

VU Research Portal

Signatures of gluon saturation in high energy scattering

Wessels, E.

2009

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Wessels, E. (2009). *Signatures of gluon saturation in high energy scattering*.

General rights

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 ?

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.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

Samenvatting

Dit proefschrift handelt over de structuur van materie bij zeer hoge energieën. Naar huidig inzicht is alle materie opgebouwd uit zogenaamde elementaire deeltjes, dat wil zeggen, deeltjes die zelf geen inwendige structuur hebben. De precieze samenstelling van materie in termen van deze elementaire deeltjes volgt uit de wisselwerkingen die tussen de elementaire deeltjes bestaan.

Materie blijkt te zijn opgebouwd uit atomen, welke bestaan uit een kern met daaromheen als het ware een wolk van elektronen. De negatief geladen elektronen zijn door de elektromagnetische wisselwerking aan de positief geladen kern gebonden. De atoomkern, waarin zich overigens vrijwel alle massa van het atoom bevindt, bestaat uit protonen, die de positieve lading van de kern dragen, en ongeladen neutronen. De protonen en neutronen zijn op hun beurt opgetrokken uit quarks en gluonen. De quarks dragen naast elektrische lading ook een zogenaamde kleurlading, die maakt dat ze onderhevig zijn aan de sterke wisselwerking. Deze sterke wisselwerking, die kan worden beschouwd als een analogon van de elektromagnetische wisselwerking, zorgt dat de quarks worden samengebonden tot deeltjes als bijvoorbeeld de protonen en neutronen, wat indirect ook tot gevolg heeft dat deze kerndeeltjes samen een atoomkern kunnen vormen. Naast de elektromagnetische en sterke wisselwerking kennen we de zwakke wisselwerking en de zwaartekracht. De zwaartekracht speelt doorgaans geen rol van betekenis bij de beschrijving van elementaire deeltjes, en wordt hier dan ook buiten beschouwing gelaten. De theoretische beschrijving van de elektromagnetische, de zwakke, en de sterke wisselwerking wordt gegeven door een quantumveldentheorie die bekend staat onder de naam “standaardmodel der elementaire deeltjes”. In een quantumveldentheorie bestaan deeltjes uit aangeslagen toestanden van een fundamenteel veld. De interactie tussen de deeltjes wordt gedragen door een ander veld, waarvan de aangeslagen toestanden ook deeltjes vormen. Zo wordt de elektromagnetische wisselwerking tussen geladen deeltjes overgebracht via het elektromagnetische veld, dat wil zeggen, door fotonen. Licht bestaat bijvoorbeeld uit dezelfde fotonen. Het deel van het standaardmodel dat de elektromagnetische wisselwerking beschrijft heet quantumelektrodynamica, ofwel QED. In dit proefschrift richten we ons met name op de structuur van de kerndeeltjes, en derhalve op de beschrijving van de sterke wisselwerking—de quantumchromodynamica, afgekort tot QCD. In QCD wordt de sterke wisselwerking gedragen door de zogenaamde gluonen. Deze kunnen worden beschouwd als familieleden van de fotonen uit QED, met als belangrijk verschil dat de gluonen zelf net als de quarks kleurlading dragen, terwijl de fotonen elektrisch ongeladen zijn. De

gluonen interacteren dus niet slechts met de quarks, maar ook met elkaar. Dit maakt dat de wisselwerking tussen quarks en gluonen danig ingewikkelder is dan de wisselwerking tussen bijvoorbeeld elektronen.

QCD heeft de interessante eigenschap dat de interactie in kracht afneemt naarmate de wisselwerkende deeltjes dichter bij elkaar zitten, en juist sterker wordt wanneer deze verder van elkaar verwijderd zijn. Zodoende zitten quarks altijd samengebonden in zogenaamde hadronen, waarvan de kerndeeltjes een voorbeeld zijn. Ook zorgt deze eigenschap ervoor dat een bepaling van de precieze samenstelling van hadronen in termen van quarks en gluonen buiten de macht ligt van gebruikelijke rekenmethodes, die uitsluitend toepasbaar zijn wanneer de wisselwerking vrij zwak is. Dat is namelijk pas het geval op afstandsschalen die fors kleiner zijn dan de typische afmetingen van de hadronen zelf. De structuur van hadronen op dergelijke kleine afstandsschalen kan worden bestudeerd in verstrooiingsexperimenten bij hoge energie. Een deeltje dat in botsing komt met een hadron verstrooit dan aan een quark of een gluon binnen het hadron. Om een dergelijk proces te kunnen beschrijven moeten we dus de dichtheid van quarks en gluonen binnen het hadron kennen. Hoewel we deze dichtheden niet direct uit de theorie kunnen bepalen, valt wel te berekenen hoe ze veranderen als de energie van de botsing verandert. De vergelijkingen die dit gedrag beschrijven worden wel evolutievergelijkingen genoemd. Als we dus uit een experiment hebben bepaald wat de dichtheden van de quarks en gluonen zijn, dan kunnen we met deze evolutievergelijkingen uitrekenen wat de dichtheden zullen zijn bij andere energieën.

