



LUND UNIVERSITY

Multiplet bases, recursion relations and full color parton showers

Thorén, Johan

2018

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Thorén, J. (2018). *Multiplet bases, recursion relations and full color parton showers*. [Doctoral Thesis (compilation), Department of Astronomy and Theoretical Physics - Undergoing reorganization]. Lund University, Faculty of Science, Department of Astronomy and Theoretical Physics.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Populärvetenskaplig sammanfattning på svenska

Vad består materia av? Det är en fundamental fråga som mänskligheten försökt besvara i tusentals år. Vårt svar på den frågan har utvecklats enormt de senaste 200 åren. Atomer, från grekiskans ord för odelbar, bygger upp materia vi ser omkring oss. Det antogs länge att atomer verkligen var odelbara, men strax innan sekelskiftet år 1900, kom experimentellt bevis från J. J. Thomson, som påvisade att det fanns en inre struktur i atomer. Thomson hade upptäckt den negativt laddade elektronen, som tillsammans med den positivt laddade kärnan bygger upp atomer. E. Rutherford lyckades ett par årtionden senare visa att även atomkärnan har en inre struktur, den är uppbyggd av positivt laddade protoner och neutrala neutroner. De kommande decennierna resulterade i att fler och fler partiklar upptäcktes. Vid det sena 1960-talet så hade man hundratals, till synes, elementarpartiklar. Vid denna tid framförde M. Gell-Mann och G. Zweig, oberoende av varandra, kvarkmodellen, vilken istället för hundratals partiklar innehåller tre "smaker" (flavor på engelska) av kvarkar. I denna modell består merparten av de hundratals upptäckta partiklarna av bundna tillstånd av tre kvarkar, baryoner, eller en kvark och en antikvark, mesoner. En antikvark är en antipartikel, vilket är något som varje partikel har (om de inte är sin egen antipartikel). En partikel och dess antipartikel delar vissa egenskaper, exempelvis massa, de är lika tunga, medan andra egenskaper skiljer sig, exempelvis elektrisk laddning, om partikeln har positiv laddning, så har dess antipartikel en lika stor, men negativ laddning.

Förståelsen av elementarpartiklar idag har ökat enormt sedan 1960-talet, men kvarkar är fortfarande fundamentala i dagens modell av partikelfysik, standardmodellen. I standardmodellen finns det tre krafter, elektromagnetism, svaga växelverkan och den starka växelverkan. Dessa förmedlas av bosoner. Den masslösa fotonen förmedlar den elektromagnetiska kraften, de massiva, W^+ , W^- och Z^0 bosonerna, förmedlar den svaga kraften och de åtta masslösa gluonerna förmedlar den starka kraften. Partiklar som ingår i materia delas upp i två grupper, leptonerna, som inte växelverkar genom den starka kraften, och kvarkar, som växelverkar genom den starka kraften. En till partikel ingår i standardmodellen, den berömda Higgsbosonen, som ger massa åt de andra partiklarna. Så vitt vi vet idag är alla dessa elementarpartiklar, dvs. de har ingen inre struktur. Men som det har visat sig tidigare, så kan det mycket väl finns ytterligare struktur som vi ännu inte haft tillräckligt med energi för att upptäcka.

Den här avhandlingen rör den starka kraften, som beskrivs av teorin kvantkromodynamik (QCD, från engelskans Quantum Chromodynamics). Likt den elektromagnetiska kraften, så har partiklar en laddning, som avgör hur mycket de påverkas av den starka kraften. En elektromagnetisk laddning är antingen positiv eller negativ, olika laddningar attraherar varandra och lika laddningar repellerar varandra. För QCD är det mer komplicerat, en kvark kan ha tre olika laddningar. Laddningarna kallas för färger, och de tre olika möjligheterna är röd, grön och blå. Likt elektromagnetism så har antikvarkar "negativ" färg,

anti-röd, anti-grön och anti-blå. Kvarkar går inte att observera direkt, de kan endast observeras som bundna färglösa tillstånd, baryoner och mesoner. Att QCD laddningar kallas färg kommer av att de bundna tillstånden är de kombinationer av färger som tillsammans ger en "vit" färg, vilket är en färg och dess anti-färg, eller kombinationen röd-grön-blå. Gluon kommer i åtta färger, vilket motsvarar alla kombinationer av en färg och en anti-färg bortsett från den färglösa kombinationen, röd-grön-blå.

För att beräkna tvärsnittet för en process (sannolikheten att den processen sker), behöver ta med bidraget från varje möjlig färgkombination, det vill säga tre möjliga färger för varje kvark och åtta färger för varje gluon i processen. Det blir snabbt ohanterbart, till och med för datorer, när man ökar antalet partiklar i en process. Standard metoden att hantera färgerna, använder att färgerna i QCD kommer från en symmetrigrupp, som kallas $SU(3)$. Genom att använda den matematiska teorin för grupper, så kan beräkningarna av färgernas effekt på tvärsnittet organiseras i så kallad färgbaser. I de flesta fall används så kallade spårbasen, DDM baser eller färgflödesbaser, då dessa baser har flera användbara egenskaper. Artikel I, II och IV i den här avhandlingen utforskar en annan typ av färgbas, multipletbaser. Denna typ av bas är mer involverad att jobba med än standardbaserna, men den är ortogonal, vilket är en väldigt användbar egenskap, speciellt när antalet partiklar blir stort.

I artikel III behandlas också färger i QCD, men i den artikeln används spårbasen. För att beskriva proton kollisioner på Large Hadron Collider (LHC) vid CERN, behöver man kombinera flera sätt att simulera en krock. Den första delen är att räkna ut tvärsnittet för den så kallade hårda processen. Den hårda processen karaktäriseras av att de involverade partiklarna har hög energi och är väl separerade i vinklar. Dessa tvärsnitt involverar en handfull partiklar, ofta är det två till två, eller två till tre, processer. Men detektorerna vid LHC detekterar upp till hundratals partiklar i kollisioner. Den större delen av dessa partiklar kommer från partonskurdelen av beskrivningen av kollisionen, vilken beskriver strålning som inte klassas som lika hård, det vill säga strålning med liten rörelsemängd jämfört med den hårda processen och strålning som skickas ut kollineärt. Denna strålning kommer också från QCD, och beror på färgerna av de involverade partiklarna. Eftersom partonskuren går från ett tillstånd med en handfull partiklar till ett tillstånd med hundratals partiklar, så är det beräkningsmässigt omöjligt att hantera färgdelen exakt. Därför används en approximation, att det finns oändligt många färger, istället för tre. Detta gör att färgdelen blir lättare att hantera, och partonskuren kan behandla upp till hundratals partiklar i sluttilståndet. I artikel III implementerade vi en algoritm som behandlar dom första utskicken från partonskuren med hela färgstrukturen, och sedan övergår till att använda standardapproximationen med oändligt många färger.