

Konsekvenserna av att hitta higgsbosonen

Projekt i Modern fysik SH1009
Emil Hyttinen emilhy@kth.se
Robin Sollander robinsol@kth.se

Historia – hur kom man fram till alla dessa partiklar

Ända sedan urminnes tider har människan undrat vad materia består av och vad som håller ihop materia. Kan det finnas några grundbyggstenar och fundamentala krafter mellan dessa byggstenar. Man har trott och spekulerat i att materia består av de fyra elementen, att atomer är de minsta beståndsdelarna vilket Thomson senare visade vara en för trubbig tanke i och med upptäckten av elektronen. Rutherford förfinade teorin med införandet av en positivt laddad atomkärna. Senare problem med att förstå viss högenergistrålning från radioaktivt sönderfall gjorde att man upptäckte neutronen. Men innan dess hade man upptäckt att ljus beter sig som vågor. Då fick man problem med hur energin för ljus verkade bero på frekvensen snarare än intensiteten. Lösningen fick bli att ljus, eller elektromagnetisk strålning, också kan ses som en partikel, fotonen. Om ljus kan vara både vågor och partikel så kan väl partiklar som t.ex. elektronen också vara en våg? Det var i alla fall vad Schrödinger tänkte och så härledde han en ekvation för det, den berömda Schrödingers ekvation. I Schrödingers vågekvation fick man problem med att vilomassa-energin för en partikel gavs av en kvadratisk ekvation och därmed borde det alltså finnas en negativ lösning, partiklar med negativ energi. Detta var så motbjudande att man hittade på en ny partikel, antipartikel med motsatt laddning och därmed positiv energi. En rad ”nya” tyngre och därmed ostabila partiklar kunde upptäckas med hjälp av att kollidera lättare partiklar med oerhört hög hastighet, så klart aldrig över ljusets hastighet men väldigt nära. En förenkling av klassificeringen av dessa nya partiklar gjorde att man föreslog att kvarkar existerade. Och dessa bekräftades i experiment.

Elektron-neutrino ν_e	Myon-neutrino ν_μ	Tau-neutrino ν_τ
Elektron e	Myon μ	Tauon τ
1	2	3

Generation

Figur 1. Leptoner

De minsta delarna och hur vi klassificerar dem idag

I och med kvarkarnas upptäckt hade man hittat de två grupperna av minsta partiklar, kvarkar och leptoner. För varje kvark och lepton finns en antikvark respektive antilepton. Det finns sex leptoner indelade i tre generationer, se Figur 1. Till kändisar hör elektronen. Det finns sex olika kvarkar och dessa är också indelade i generationer, se Figur 2. Kvarkar observeras alltid i grupp, detta på grund av den starka kraften som verkar mellan dem. Mer om starka kraften senare. Till kändisgrupper hör två uppkvarkar och en nerkvark som bildar protonen samt en uppkvark och två nerkvarkar som bildar neutronen. Om gruppen innehåller tre kvarkar kallar vi den för Bayron, och om gruppen består av en kvark och dess antikvark kallar vi den för Meson. Denna teori om kvarkar och leptoner brukar tillsammans med teorin om krafter som presenteras nedan, kallas för standardmodellen.

