

Ph.D. Dissertation

**Study of top quark mass
measurement using J/ψ in b-jets**

by

Geonmo Ryu

Department of Physics

The Graduate School of the University of Seoul

February 2017

Study of top quark mass measurement using J/ψ in b-jets

by
Geonmo Ryu

A Ph.D. Dissertation submitted to the
Department of Physics at the Graduate School
of the University of Seoul in partial fulfillment
of the requirements for the degree of Doctor of
Philosophy

December 2016

Approved by
Inkyu Park
Advisor

**This certifies that Ph.D. dissertation of
Geonmo Ryu is approved.**

Thesis Committee Chair: Hyunsoo Min

Thesis Committee Member: Inkyu Park

Thesis Committee Member: Jason Lee

Thesis Committee Member: Tae Jeong Kim

Thesis Committee Member: Youn Jeong Noh

The Graduate School of the University of Seoul

February 2017

Abstract

Study of top quark mass measurement using J/ψ in b-jets

Geonmo Ryu

Department of Physics

The Graduate School

University of Seoul

On Standard Model, a top quark is heaviest elementary particle. In addition, the top quark has largest mass uncertainty. Therefore, to measure top quark mass is valuable and can help to search beyond standard model or to precisely measure some particle's properties which decay into top quark. After discovery of top quark in 1995, many measurement were developed and improved. In recent years, for di-leptonic decay channel, analytic solution was published and measured to precise top quark mass. However, this method has a limitation about jet energy uncertainty. As collision energy will go higher, the jet energy uncertainty also will bigger than now due to background and pileup energy. So, we

need to explore another solution to overcome this limitation. To measure top quark mass by using c mesons from b quark jet is presented as an alternative solution. It can minimized jet energy uncertainty

Ph.D. Dissertation

**Study of top quark mass
measurement using J/ψ in b-jets**

by

Geonmo Ryu

Department of Physics

The Graduate School of the University of Seoul

February 2017

Table of Contents

Abstract	4
Table of Content	i
List of Figures	iv
List of Tables	v
제 1 장 Introduction	1
제 2 장 Theoretical overview of the analysis	2
1 Top and anti-Top pair(ttbar) production at 13TeV	2
2 Decay channel about ttbar event	2
3 c quark mesons from b quark jet	2
제 3 장 Previous measurement of top quark mass	3
1 Mass measurement from Tevatron	3

TABLE OF CONTENTS

1.1	Result from Tevatron	3
2	Mass measurement from LHC	3
2.1	Combination results from LHC	3
2.2	Similar method results	4
제 4 장	Large Hadron Collider(LHC)	5
제 5 장	CMS Detector	6
1	Tracker	6
2	Calorimeter	7
3	Electromagnetic Calorimeter	7
4	Muon System	7
4.1	DT and CSC	7
4.2	RPC and GEM	7
제 6 장	Computing	8
1	GRID Computing for LHC experiment	8
1.1	LHC Computing Grid(LCG)	8
1.2	Middleware	9
1.3	Dataset and Data Aggregation System	9
1.4	SRM protocol and ROOT FileSystem	9
1.5	PhEDEx : Large Size File Transfer System	9

TABLE OF CONTENTS

2	System Setup at UOS	10
제 7 장	Analysis	11
1	Dataset and Event Selection	11
2	Monte Carlo Information	11
3	Particle Selection	11
4	Result plots	11
5	Systematics	11
제 8 장	Conclusion	12
	참고문헌	13

List of Figures

List of Tables

제 1 장

Introduction

A top quark is an important elementary particle to research particle physics. Because, it

제 2 장

Theoretical overview of the analysis

1 Top and anti-Top pair($t\bar{t}$) production at 13TeV

Production channel

2 Decay channel about $t\bar{t}$ event

c

3 c quark mesons from b quark jet

제 3 장

Previous measurement of top quark mass

1 Mass measurement from Tevatron

1.1 Result from Tevatron

mass :

2 Mass measurement from LHC

2.1 Combination results from LHC

mass :

제 3 장. PREVIOUS MEASUREMENT OF TOP QUARK MASS

2.2 Similar method results

제 4 장

Large Hadron Collider(LHC)

제 5 장

CMS Detector

1 Tracker

Fireworks는 주로 노트북에서 효과적으로 사용되는 물리학 분석도구로 만들어진 이벤트 디스플레이 프로그램이다. 주로 집과 CERN을 왕래하는 물리학자들이 이를 사용할 수 있도록 만들어졌다. 그러나 대체로 노트북 환경이 그렇듯 대부분 인터넷에 연결이 안 되거나 느리고 노트북의 성능이 충분하지 못한 경우가 많아 가벼운 애플리케이션을 필요로 하였다. 제한된 저장공간과 실행은 애플리케이션 사이즈와 효율적인 데이터 접근을 필요로 하였다. 이러한 모든 환경을 고려하여 Fireworks가 만들어지게 되었다.

2 Calorimeter

3 Electromagnetic Calorimeter

Fireworks 이벤트 디스플레이는 CMSSW 환경이나 단독 tarball에서 실행된다. CMSSW에서 단독 모드에서는 설치된 경로에서 cmsShow 실행파일을 실행할 때 절대경로(예를 들어 ./cmsShow)로 지정하여야 한다. 단독 tarball에는 2개의 샘플 데이터 파일 data.root와 mc.root가 있다. Fireworks의 실행방법은

4 Muon System

4.1 DT and CSC

4.2 RPC and GEM

Fireworks 프로그램의 화면은 그림 과 같다.

