



UvA-DARE (Digital Academic Repository)

Measurements on top quark pairs in proton collisions recorded with the ATLAS detector

Mussche, I.

Publication date
2012

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Mussche, I. (2012). *Measurements on top quark pairs in proton collisions recorded with the ATLAS detector*.

General rights

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

Samenvatting

In de ‘Large Hadron Collider’ (LHC) worden protonen met een hoge energie op elkaar gebotst. Met de enorme aantallen protonbotsingen die daar gemaakt worden kunnen we elementaire deeltjes, de kleinste vorm van materie die we kennen, heel precies bestuderen.

Dit proefschrift beschrijft waarom onderzoek naar topquarks belangrijk is en waarom het een voornaam onderdeel vormt van het onderzoeksprogramma van het ATLAS-experiment. Daarna volgt een beschrijving van de ATLAS-detector en de methodes om allerlei deeltjes precies te kunnen terugvinden. Vervolgens hebben we twee metingen van relevante observabelen van topquarkparen gepresenteerd. Hieronder vatten we de motivatie voor de twee metingen, de belangrijke onderdelen van de analyse en de uiteindelijke resultaten samen.

Topquarks

De huidige kennis van elementaire deeltjes en krachten wordt beschreven in wat we het ‘Standaard Model’ noemen. Deze theorie werkt erg goed, maar heeft toch een aantal tekortkomingen en daarom worden alle voorspellingen van dit model precies onderzocht en nagemeten. De topquark is één van de zes quarks in het Standaard Model, het is ongeveer 35 keer zo zwaar als het op-één-na-zwaarste quark en heeft een extreem korte levensduur van 10^{-25} seconden, voordat het vervalst. Dit maakt de topquark bijzonder.

Eén van de consequenties van de grote massa van topquarks is dat er veel energie nodig is om ze te kunnen maken, en om die reden zijn ze relatief zeldzaam. De topquark vervalst bovendien zo snel, dat we alleen indirecte metingen kunnen doen. Maar dankzij die massa is topquarkproductie ook gevoelig voor nieuwe fysicamodellen; uitbreidingen van, of alternatieven voor, het Standaard Model. In sommige van deze modellen worden zware nieuwe deeltjes (bosonen) voorspeld, die zelf weer vervallen naar een topquarkpaar: een topquark en zijn antideeltje. Dat effect zou dan weer zichtbaar zijn als bijvoorbeeld een overschot van het aantal topquarks in de detector.

De eerste meting in dit proefschrift is van de mate waarin topquarkparen worden geproduceerd, de zogenaamde ‘top quark production cross section’, ook wel de ‘topquarkdoorsnede’. De tweede analyse meet het verschil in hoekverdeling tussen de topquark en de antitopquark, de ‘top quark charge asymmetry’, ofwel de ladingsasymmetrie. Beide metingen hebben het potentieel om nieuwe fundamentele mechanismes buiten het Standaard Model bloot te leggen.

Botsingen en detectie van topquarks

In de LHC worden protons versneld en vervolgens op elkaar gebotst met een botsingsenergie van 7 TeV, ruim genoeg om de zware topquarkparen te kunnen maken. Doordat er al miljoenen protonbotsingen zijn gemaakt, zijn er, ondanks de geringe kans op het ontstaan van topquarks, naar verwachting al honderdduizenden topquarkparen gemaakt.

De ATLAS-detector (25×44 meter groot) is ontworpen om alle deeltjes in de eindtoestand van de protonbotsingen te meten. De detector bestaat uit verschillende types detectiemateriaal die in cilindervormige lagen om het botsingspunt zijn gebouwd. De verschillende subdetectoren zijn bedoeld om de richting en impuls van alle ontstane deeltjes te kunnen meten. Een eigenschap van de topquark is dat de vervalproducten bestaan uit veel types deeltjes: elektronen, muonen, hadronen en neutrino's. Gezien deze zich op verschillende manieren gedragen, hebben we voor onze metingen alle subdetectoren van ATLAS nodig om een compleet beeld van topquarks te krijgen. Neutrino's kunnen slechts indirect worden gedetecteerd, hiervoor maken we gebruik van de wet voor behoud van energie. Uit de balans van de energie in transversale richting kunnen we het afgelegde pad en de impuls van het neutrino achterhalen.

Vervalkanalen en selectie

De topquark vervalt nagenoeg altijd in een W -boson en een bottomquark, een W -boson vervalt op zijn beurt weer in een lichter quarkpaar (hadronisch verval) of een lepton-neutrino paar (leptonisch verval). Wij hebben gekeken naar topquarkparen waarvan één van de W -bosonen leptonisch vervalt en de andere hadronisch. Hier verwachten we dus vier quarks, één lepton, en één neutrino in de eindtoestand. Binnen deze groep hebben we botsingen (events) geselecteerd waarin elektronen of muonen voorkomen, dit zijn relatief makkelijk te identificeren deeltjes. Onze selectiedoelgroep vormt dus een fractie van 30% van het totale aantal topquarkpaar-events.