Upp	Charm	Topp
Ner	Sär	Botten
1	2	3

Generation

Figur 2. Kvarkar

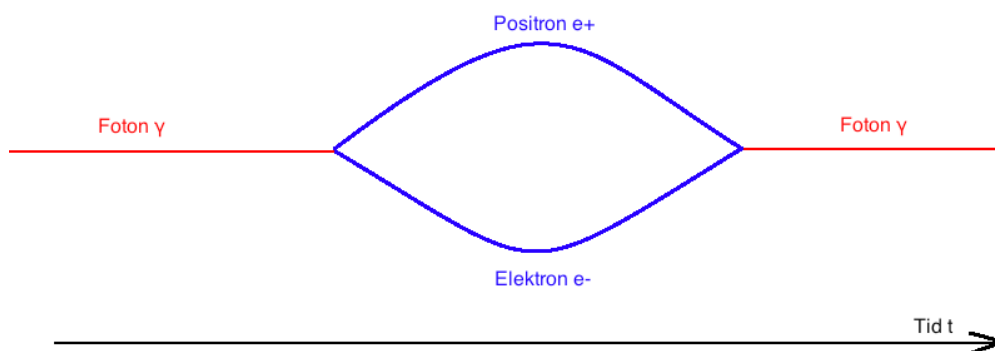
Krafter

Partiklar kan förutom den välkända elektromagnetiska laddningen också ha "laddningen" färg, massa och spinn. Partiklar, sammansatta eller elementarpartiklar som har elektromagnetisk laddning skilt från noll kan växelverka med varandra via den elektromagnetiska kraften. Denna växelverkan sker med hjälp av en utbytarpartikel som för just den elektromagnetiska kraften är den tidigare nämnda fotonen. Om en partikel har en "färgladdning" kan den växelverka med en annan färgad partikel med hjälp av den starka kraften vars utbytarpartikel är gluonen. Gluonen kommer i åtta olika varianter. Partiklar som har "laddningen" massa kan växelverka med hjälp av gravitationskraften vars utbytarpartikel är gravitonen. Här finns ett problem, gravitonen är ännu inte upptäckt. Gravitationskraften och gravitonen är inte en del av standardmodellen. Alla materierpartiklar sammansatta eller elementära som har halv-spinn kallas för Fermioner och dessa kan växelverka med varandra med hjälp av den svaga kraften. Den svaga kraftens utbytarpartiklar är W^+ och W^- bosonen samt Z^0 bosonen. Kraftbärande partiklar som har helspinn och kallas för Bosoner och bara ett antal av dessa kan växelverka med hjälp av den svaga kraften. T.ex. så kan kraftutbytarpartiklarna själva W^+ och W^- samt Z^0 bosonen växelverka med hjälp av den svaga kraften medan helspinnspartiklarna fotonen och gluonen inte kan det.

Man brukar rangordna krafter efter deras styrka. Då kollar man på proportionalitetskonstanten mellan kraftpotentialen och inversa avståndet. Inte så oväntat är starka kraften värst följt av den elektromagnetiska och därefter kommer faktiskt den veka före gravitationen. Men hur hänger det här ihop med vad vi ser i vardagen, vi kan inte hoppa hur högt vi vill utan dras efter högst någon meter tillbaka till jorden. Detta får gravitationskraften stå för. Då man ställer kaffekoppen på bordet står den kvar och faller inte igenom eller isär, material hänger samman på grund av ibland väldigt svaga elektromagnetiska laddningsfluktationer i molekyler och atomer. Detta får alltså den elektromagnetiska kraften ta på sig. Vi ser inte röken av vare sig den starka eller den svaga kraften, så länge vi håller oss borta från kärnkraftverk och tandläkaren. Anledningen är att både den starka och den svaga kraften har en rumsbegränsning, deras kraftförmedlarpartiklar är ostabila och sönderfaller så att partiklar på längre avstånd inte kan växelverka med hjälp av dessa krafter.

Kvantfältteorin

Kvantfältteorin är den teori som med ett matematiskt språk formaliserar den ovan beskrivna växelverkan mellan partiklarna. Eftersom vi har stora hastigheter och väldigt små partiklar behöver vi ta hänsyn till både relativitetsteori och kvantteori. Kvantteorin kommer medföra att energiförbjudna event kan inträffa. Ett sedan tidigare välkänt sådant fenomen är tunnling av en elektron som egentligen har för lite energi för att ta sig över en barriär men som med en sannolikhet större än noll ändå gör det. Kvantteorin gör också att en foton ur tomma intet "virtuellt" kan omvandlas till en positron och en elektron, se Figur 3. Men nu ställer relativitetsteorin till det lite grand. Den ger nämligen fotonen olika mycket energi beroende på observerarens hastighet och gör därmed detta till ett energiförbjudet event. Man kan se detta om vi t.ex. färdas *med* fotonen så har den enligt relativitetsteorin samma hastighet men lägre frekvens än om vi färdas *mot* fotonen. Därmed har fotonen olika mycket energi beroende observerarens hastighet. Dess energi då vi färdas *med* fotonen kanske då inte räcker till för att skapa de två vilomassorna för en elektron och positron. Därmed har vi ett energiförbjudet tillstånd som ändå för en kort tid inträffar med en viss sannolikhet. De här korttidstillstånden gör att inom kvantfältteorin, givet ett initialtillstånd och sluttillsånd, så kan "vadsomhelst" ha inträffat däremellan.



