Ljusets struktur och tunga kvarkar

Inom partikelfysiken försöker man besvara två grundläggande frågor: vad består världen av och hur hålls den samman? I den teori som kallas Standardmodellen är all materia uppbyggd av sex kvarkar och sex leptoner samt dess antipartiklar. Kvarkarna förekommer bara i tripletter (tre kvarkar eller tre antikvarkar) eller i kvark-antikvarkpar. De två lättaste kvarkarna, uppkvarken och ner-kvarken, kan bilda protoner (två uppkvarkar och en nerkvark) och neutroner (två nerkvarkar och en uppkvark), vilka i sin tur bildar atomkärnor. Andra kombinationer av kvarkar bildar instabila partiklar, vilka bara kan observeras i partikelacceleratorer eller då kosmisk strålning kolliderar med jordens atmosfär. Av leptonerna är det bara två som är stabila, elektronen och elektronneutrinon. Elektroner, protoner och neutroner bildar som bekant atomer, vilka bygger upp vår värld. Vad håller då samman dessa partiklar? Så vitt man vet, kan alla fysikaliska fenomen beskrivas med fyra krafter: gravitationen, den elektromagnetiska kraften och den starka och svaga kraften. Krafterna förmedlas genom utsändande och absorberande av kraftförmedlande partiklar, så kallade gauge-bosoner. Gravitationen är den svagaste av dessa och har så pass liten inverkan på processer i partikelfysiken att den kan försummas. Den elektromagnetiska kraften förmedlas av fotoner, ljuspartiklar, som håller kvar elektronerna i sina banor runt atomkärnan och binder ihop atomer till molekyler. Den starka kraften håller samman kvarkarna i protonerna och neutronerna samt ansvarar för att dessa bygger upp atomkärnan. Denna kraft förmedlas av gluoner (från engelskans ”glue”). Den svaga kraften möjliggör t.ex. beta-sönderfallet, som står för solens energiproduktion och dess kraftförmedlare är W- och Z-partiklarna.

Kvarkarna, leptonerna och gauge-bosonerna anses vara fundamentala, d.v.s. de är inte uppbyggda av andra partiklar och har därmed ingen struktur. Trots detta kan fotonerna ibland uppföra sig som om de har struktur. Detta beror på att en foton under ett kort ögonblick kan ”låna” energi från vakuumet och splittras upp i en kvark och en antikvark, vilka i sin tur kan sända ut gluoner. Vidare kan dessa splittras upp i ytterligare kvarkpar eller sända ut fler gluoner. De bildade kvarkarna och gluonerna kan endast leva en kort stund, eftersom den energi som fotonen ”lånat”, enligt kvantmekanikens regler, måste betalas tillbaka inom en viss tid. De kallas därför virtuella partiklar. Denna restriktion gäller dock inte om molnet av kvarkar och gluoner kolliderar med en annan foton. Då kan nämligen energilånet återbetalas via den externa fotonen och därmed tillåts kvarkarna och gluonerna att leva vidare. Gluonerna knyter då samman kvarkarna till partiklar som kan observeras i detektorer.

I mitt examensarbete ”The unintegrated gluon density in the photon and heavy quark production” har jag studerat foton-foton kollisioner och inriktat mig på de processer där så kallade tunga kvarkar, c-kvarkar och b-kvarkar, bildas. Dessa processer har observerats vid LEP (CERN), där man kolliderade elektroner med dess antipartikel, positronen, vilka accelererats till 99,999% av ljusets hastighet. I sådana kollisioner finns det en viss sannolikhet att både elektronen och positronen sänder ut var sin (virtuell) foton, vilka sedan kan växelverka. Resultatet av dessa mätningar var mycket intressanta: det visade sig att man producerade ungefär så många c-kvarkar som man hade förväntat sig från teoretiska förutsägelser, men man fick ungefär fyra gånger mer b-kvarkar än beräknat. Förutsägelserna var baserade på vissa antaganden, som t.ex. att alla kvarkar och gluoner som bildas då en foton spricker upp fortsätter i samma riktning som den ursprungliga fotonens riktning. Detta kan kanske tyckas vara ett underligt antagande, eftersom sunda förnuftet säger att kvarkarna och gluonerna också borde ha en rörelse i sidled, men om denna sidorörelse är liten i förhållande till rörelsen i ”framåtriktningen” (fotonens rörelseriktning) kan den försummas.

Det är möjligt att detta antagande är felaktigt då det gäller produktion av tunga kvarkar. Jag har därför beräknat hur fördelningen av gluonernas rörelse ser ut i fotonen då man även tar hänsyn till dess sidorörelse[1]. Denna fördelning kallas den ointegrerade gluonfördelningen. Annorlunda uttryckt anger den ointegrerade gluondensiteten för fotonen sannolikheten att en gluon i fotonen har en viss hastighet i framåtriktningen och en viss hastighet i sidoriktningen. Med hjälp av denna fördelning kan man beräkna sannolikheten att t.ex. tunga kvarkar skall bildas i en foton-fotonkollision, och därmed sannolikheten att detta skall hända i en elektron-positronkollision.

Beräkningarna resulterade i en bättre överensstämmelse mellan teori och observation för produktion av b-kvarkar. Dock skiljer det ännu en faktor 2 mellan dem, villket betyder att problemet är långt ifrån löst. Det krävs därför mer arbete, både teoretisk och experimentellt, för att förbättra de teorier vi har och för att få mer noggranna mätningar att testa teorierna mot. Det finns planer på att bygga en ny elektron-positronkolliderare, kallad TESLA, i Hamburg, där man vill accelerera partiklarna till väsentligt högre energier än som var möjligt i den nu nerlagda LEP, vilket skulle möjliggöra betydligt noggrannare mätningar. Vid TESLA-anläggningen finns möjlighet att även åstadkomma kollisioner mellan reella fotoner av mycket hög energi (ungefär 100 miljarder gånger mer energirika än synligt ljus), vilket om planerna realiseras skulle bli den första fotonkollideraren i världen. En av finesserna med denna är att man kan mäta sannolikheten för foton-fotonkollisioner direkt, i motsats till LEP där kollisionerna sker mellan virtuella fotoner som utsänts av elektronen och positronen.

[1] Kvarkfördelningarna kan på goda grunder försummas då det gäller produktion av tunga kvarkar