

Sidste nyt fra LHC om Higgs-bosonen

Af Stefania Xella, Niels Bohr Institutet

Sidst jeg skrev en artikel om Higgs-partiklen [1] hævdede jeg, at 2012 ville blive året for Higgs. Sjældent har jeg ramt mere plet! Den 4. juli 2012, efter et ekstremt succesfuldt år med dataopsamling, kunne de to eksperimenter ved CERN, som hedder CMS og ATLAS, annoncere opdagelsen af en Higgs-lignende partikel. Dette er en af de største opdagelser i partikelfysikken i nyere tid, og dagen blev ekstra følelsesbetonet af, at professor Peter Higgs selv var tilstede i auditoriet og med sine egne øjne så præsentationen af de resultater, som han sikkert har drømt om det meste af sin karriere. Her gøres der status over, hvad vi foreløbig kan sige om den nye bosons egenskaber.



Figur 1. Dr. Fabiola Gianotti (talskvinde for ATLAS eksperimentet, CERN) og professor Peter Higgs (University of Edinburgh) lykønsker hinanden den 4. juli 2012.

Idag, et år efter opdagelsen af en “Higgs-lignende partikel”, er vi så småt ved at være sikre på, at den partikel vi fandt, vitterligt er den Higgs-boson, som gør partikelfysikkens Standard Model (SM) selvkonsistent.

Der er (vigtige) detaljer som vi endnu ikke kender, såsom præcist hvor stærkt Higgs-partiklen kobler til andre partikler i Standard Modellen. Disse koblinger er forudsagt præcist, men eksperimentelt kendes de kun til 10-20 %, så når vi begynder at få mere data efter 2015, så er det muligt, at vi kan se afvigelser fra Standard Modellen.

Med vores nuværende data kan vi ikke desto mindre se, at alle basale parametre, som spin, masse, produktionstværsnit, henfaldskanaler og vekselvirkninger med andre Standard Model-partikler, alt sammen viser et konsistent billede af en ny partikel, som har de egenskaber, man har forudsagt for en SM-Higgs-partikel.

Før vi går til en gennemgang af, hvad vi har lært om denne nye partikel, så lad mig kort minde om, hvorfor denne opdagelse er så vigtig for partikelfysikken.

Hvorfor er Higgs partiklen så vigtig?

Teorien for partikelfysikkens Standard Model er en meget succesfuld teori på subatomar skala. Den beskriver de fleste fænomener vi observerer i naturen, fra den almindelige subatomare verden omkring os (atomer, radioaktivt henfald, osv) i det nuværende “kolde” univers til laboratorieeksperimenter med partikelkollisioner ved høj sammenstødsenergi, svarende til temperaturer på $T \approx 10^{17}$ kelvin.

To vigtige dele af teorien er: a) hvordan partikler får deres masse, og b) hvordan de elektromagnetiske og de svage kræfter bliver forskellige. Teorien er nemlig “forenet” ved høje energier, i den forstand at de svage kræfter bliver ligeså stærke som de elektromagnetiske kræfter på et vist tidspunkt i Universets historie (altså ved høje energier). Helt konkret, så tror vi at der skete en faseovergang (lidt som når vanddamp kondenserer til dråber) i det tidlige univers, hvor de svage kræfter pludselig blev kortrækkende, og dermed adskilte sig fra de andre kræfter.

Tilsvarende processer kender vi fra superledere, så for fysikere, der arbejder med nanofysik virker sådanne faseovergange helt naturlige. I en almindelig elektrisk leder tillader de uordnede (inkohærente) elektroner, at et eksternt magnetfelt kan gennemtrænge lederen. I et superledende materiale vil de ordnede (kohærente) elektroner omvendt forhindre et magnetfelt i at gennemtrænge lederen. Dette er kendt som Meissner-effekten.

