



UvA-DARE (Digital Academic Repository)

Top quark pair production cross-section in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV

Tsiakiris, M.

Publication date
2012

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Tsiakiris, M. (2012). *Top quark pair production cross-section in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV.*

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

Het Standaard Model is de basistheorie voor deeltjesfysica. Het beschrijft de interacties tussen de elementaire deeltjes van materie en door de jaren heen is het zeer succesvol gebleken in deze taak. De theorie voorspelde onder andere het bestaan van nieuwe fundamentele deeltjes, zoals het W^\pm , het Z en de top-quark. Echter, het Standaard Model wordt niet beschouwd als een complete theorie, omdat veel vragen nog niet worden beantwoord door dit model. De Large Hadron Collider is gebouwd met als doel deze vragen te onderzoeken en te beantwoorden. Als 's werelds meest energetische deeltjesversneller –protonen worden op elkaar gebotst met de enorme energie van 7 TeV (8 TeV in 2012, 13 TeV verwacht in 2014)– maakt de LHC experimenten mogelijk die regio's in de fase-ruimte verkennen die voorheen niet in kaart konden worden gebracht. Met andere woorden, het stelt fysici in de gelegenheid het Standaard Model nog verder te testen, maar het maakt ook de weg vrij naar geheel nieuwe ontdekkingen.

Motivatie

In dit proefschrift hebben we een eerste meting van de werkzame doorsnede van top-quark paarproductie gedaan, met behulp van gegevens van de botsingen in de LHC, gemeten met de ATLAS-detector. Het doel achter deze analyse van de werkzame doorsnede is:

- i. Om Quantum Chromodynamica te testen en de geldigheid van het Standaard Model op de botsingsenergie van de LHC vast te stellen.
- ii. Om het ATLAS-experiment te testen op de mogelijkheden op het identificeren van een complexe botsingssignatuur in een enorme hoeveelheid achtergrondprocessen.
- iii. Om een houvast te bieden voor de analyses die modellen te verkennen buiten het Standaard Model, waarvoor top-quark paarproductie een achtergrond vormt.

Triggering op de gebeurtenissen

Een van de belangrijkste aspecten van de analyse was het selecteren van de geschikte set botsingsdata. Deze selectie wordt meestal gescheiden in de 'online' en 'offline' selectiefases.

De online-selectie, ook wel bekend als *triggering*, wordt uitgevoerd door gespecialiseerde algoritmes (triggers) die starten zodra de subdetectoren botsingsproducten hebben geregistreerd. Botsingen *events* die worden afgewezen door alle algoritmes worden onmiddellijk verwijderd, terwijl de events die worden geaccepteerd door ten minste één algoritme worden opgeslagen in massa-opslagsystemen voor verdere verwerking in de offline analyse. Het triggeren van events heeft als nadeel dat het een selectie-efficiëntie oplegt aan de uiteindelijke meting, die op zijn beurt nauwkeurig gemeten moet worden. Aan de andere kant is het absoluut noodzakelijk voor de werking van de opslagsystemen om de gegevens te filteren en zo te beschermen tegen enorme hoeveelheden events, waarvan de meeste toch niet van belang zijn.

Voor het meten van de werkzame doorsnede hebben we gekozen voor een 'single-lepton' trigger voor zowel het muon- als het elektronkanaal ($t\bar{t}(\mu)$ of $t\bar{t}(e)$, respectievelijk), met daarop een voorwaarde voor de minimale transversale impuls (p_T) van het lepton.

