



*The $\phi(1020)$ -meson Production Cross Section Measured with the ATLAS
Detector at $\sqrt{s} = 7$ TeV*

L. de Nooij

De werkzame doorsnede van het ϕ -meson bij $\sqrt{s} = 7$ TeV gemeten met het ATLAS experiment

Dit proefschrift presenteert de meting van de werkzame doorsnede van het ϕ -meson bij een botsingsenergie van $\sqrt{s} = 7$ TeV gemeten met het ATLAS experiment. Deze samenvatting beschrijft de inhoud van mijn proefschrift voor geïnteresseerden zonder specifieke voorkennis. Ook de motivatie voor de gedane meting wordt besproken. In de laatste paragraaf worden de conclusies uitgelegd.

De LHC en het ATLAS experiment

Net ten westen van Genève in Zwitserland ligt het onderzoekslaboratorium CERN, Conseil Européenne pour la Recherche Nucléaire. Sinds begin 2009 is op CERN de Large Hadron Collider (LHC) in gebruik. In deze versneller met een omtrek van 27 km maken bundels van protonen in twee richtingen 11000 keer per seconde rondjes. Op vier plaatsen kruisen de bundels en kunnen de protonen met elkaar in botsing worden gebracht. De LHC is de krachtigste deeltjesversneller tot nu toe gebouwd. De maximale botsingsenergie van de protonen was 7 TeV in 2010 en 2011 en 8 TeV in 2012. In die botsingen ontstaat een zeer hoge energiedichtheid, zo hoog dat er nieuwe massa kan worden gemaakt.

De deeltjes die geproduceerd worden in de botsingen zijn meestal bekende deeltjes die al door het Standaard Model der elementaire deeltjes worden beschreven, of deeltjes die door dat model voorspeld werden, maar nog niet waren geobserveerd, of misschien deeltjes die zelfs nog helemaal onbekend zijn. Want hoewel het Standaard Model de natuur op haar allerkleinste schaal met zeer grote precisie beschrijft, was het incompleet tot de ontdekking van het Higgsdeeltje in 2012.

Om de geproduceerde deeltjes te meten zijn op vier botsingspunten langs de LHC detectoren geïnstalleerd, waaronder het ATLAS experiment. In ATLAS worden deeltjes op verschillende manieren gedetecteerd; met twee soorten silicium detectoren en een detector met een gas als actief materiaal het dichtste bij de botsingen. Daarna wordt de energie van de deeltjes berekend aan de hand van de gemeten penetratiediepte in het materiaal van twee soorten calorimeters. De deeltjes die ongestoord al deze detectoren passeren worden heel precies gemeten met onder andere gasgevulde buizen die ATLAS aan de buitenkant omvatten.

Omdat de versneller 24 uur per dag, 7 dagen per week botsingen produceert, moeten de detectoren altijd operationeel zijn. De controlekamer van ATLAS is daarom permanent bemand.

Behalve de functionaliteit, wordt ook de kwaliteit van de gemeten data constant bewaakt. Ik was van januari 2010 tot en met juni 2011 verantwoordelijk voor de kwaliteit van de data gemeten met de silicium strip detector van ATLAS. Ik heb ervoor gezorgd dat de detector de transitie van de opstart fase naar continue operatie zonder grote problemen heeft gemaakt.

Het ϕ meson

Het Standaard Model der Elementaire deeltjes beschrijft de elementaire deeltjes, onder andere quarks, en de krachten tussen die deeltjes. Losse quarks komen in de natuur niet voor, ze zijn altijd gebonden in sets van twee of drie quarks. Een proton is een combinatie van twee 'up' en een 'down' quark. Combinaties van twee quarks heten mesonen. Het ϕ meson is een combinatie van een 'strange' en anti-strange quark. Het strange quark is een zwaarder broertje van het up quark.