Figur 3. Foton som tillfälligt sönderfaller

För att ta reda på sannolikheten för en växelverkan behöver man inom kvantfältteorin summera över alla möjliga mellantillstånd. Och dessa är jobbigt nog oändligt många. Det som blir räddningen här är att enkla mellantillstånd är mer sannolika än komplexa så om vi kan acceptera en approximation behöver man bara räkna på ett fåtal mellantillstånd där antalet beror på den önskade noggrannheten.

När partiklar växelverkar, alltså några partiklar elimineras och andra skapas, så finns i kvantfältteorin ett antal symmetrier, lagar, som vi vill och som vi har sett alltid bevaras. En sådan symmetri är den elektromagnetiska laddningen, en annan är rörelsemängdsmomentet. Dessa storheter är lika både före och efter en växelverkan om man summerar över alla ingående partiklar före och efter. Då man först på ett teoretisk plan studerade växelverkan mellan vissa partiklar har symmetrierna lett till förutsägelser av flera ”nya” partiklar däribland Z^0 -bosonen och charmkvarken. Dessa partiklar är ofta så tunga att de är energiotillåtna och kommer därmed att sönderfalla mycket snabbt. Därför syns de aldrig i vårt vardagliga liv men i högenergiexperiment har de bekräftats.

Varför behövs Higgspartikeln

Man har länge strävat efter att kunna förena alla krafterna till en enda universal kraft. Hittills har man lyckats ena den elektromagnetiska och den svaga kraften till en kraft som kallas den elektrosvaga. Teorin för den elektrosvaga kraften innehåller fyra kraftförmedlande bosoner, B^0 , W^0 , W^+ och W^- . Det har visats att den elektromagnetiska och den svaga kraften blir samma kraft vid väldigt höga energier. Vid låga energier däremot beter de sig väldigt olika, teorin modellerar här krafterna som olika aspekter av den elektrosvaga kraften. Detta kallas ett spontant symmetribrott, vilket är tillåtet i teorin tack vare higgsfältet. Vid symmetribrottet gör higgsfältet att W^+ , W^- och Z^0 blir massiva, där Z^0 är en linjärkombination av B^0 och W^0 . Den linjärkombination av B^0 och W^0 som är ortogonal mot Z^0 blir fotonen, och förblir masslös. Higgsfältet växelverkar med all materia, detta kallas higgsmekanismen. Den kraftbärande partikeln i higgsfältet är higgsbosonen. Higgsfältet, higgsmekanismen och higgsbosonen förklarar varför partiklar har massa, något som varit ett problem i standardmodellen. För att försöka bekräfta dessa teorier så har man letat efter higgsbosonen med LHC vid CERN. Nu har man påvisat en boson som antas vara higgsbosonen.

Innebörden av att hitta higgsbosonen

Om bosonen som hittats kan bekräftas som higgsbosonen och dess förutspådda egenskaper stämmer, så bekräftar det teorin med higgsfältet. Detta skulle som sagt både bekräfta den nuvarande teorin om spontana symmetribrott hos den elektrosvaga kraften och ge oss större insikt i hur universum fungerar, då det förklarar hur partiklar får massa. Det kan ses som den sista viktiga pusselbiten för att få ihop standardmodellen.

Referenser

- Wikipedia 18 december 2012
- Facts and Mysteries in Elementary Particle Physics; Martinus J. G. Veltman; World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Modern Physics; P A Tipler, R Llewellyn; Utgåva 5; W. H. Freeman, 2007