Met de eerste gegevens, verzameld van april 2010 tot en met juli 2010, hebben we de prestaties van de *muon* trigger hard- en software gemeten, door het bekijken van een aantal single-lepton triggers. Deze controles werden uitgevoerd op basis van een dataset waar alleen de aanwezigheid van een muon vereist was, zonder deze kinematische eisen op te leggen. We hebben de zogenaamde *turn-over curves*, de efficiëntie van de trigger ten opzichte van de p_T van de muonen, gemeten. En daarnaast hebben we de resolutie van de algoritmes in verschillende p_T gebieden gemeten door het afschatten van de residueverdeling. Uit de resulterende plots bleek een goede prestatie van de trigger en een redelijke overeenkomst tussen de meetgegevens en simulatie. De waargenomen verschillen zijn allemaal geïdentificeerd en we hebben oplossingen verstrekt die voorrang geven aan een maximale efficiëntie. Ten slotte hebben we een methode voor het schatten van de trigger-efficiëntie met data-gedreven technieken *data-driven methods* gepresenteerd. Data-gedreven technieken voor het afschatten van de efficiëntie zijn noodzakelijk in gevallen waarbij een meetafwijking door kinematische effecten kan worden verwacht. We hebben de *tag-and-probe* methode, die is gebaseerd op de identificatie van $Z \rightarrow \mu\mu$ kandidaten, onderzocht. In deze methode eisen we dat de events zijn geselecteerd door een single-muon trigger (tag) om vervolgens het aantal keren dat het tweede muon daadwerkelijk getriggerd was te tellen (probe).

Het analyseren van de dataset

Nadat events zijn geselecteerd door de trigger, hebben we de dataset verder gereduceerd door specifieke kinematische snedes in te voeren. Deze snedes zijn gebaseerd op de verwachte signatuur van de single-lepton $t\bar{t}$ events en het doel hiervan is om de verhouding van signaal tot achtergrond te verhogen.

Omdat de top-quark in bijna alle gevallen vervalst in een W boson en een bottom-quark, vormen de $t\bar{t}(\mu)$ en $t\bar{t}(e)$ topologieën, het signaal in deze analyse, het resultaat van één W boson dat leptonisch vervalst en één W boson dat hadronisch vervalst. Daarom bevatten signaal events dus een energetisch, geladen lepton (elektron of muon), de neutrino-partner van het lepton, twee jets afkomstig van gehadroniseerde (lichte) quarks, en twee jets afkomstig van b -quarks die uitsluitend B -hadronen vormen. Naast deze objecten kunnen er extra jets worden geproduceerd als gevolg van straling van de begin- of eindproducten van de botsing (initial state radiation; ISR, final state radiation; FSR). De b -jets zijn een sterk instrument in de selectie, omdat de lange levensduur van B -hadronen (ongeveer 1,6 picoseconden) een secundaire interactievertex kan vormen en het zo goed mogelijk maakt om ze te identificeren.

De identificatie van de complexe $t\bar{t}$ topologie is een uitdagende taak is voor de detector. Aangezien alle technologieën gebruikt worden voor dit type events, worden hiermee effectief alle mogelijkheden van de detector getest. Voor elektronen maken we gebruik van tracking en calorimetrie, voor muonen van tracking en muon-spectrometrie. Voor jets wordt ook calorimetrie gebruikt, en tracking is nodig voor b -jets. Als laatste kunnen we de energiecomponent van de neutrino vinden door het meten van de energieafwijking, de balans van de totale waargenomen energie in de transversale richting die wordt gemeten met behulp van alle detectorcomponenten.

De template-fit methode

Voor de analyse van de werkzame doorsnede wordt een zogenaamde template-fit (sjabloon-fit) toegepast. We scheiden de dataset in vier exclusieve kinematische regio's; ten eerste door het aantal hoge p_T jet in de 'exact-drie' jets en de 'tenminst-vier' jets regio's, en aan de hand van het aantal geïdentificeerde b -jets in de 'exact-nul' b -jets (no-tag) en de 'tenminst-één b -jet (tagged) regio. De fit maakt gebruik van twee elementen: de *b-tagging rates* bij elke

jet multipliciteit regio, en de *vorm-sjablonen* van de *hadronische top-quark massa*, in elk van de vier kinematische gebieden. Al deze parameters zijn zowel voor signaal als achtergrond bepaald, maar voor de de laatstgenoemde uit data-gedreven technieken. Uiteindelijk hebben we gefit voor de relatieve verhouding van signaal en achtergrond in elk gebied en van het aantal signaal events hebben we de totale werkzame doorsnede van top-quark paarproductie kunnen bepalen.