På samme måde forestiller vi os, at Universet, hvor Higgs-feltet er spredt ud overalt, kan have en faseovergang. Efter denne faseovergang forhindrer Higgs-feltet de svage kræfter i at opføre sig som de andre kræfter (de virker derefter kun over korte afstande). Den samme faseovergang, som skaber en slags orden i Universet, giver også masse til partiklerne.

Så, i korte ord, Higgs-partiklen var forudsagt til at løse to problemer for os, både at give masse til normale stofpartikler (hvorfor vi vejer noget), og at gøre de svage kræfter anderledes end de elektromagnetiske kræfter.

Hvad har vi lært om Higgs-partiklen indtil nu?

Begge eksperimenterne ATLAS og CMS har nu analyseret alle de data, der blev indsamlet i 2011 og 2012, og de har uden tvivl observeret en ny partikel.

Princippet bag sådan en opdagelse er vist skematisk i figur 2 (øverst til højre), hvor “some parameter” i dette tilfælde er Higgs-partiklens masse. Figuren viser, at man kan afgøre om der findes en Higgs og hvad den vejer, ved at se hvad der passer bedst med data, “baggrunden” som er Standard Modellen *uden* en Higgs, eller “Prediction with Higgs”, som, ja, er Standard Modellen *med* en Higgs.