Hierbij stuiten we echter op een theoretisch probleem. De evolutievergelijking die beschrijft hoe de gluondichtheid afhangt van de energie, de zogenaamde BFKL vergelijking, voorspelt namelijk dat bij zeer hoge energieën deze dichtheid zo snel stijgt dat de unitariteit van de theorie in het geding komt. Dat wil zeggen dat de kans om een gluon in het hadron aan te treffen groter kan worden dan 100%. Nu is een kans die groter is dan 100% absurd, dus moeten we wel concluderen dat bij dergelijke energieën effecten een rol gaan spelen die bij het opstellen van de BFKL vergelijking over het hoofd zijn gezien. We verwachten dat als de gluondichtheid eenmaal een kritieke waarde heeft bereikt de groei zal worden afgeremd, en wel zodanig dat unitariteit behouden blijft. Dit verschijnsel wordt gluonverzadiging genoemd, en de karakteristieke energieschaal waarbij dit gebeurt heet derhalve de verzadigingsschaal. In dit proefschrift wordt nader ingegaan op de vraag of gluonverzadiging een rol speelt bij energieën die kunnen worden bereikt in huidige deeltjesversnellers. Om dit te kunnen doen nemen we eerst de theoretische beschrijving van gluonverzadiging onder de loep.

Een evolutievergelijking die mogelijk een beschrijving van gluonverzadiging biedt is de zogenaamde BK vergelijking. Wanneer de gluondichtheid klein is, is deze vrijwel gelijk aan de BFKL vergelijking, maar als de dichtheid groot wordt voorspelt de BK vergelijking een tragere groei van de dichtheid dan de BFKL vergelijking. Nu wil het geval dat er vooralsnog geen exacte oplossingen van de BK vergelijking zijn gevonden. Wel zijn enige eigenschappen van de oplossing bepaald door deze te benaderen met verscheidene theoretische technieken. Vervolgens is er in de literatuur een aantal modellen opgesteld waarin deze theoretische eigenschappen zijn verwerkt, met als doel om deze te vergelijken met experimentele resultaten.

In dit proefschrift wordt bepaald in welke mate deze semi-theoretische eigenschappen nu eigenlijk in overeenstemming zijn met de BK vergelijking in onbenaderde vorm. Om dit te doen is gebruik gemaakt van numerieke oplossingen van de BK vergelijking, die kunnen worden vergeleken met bestaande modellen. Aldus is gebleken dat niet alle verwachte eigenschappen daadwerkelijk consistent zijn met de BK vergelijking.

Daarnaast wordt geanalyseerd of de eigenschappen van de oplossing van de BK vergelijking onderscheidbaar zijn in experimentele resultaten afkomstig van de deeltjesversneller RHIC, de Relativistic Heavy Ion Collider. In tegenstelling tot eerder gemaakte beweringen in de literatuur blijkt dit niet het geval te zijn. Dit wordt gedemonstreerd aan de hand van een nieuw model dat een belangrijke eigenschap heeft die voortvloeit uit gluonverzadiging, maar toch geen van de eigenschappen bezit die worden verwacht van BK evolutie. Dit model blijkt evenwel in staat tot het beschrijven van alle experimentele gegevens van RHIC die ons ter beschikking staan. We voorspellen echter dat de nieuwe versneller LHC, de Large Hadron Collider, dermate hoge energieën kan bereiken dat deze onderscheid zou kunnen maken tussen de bestaande modellen die zijn gebaseerd op BK evolutie en het nieuwe model. Zodoende kan worden bepaald of BK evolutie, en daarmee verzadiging van de gluondichtheid, mogelijk een rol speelt bij die energieën.

Tot slot volgt een analyse van de polarisatie van zogenaamde Λ -deeltjes, deeltjes die bestaan uit drie verschillende soorten quarks, welke kunnen worden geproduceerd in hadronische botsingsexperimenten. We laten zien dat deze polarisatie gevoelig is voor de verzadigingsschaal van de gluondichtheid in de botsende hadronen, zodanig dat deze schaal direct uit metingen zou kunnen worden gereconstrueerd. Uit onze analyse blijkt dat de verzadigingsschaal bij LHC naar verwachting groot genoeg is om op deze manier te worden waargenomen, mits de experimentele gegevens voldoende nauwkeurig zijn. Derhalve vormt de polarisatie van Λ -deeltjes een uitzonderlijk directe proef van het optreden van verzadiging in hadronische botsingen.