We hebben de hadronische top-quark massa verkregen door het vinden van de top-quark met een hadronische eindtoestand, namelijk diegene waarbij het W boson hadronisch vervalt. De hadronisch vervallende top-quark resulteert in drie jets. Vanwege het grote aantal jets die gewoonlijk in events worden gevonden, is de beste kandidaat gedefinieerd als de drie-jet combinatie waarbij de vectorsom van de jet p_T maximaal is. Van deze drie jets wordt dan de invariante massa (M_{jjj}) geschat.

Voor het verkrijgen van het sjabloon van de achtergrond hebben we een methode ontwikkeld die de QCD multi-jet bijdrage vergroot door eenvoudigweg alleen de lepton-eisen om te draaien. Alle andere snedes op de dataset blijven onveranderd. We hebben laten zien dat de vorm van M_{jjj} niet verandert onder deze aanpassing, door het te vergelijken met de dataset die onder normale omstandigheden is verkregen. Vervolgens hebben we aangetoond dat het aantal events in de dataset aanzienlijk verhoogd is ten voordele van de achtergrondprocessen en er maar een minimale bijdrage van het signaal overblijft.

Resultaten en vooruitzichten

Uit de definitieve resultaten van de fit bleek dat de experimentele meting voor proton-proton botsingen bij $\sqrt{s} = 7$ TeV in goede overeenstemming is met de theoretische verwachtingen. Dit blijkt uit figuur 1 waarbij de resultaten van de meting van beide onderzochte kanalen en voor de combinatie wordt weergegeven.

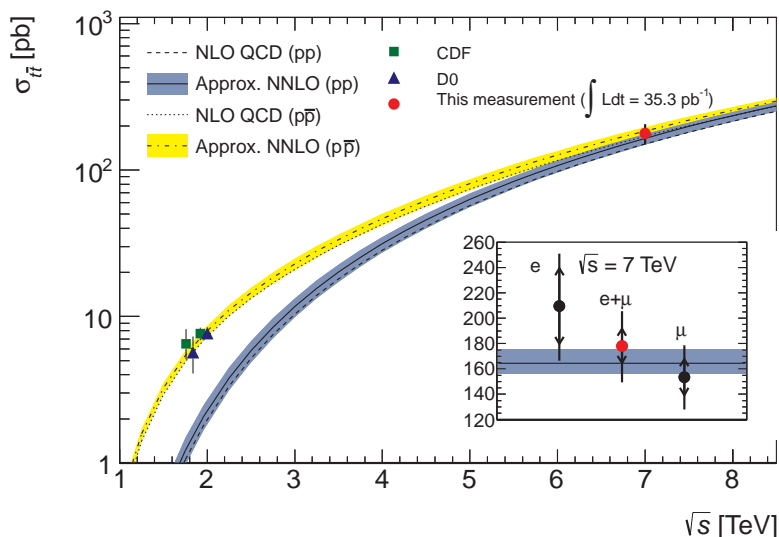


Figure 1: De $t\bar{t}$ productie werkzame doorsnede zoals voorspeld door de theorie (in de veronderstelling $M_{top} = 172.5$ GeV) ten opzichte van de energie van $p-p$ en $p-\bar{p}$ botsingen (lijnen), de metingen gedaan door CDF, D0 van de Tevatron versneller (vierkant en driehoekpunten) en de meting verricht in dit proefschrift (cirkels) met $\int \mathcal{L} dt = 35.3 \text{ pb}^{-1}$ van $p-p$ botsingen geleverd door de LHC aan de ATLAS detector. De foutenmarges tussen de pijlen geeft de statistische bijdrage aan de onzekerheid weer.

De vermelde onzekerheid op deze meting wordt beschouwd als gelijkwaardig aan de andere metingen, wat gezien de in vergelijking beperkte hoeveelheid aan botsinggegevens aangeeft dat de mogelijkheden van de detector spectaculair zijn. Met betrekking tot mogelijke verbeteringen van de meetmethode: meer gegevens verzameld door de detector helpen zeker om de statistische onzekerheid te verkleinen maar zorgen ook voor betere ijkingen en toepassing van efficiëntere data-gedreven technieken. Bovendien kan de simulatie geoptimaliseerd worden met de kennis die is verkregen met meer data, waardoor de systematische onzekerheden beter in de hand kunnen worden gehouden.