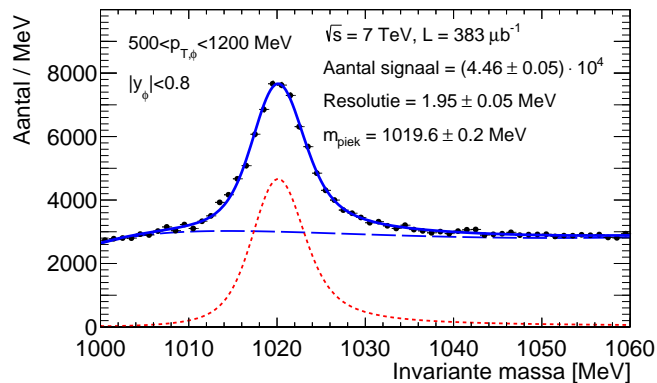
In een botsing tussen twee protonen met een botsingsenergie van 7 TeV wordt gemiddeld één ϕ -meson geproduceerd. Deze ϕ mesonen vervallen zeer snel, meestal naar twee kaonen, mesonen met een up en een strange quark. Het interessante aan ϕ -mesonen is dat ze niet alleen direct in de botsing worden geproduceerd, maar ook in de processen met lagere energieoverdracht daarna. De processen met lagere energie omzetting zijn niet exact te berekenen met wiskundige modellen en dus kan de hoeveelheid geproduceerde ϕ deeltjes niet precies worden uitgerekend. De modellen worden gekalibreerd met behulp van data, bijvoorbeeld aan de meting in dit proefschrift.

De meting

Deeltjes die in de botsingen ontstaan worden niet altijd direct door de detector gemeten, maar indirect door reconstructie van de banen die secundaire deeltjes in de detector afleggen. Een geladen deeltje dat door een materiaal gaat, verliest energie door elektromagnetische interacties. In de silicium detectoren van ATLAS wordt die energiedepositie omgezet in een elektrisch signaal. In de pixeldetector wordt ook de duur, en daarmee de grootte van het signaal en dus de hoeveelheid verloren energie, geregistreerd. Dit energieverlies heb ik gebruikt om kaonen te onderscheiden van de grote achtergrond van geladen pionen (mesonen met een up en down quark).

Omdat het ϕ meson geen elektrische lading heeft moeten de twee kaonen waarin het vervalt dus tegengestelde ladingen hebben. Door de wetten van massa-en energiebehoud toe te passen op een vervalsreactie kan de massa worden bepaald van de "moeder" van de twee kaonen. Deze massa wordt de *invariante massa* genoemd en als ik van alle paren van kaonen met tegengestelde lading de invariante massa plot, krijg ik de invariante massa piek zoals te zien in figuur S1. Combinaties die geen gezamenlijk 'moederdeeltje' hebben, of die van een ander verval afkomstig zijn, vormen de achtergrond. De paren afkomstig van de ϕ steken (zichtbaar) boven de achtergrond uit.

Om een ϕ meson te kunnen reconstrueren, moeten beide kaonen in de detector gemeten zijn en moeten ze beide als kaon geïdentificeerd zijn door hun energieverlies. Deeltjes met een te lage impuls worden niet gemeten en deeltjes met een te hoge impuls kunnen niet worden geïdentificeerd. Hierdoor is de meting slechts mogelijk in een beperkt zichtbaar gebied. Maar ook binnen dit gebied, zal een bepaalde fractie van de kaonen niet worden gemeten of geïdentificeerd. Die fracties heb ik bepaald met simulaties en botsingsdata en daarmee vervol-



Figuur S1: Om het aantal gereconstrueerde ϕ -mesonen te tellen, doe ik een fit aan het invariante massa spectrum.

gens voor de verliezen gecorrigeerd.

Resultaat

De kans op productie van een ϕ meson in een gegeven hoeveelheid botsingen is evenredig met de *werkzame doorsnede*, σ . Deze werkzame doorsnede wordt gepresenteerd als functie van de impuls en hoek. De werkzame doorsnede daalt als functie van beide, mede door de snedes op de kwaliteit van de kaonen. De geïntegreerde werkzame doorsnede in het zichtbare gebied is

$$\sigma_{\phi \rightarrow K^+K^-} = 570 \pm 8 \text{ (stat)} \pm 66 \text{ (syst)} \pm 20 \text{ (lumi)} \mu\text{b}.$$

De statistische fout neemt de onzekerheid in het tellen van het aantal ϕ mesonen in de piek en het aantal achtergrond events mee, de systematische fout is afkomstig van de berekening van de fractie niet gereconstrueerde ϕ mesonen. De systematische fout op de luminositeit is de onzekerheid op het aantal geproduceerde botsingen.

Conclusies

Ondanks dat de hoeveelheid geproduceerde strange quarks en dus het aantal ϕ mesonen niet exact te voorspellen is, beschrijven twee van de onderzochte modellen de data vrij goed, terwijl twee andere modellen de productie met ongeveer een factor twee onderschatten. De meting is vergeleken met een meting van een ander LHC experiment en komen overeen binnen de systematische onzekerheid. De werkzame doorsnede van het ϕ -meson kan worden gebruikt om simulatiemodellen te kalibreren en nieuwe modellen te testen.