Mer information om årets priser, bland annat en vetenskaplig bakgrundsartikel på engelska, finns på Kungl. Vetenskapsakademiens webbplats, <http://kva.se> och på <http://nobelprize.org>. Där kan man också se presskonferensen som webb-TV. Mer information om utställningar och aktiviteter kring Nobelpriset och Ekonomipriset finns på [www.nobelmuseum.se](http://www.nobelmuseum.se).

### Artiklar

- Rose, J.** (2013) I mörkret bortom Higgs, *Forskning & Framsteg*, nr. 6.  
**Llewellyn-Smith, C.** (2000) The Large Hadron Collider, *Scientific American*, juli.  
**Weinberg, S.** (1999) A Unified Physics by 2050?, *Scientific American*, december.

### Böcker

- Randall, L.** (2013) *Higgs Discovery: The Power of Empty Space*, Bodley Head.  
**Sample, I.** (2013) *Massive: The Higgs Boson and the Greatest Hunt in Science*, Virgin Books.  
**Carroll, S.** (2012) *The Particle at the End of the Universe*, Dutton.  
**Close, F.** (2011) *The Infinity Puzzle*, Oxford University Press.  
**Wilczek, F.** (2008) *The Lightness of Being: Mass, Ether, and the Unification of Forces*, Basic Books.

### Länkar

- CERN** Scientists Announce Higgs Boson: The Moment  
[www.youtube.com/watch?v=0CugLD9HF94](http://www.youtube.com/watch?v=0CugLD9HF94)
- CERN** LHC Brochure  
<http://cds.cern.ch/record/1278169?ln=en>
- Cham, J.** *The Higgs Boson Explained*. (animation)  
[www.phdcomics.com/comics/archive.php?comicid=1489](http://www.phdcomics.com/comics/archive.php?comicid=1489)
- Higgs, Peter W.** (2010) *My Life as a Boson*. (transkriberat tal)  
[www.kcl.ac.uk/nms/depts/physics/news/events/MyLifeasaBoson.pdf](http://www.kcl.ac.uk/nms/depts/physics/news/events/MyLifeasaBoson.pdf)

---

## PRISTAGARNA

### FRANÇOIS ENGLERT

Belgisk medborgare. Född 1932 (80 år) i Etterbeek, Belgien. Fil.dr 1959 vid Université Libre de Bruxelles, Bryssel, Belgien. Professor emeritus vid Université Libre de Bruxelles, Bryssel, Belgien.  
[www.ulb.ac.be/sciences/physst/people\\_FEnglert.html](http://www.ulb.ac.be/sciences/physst/people_FEnglert.html)

### PETER W. HIGGS

Brittisk medborgare. Född 1929 (84 år) i Newcastle upon Tyne, Storbritannien. Fil.dr 1954 vid King's College, University of London, Storbritannien. Professor emeritus vid University of Edinburgh, Storbritannien.  
[www.ph.ed.ac.uk/higgs/](http://www.ph.ed.ac.uk/higgs/)