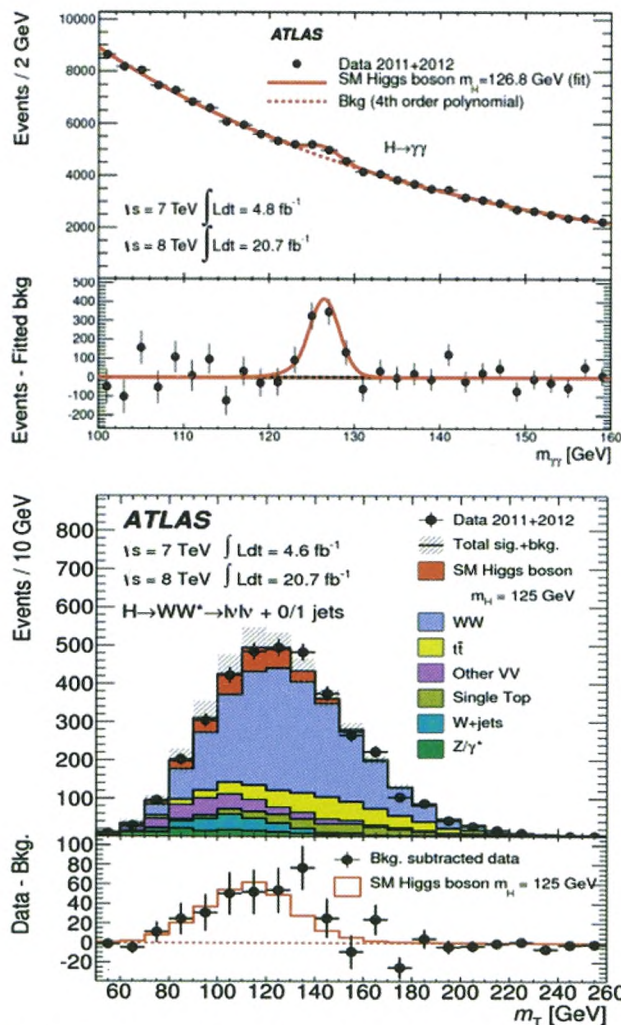


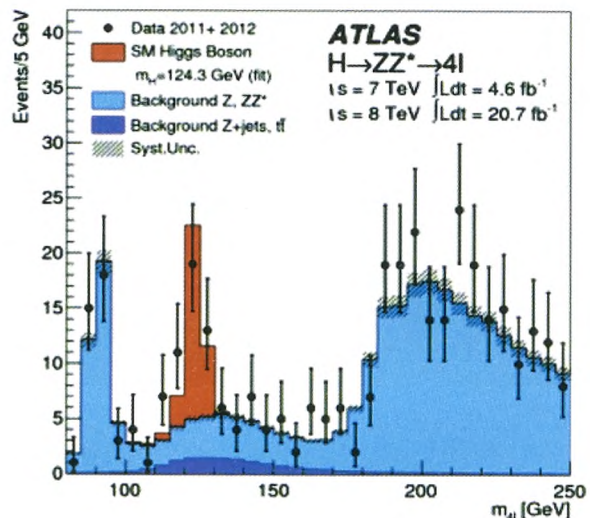
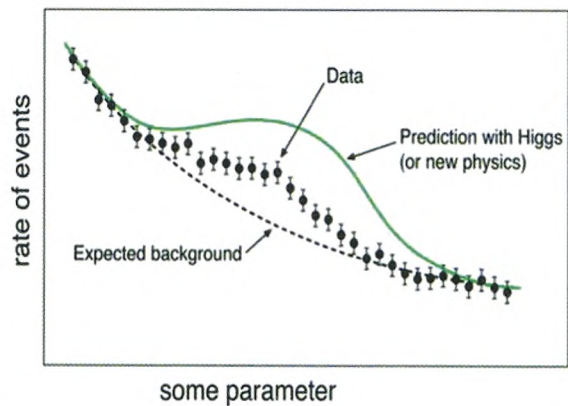
Figure 2. Fordelingen af massen af de synlige produkter efter den nye partikels henfald, for 3 forskellige slags henfaldsprodukter: 2 fotoner (øverst, venstre), WW (nederst, venstre), og ZZ (nederst, højre). For $\gamma\gamma$ og WW (henfaldskanaler der har høj baggrund), vises fordelingen fratrullet den forventede baggrund. Fra [4].

I de andre dele af figur 2 kan man se resultaterne fra ATLAS, som helt klart viser, at der er et signal – der er noget der stikker op over baggrunden. Disse figurer viser forskellige (og uafhængige) måder som Higgsen kan henfalde (til to fotoner, eller til to Z -bosoner, eller til W -bosoner). Fra disse figurer kan vi så måle den nye partikels masse, og i tabel 1 er vist en oversigt over to forskellige henfaldskanaler, og for de to uafhængige detektorer (ATLAS og CMS). Der er fin overensstemmelse, så eksperimenterne og de forskellige henfald finder altså den samme partikel. Det er jo rimelig heldigt!

Collaboration	channel	mass (GeV)
ATLAS	$\gamma\gamma$	$126.8 \pm 0.2 \pm 0.7$
CMS	$\gamma\gamma$	$125.4 \pm 0.5 \pm 0.6$
ATLAS	$4l$	$124.3^{+0.6+0.5}_{-0.5-0.3}$
CMS	$4l$	$125.8 \pm 0.5 \pm 0.2$
ATLAS	combination	$125.5 \pm 0.2^{+0.5}_{-0.6}$
CMS	combination	$125.7 \pm 0.3 \pm 0.3$

Tabel 1. ATLAS- og CMS-målinger af den Higgs-lignende partikels to mest oplagte henfaldskanaler (to fotoner, eller to Z -bosoner, der henfalder videre til 4 leptoner) og kombinationer af disse for hvert eksperiment [4, 5].

Når vi kender massen, så er det næste vigtige spørgsmål hvad partiklens spin er. Standard Modellen forudsiger en spin 0^+ -partikel, men hvad siger eksperimen-