De analyses maken gebruik van twee onafhankelijke datasets uit 2010 en 2011. De selectievoorwaarden zijn grotendeels gelijk gebleven: we hebben events geselecteerd waarin precies één muon of elektron, minstens vier hadronische jets en een onbalans in de totale energie (neutrino) voorkomen. Daarnaast gebruiken we in sommige gevallen een techniek om bottomquarks van de andere quarks te onderscheiden.

Meting van de topquarkdoorsnede

De topquarkdoorsnede wordt gemeten met een dataset uit 2010. De analyse is gebaseerd op het onderscheiden van signaalevents (topquarks) en achtergrondruis in de invariante massaverdeling van de topquark. Deze massa kunnen we voor elk event uitrekenen als we de gemeten deeltjes associëren met de verwachte topquarktopologie. In de massaverdeling ontstaat een piek op de plek van de topquarkmassa, rond de 170 GeV. De events waar geen topquarks bij betrokken waren, of waar de associatie mislukt is laten een ander soort verdeling zien.

Van dit verschil maken we gebruik door sjablonen van signaal en achtergrond te fitten aan datasets. Dit doen we in zes subgroepen van de data, waarin steeds is geprobeerd verschillende signaal- en achtergrondverhoudingen te creëren door slimme selectie. De sjablonen worden in de zes subgroepen tegelijk gefit, zodat de onderlinge verhoudingen helpen om een schatting te maken van het totaal aantal signaalevents.

Het resulterende aantal kan worden vertaald in een meting van de doorsnede in de twee vervalskanalen en in een combinatie van deze twee:

$$\begin{aligned}\sigma_{t\bar{t}}(\text{e+jets}) &= 216 \pm 23 \text{ (stat)} \begin{matrix} +27 \\ -24 \end{matrix} \text{ (syst)} \pm 7 \text{ (lumi) pb,} \\ \sigma_{t\bar{t}}(\mu\text{+jets}) &= 161 \pm 19 \text{ (stat)} \begin{matrix} +18 \\ -15 \end{matrix} \text{ (syst)} \pm 5 \text{ (lumi) pb.} \\ \\ \sigma_{t\bar{t}}(\text{comb}) &= 183 \pm 14 \text{ (stat)} \begin{matrix} +20 \\ -18 \end{matrix} \text{ (syst)} \pm 6 \text{ (lumi) pb.}\end{aligned}$$

De theoretische waarde van de doorsnede, bij deze energie, is $158.7_{-13.5}^{+12.2}$ (scale) $_{-4.4}^{+4.3}$ (PDF) pb. Onze meting komt binnen de meetonzekerheid overeen met deze waarde.

Meting van de ladingsasymmetrie

De topquark-ladingsasymmetrie is gemeten in de dataset in 2011, met ongeveer 30 keer zoveel events als de data gebruikt voor de doorsnedemeting. In de geselecteerde events maken we gebruik van dezelfde reconstructiemethode om de gemeten objecten te associëren met de vervalsproducten van topquarks. Hieruit volgt ook de rapiditeit van de topquarks, de hoek die de topquark en de antitopquark maken met de protonenbundel. We definiëren de ladingsasymmetrie als $A_{int} = |y_t| - |y_{\bar{t}}|$, het verschil tussen de absolute waarde van de rapiditeit van de top- en antitopquarks. Het Standaard Model voorspelt een waarde van $A_{int} = 0.001 \pm 0.006$, maar in nieuwe-fysicamodellen kan deze asymmetrie veel groter zijn.

Nadat we de verwachte achtergrondruis van de geselecteerde data hebben afgetrokken, en voor eventuele onverwachte detectoreffecten, hebben gecorrigeerd meten we de asymmetrie weer in de twee kanalen, en in de gecombineerde mode.

$$\begin{aligned}A_{int}(\text{e+jets}) &= 0.074 \pm 0.058(\text{stat}) \pm 0.023(\text{syst}), \\ A_{int}(\mu\text{+jets}) &= -0.024 \pm 0.050(\text{stat}) \pm 0.026(\text{syst}), \\ \\ A_{int}(\text{comb}) &= 0.014 \pm 0.038(\text{stat}) \pm 0.024(\text{syst}).\end{aligned}$$

De gemeten waardes vallen samen met de theoretische voorspelling en hiermee kunnen extreme waardes van de asymmetrie kunnen worden uitgesloten. De onzekerheden in de meting zijn nog relatief groot. We hebben we laten zien dat met de data die momenteel

Samenvatting

beschikbaar komt er eventueel al gedeeltes van nieuwe fysicamodellen kunnen worden uitgesloten met eenzelfde soort meting, of anders aanwijzingen voor de correctheid van deze modellen kunnen worden gevonden.

Conclusie

De conclusie van deze twee metingen is dat binnen de precisie die we hebben kunnen bereiken de voorspellingen van het Standaard Model worden bevestigd. Dat betekent dus dat deze theorie stand houdt, ook bij deze niet eerder onderzochte botsingen met de hoge energie van 7 TeV. Met de hoeveelheden data die op moment van schrijven worden verzameld, komt een ontdekking of uitsluiting van een groot gedeelte van alternatieve modellen heel dichtbij.