제 6 장

Computing

1 GRID Computing for LHC experiment

1.1 LHC Computing Grid(LCG)

The Collision data which are produced from CMS detector are too big by handle small size cluster. Thus, many computing resource were required to analysis. However, to buying and gathering resources into specific regions is not efficiency due to cost problem. So, GRID computing was developed to solve this problem.

On GRID computing, a user

제 6 장. COMPUTING

1.2 Middleware

1.3 Dataset and Data Aggregation System

1.4 SRM protocol and ROOT FileSystem

1.5 PhEDEx : Large Size File Transfer System

본 연구에서는 두 가지 연구 주제로 GEM검출기에서 검출된 뮤온 입자의 표시와 GEM검출기를 디스플레이하는 것을 구현하였으며, 그 원리 및 결과에 대해서도 설명하였다.

본 연구를 통해 Fireworks에서 GEM검출기 관련 데이터가 표시 안 되는 문제를 해결할 수 있게 되었다. 시각화 소프트웨어인 Fireworks는 물리학자들이 사용하기 쉬운 인터페이스를 제공했다. GEM검출기 형태 및 GEM 검출 결과를 알아볼 수 있게 되어 연구 및 이해를 하는 데 도움이 되었다. 이를 통해 기본적인 GEM 관련 기능이 완성될 수 있었다.

필자의 연구를 이어 받아 앞으로 시립대의 CMS 연구팀에 의해 Fireworks 내에서의 GEM 관련 기능이 추가되고 이에 대한 활발한 연구가 이루어지기를 기대한다. 또한 앞으로 새 버전의 Fireworks를 이용하여 CMS GEM 연구에 많은 도움이 되기를 기대한다.

제 6 장. COMPUTING

2 System Setup at UOS

제 7 장

Analysis

1 Dataset and Event Selection

2 Monte Carlo Information

3 Particle Selection

4 Result plots

5 Systematics

지금까지 유럽 CERN에서 시행하고 있는 입자가속기를 이용한 연구 중 뮤온 입자를 검출하기 위해 CMS의 GEM검출기에서 나온 결과를 시각화하는 연구를 시행했다.

제 8 장

Conclusion

지금까지 유럽 CERN에서 시행하고 있는 입자가속기를 이용한 연구 중 뮤온 입자를 검출하기 위해 CMS의 GEM검출기에서 나온 결과를 시각화하는 연구를 시행했다.

국문초록

한글 초록 주요어휘: LHC, CMS, 탑 쿼크, J/ψ 중간자

감사의 글

석사 학위논문을 쓰는 데 많은 격려와 도움을 주신 많은 분들께 깊은 감사를 드립니다. 석사과정 동안 저를 지도해주신 박인규 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 박인규 교수님은 학위논문을 쓰는 데 필요한 물리학에 대해 많은 지도를 해주셨습니다. 그동안 부족한 저를 관심을 가지고 지도해 주셔서 감사합니다. 연구와 강의를 하시느라 바쁘신 와중에도 논문을 심사해 주신 심사위원장이신 민현수 교수님, 심사위원이신 박동수 교수님께 정말 감사 드립니다. 교수님들께서 신경써 주신 덕분에 보다 훌륭한 논문을 작성할 수 있었습니다. 물리학과 노재동 교수님, 손주혁 교수님, 유병덕 교수님, 이주한 교수님, 장영준 교수님, 최은집 교수님, 한문섭 교수님, Douglas Leonard 교수님도 저에게 많은 가르침을 주셨습니다.

이상훈(Jason Lee) 초빙교수님은 이 논문을 완성하는 데 실질적으로 많은 도움을 주었습니다. 부족한 점이 있을 때마다 지적해 주시고 격려해 주신 이상훈(Jason Lee) 초빙교수님께 깊은 감사를 드립니다. 이 논문을 완성하는 데 많은 도움을 준 류건모 박사과정 후배님에게도 고마운 마음을 전합니다. 김지현 박사님, 류민상 박사님께서도 논문을 만드는 데 많은 도움을 주셨습니다. 석사논문을 만드는 데 시작부터 끝까지 일정을 점검해주신 양현미 조교님, 연구를 하는 데 필요한 컴퓨터 환경을 만들어 준 박원일 사무원님, 연구비 관련 지원을 해준 김태희 사무원님께 감사합니다. 같은 연구실 내 석사과정 이장배, 최기진 후배님과 연구실을 들릴 때마다 덕담을 해주신 김준식 박사님, 박사과정 박상남 선배님께도 감사합니다. 그 외 CMS 연구실 분들 및 다른 물리학과

감사의 글

연구실 분들께 감사 드립니다. 모두들 가까이서 저를 이끌어 주고 연구를 하는 데 많은 힘이 되어 주었습니다. 이분들의 도움이 없었다면 논문이 완성되기 어려웠을 것입니다.

세상에서 가장 저를 아껴주시는 부모님께도 말로 다할 수 없는 감사를 드립니다. 부모님은 대학원에서 자유롭게 연구할 수 있도록 물심양면으로 묵묵히 저를 도와주셨습니다. 마지막으로 논문 번역 및 편집, 교정에 많은 도움을 주고 언제나 곁에 있어준 최정미에게 고마운 마음을 전합니다.