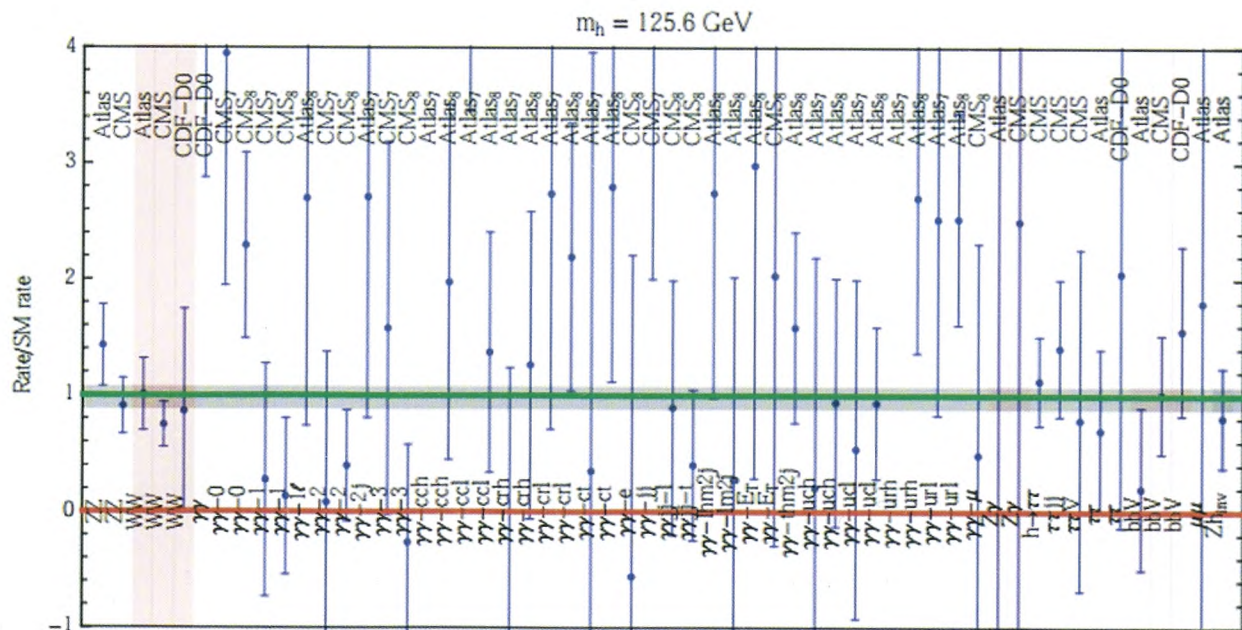


tet? Dernæst vil henfaldsraten til andre partikler være helt fastlagt hvis partiklen er en SM-Higgs, men hvad observerer vi? Disse spørgsmål bliver delvist besvaret i figur 3 og 4.

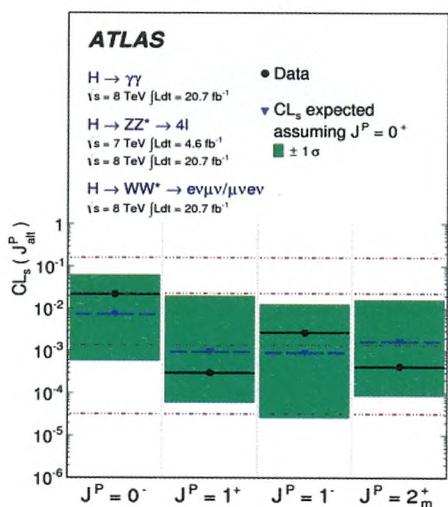
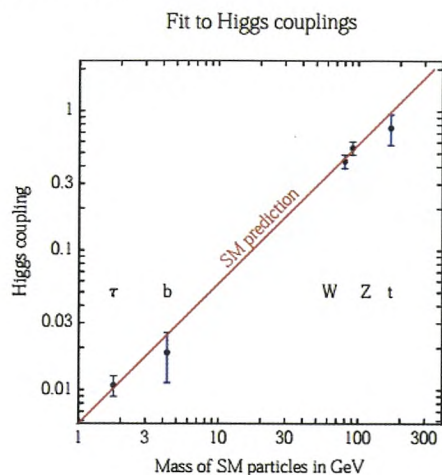
I figur 3 ser vi forholdet mellem henfaldsrater (observeret rate divideret med forudsagt rate) for mange forskellige måder, hvorpå partiklen kan henfalde. Hvis resultatet er tæt på 1, så er det en SM-Higgs. Hvis resultatet er tæt på 2, eksempelvis, så er det ikke en SM-Higgs. Resultaterne viser at eksperimenterne er konsistente med en SM-Higgs-partikel. Vi ser desuden, at usikkerhederne stadig er meget store, og det er fordi vi stadig kun har ganske lidt data. Vi glæder os derfor meget til LHC begynder at køre igen i 2015 med fornyet styrke.

I figur 4's venstre side ser vi, at vekselvirkningen mellem den nye partikel og almindelige partikler skalerer ganske præcist med de almindelige partiklers masse. Det er præcis som forudsagt for en SM-Higgs.

På højre side af figur 4 ser vi hvad den nye partikels spin er. Hvis data ligger langt væk fra 1 (på 2.-aksen), så er det spin ekskluderet. Vi ser, at både spin 1 og 2 er helt udelukket (indikeret med $JP = 1^+, 1^-, 2^+$), hvorimod vi skal have mere data for at ekskludere spin 0^- . SM-Higgs er forudsagt til at have spin 0^+ , så det ser meget lovende ud.



Figur 3. Henfaldsrater til forskellige partikler. Figuren viser forholdet mellem observation og forudsigelser for en SM Higgs-partikel. Fra [2].



Figur 4. Øverst: Hvor stærkt den nye partikel vekselvirker med andre SM-partikler [2]. Nederst: Spin af den nye partikel. Eksklusion af andre muligheder end SM-forudsigelsen (spin 0 med paritet +) er nu 99,7 % sikker, bortset fra tilfældet med spin 0 og paritet -, hvor vi stadig har brug for mere data. "CL" på 2-aksen betyder "Confidence Level", der repræsenterer vores tillid (confidence) til, at udelukke hypotesen om en given kombination af spin og paritet (J^P) for partiklen. Hvis $J^P = 1^+$ har CL = 3 sigma, betyder det, at vi udelukker med 3 sigmas tillid (= 99,7 %) at Higgsen har $J^P = 1^+$. Fra [3].

Fremtiden

LHC starter op igen i 2015 med forhøjet energi (omkring 13-14 TeV, hvor 2012 sluttede med 8 TeV). Den kommer også til at køre med langt flere reaktioner (højere luminositet).

Vi forventer inden for få års kørsel, at forbedrede observationerne præsenteret her, så vi enten kan sige med sikkerhed, at det virkelig er SM-Higgsen vi har fundet, eller alternativt, at vi finder små afvigelser fra SM-forudsigelserne, hvilket også vil være meget interessant. Det kunne for eksempel være, at man finder at Higgsen "lidt for gerne" henfalder til fotoner. Sådanne afvigelser ville være de første indikationer på fysik der rækker ud over hvad Standard Modellen beskriver. Uanset hvad, så bliver det nogle spændende år.

Litteratur

- [1] Stefania Xella (2012), På jagt efter Higgs-bosonen, KVANT nr. 2, maj 2012
- [2] The Universal Higgs Fit, P.P.Giardino et al, arXiv:1303.3570v2 [hep-ph]
- [3] Evidence for the spin-0 nature of the Higgs boson using the ATLAS data, ATLAS Collaboration, arXiv:1307.1432 [hep-ex]
- [4] Combined measurements of the mass and signal strength of the Higgs-like boson with the ATLAS detector using up to 25 fb-1 of proton-proton collision data, ATLAS Collaboration, ATLAS-CONF-2013-014
- [5] Combination of standard model Higgs boson searches and measurements of the properties of the new boson with a mass near 125 GeV, CMS collaboration, CMS-PAS-HIG-13-005.



Stefania Xella er lektor ved Niels Bohr Institutet og arbejder i gruppen for eksperimentel partikelfysik. Hun er aktivt medlem af "Higgs-hunter"-teamet ved ATLAS.