

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ФИЗИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Предраг М. Ћирковић

**ПРОУЧАВАЊЕ  
ПРОДУКЦИЈЕ ХИГС БОЗОНА  
ПРИДРУЖЕНОГ ПАРУ ТОП КВАРКОВА  
У ЕКСПЕРИМЕНТУ CMS У CERN-У**

докторска дисертација

Београд, 2016

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF PHYSICS

Predrag M. Cirkovic

**STUDIES OF  
HIGGS BOSON PRODUCTION  
ASSOCIATED TO A TOP QUARK PAIR  
IN THE CMS EXPERIMENT AT CERN**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2016

Ментор:

- др ...; научни сарадник; Универзитет ..., Институт/Факултет

Чланови комисије:

- проф. др ...; редовни професор; Универзитет ..., Институт/Факултет
- ...

Датум одбране: ...

Ова докторска дисертација представља резултат једне од активности Српске CMS групе у периоду између 2013. и 2016. године. ...

# Проучавање продукције Хигс бозона придруженог пару топ кваркова у експерименту CMS у CERN-у

## *Сажетак*

У овој дисертацији представљени су резултати истраживања продукције Хигс бозона Стандардног модела (SM) придруженог пару топ кваркова ( $t\bar{t}H$ ). ...

Кључне речи: физика високих енергија, ...

Научна област: Физика

Ужа научна област: Физика високих енергија и нуклеарна физика

# Studies of Higgs boson production associated to a top quark pair in the CMS experiment at CERN

## *Abstract*

In this dissertation, the search for the production of the Standard Model (SM) Higgs boson associated with the  $t\bar{t}$  pair ( $t\bar{t}H$ ) is presented. ...

Keywords: high energy physics, ...

Academic Expertise: Physics

Field of Academic Expertise: High energy physics and nuclear physics

# Садржај

|   |            |
|---|------------|
| <b>Предговор и захвалница</b>                                 | <b>iv</b>  |
| <b>Сажетак</b>  | <b>v</b>   |
| <b>Abstract</b>   | <b>vi</b>  |
| <b>Садржај</b>  | <b>vii</b> |
| <b>1 Увод</b>   | <b>1</b>   |
| <b>2 Теоријска поставка</b>                                   | <b>2</b>   |
| 2.1 Хигс бозон у СМ . . . . .                                 | 2          |
| 2.1.1 Хигс потенцијал и нарушење глобалне симетрије . . . . . | 2          |
| <b>3 Разрада</b>  | <b>4</b>   |
| 3.1 Досадашњи резултати потрага за Хигс бозоном . . . . .     | 4          |
| 3.2 Мотивација за проучавање процеса $ttH$ . . . . .          | 5          |
| <b>4 Резултати и дискусија</b>                                | <b>7</b>   |
| 4.1 Резултати . . . . .                                       | 7          |
| <b>5 Закључак</b>   | <b>8</b>   |
| <b>I Наслов додатка</b>                                       | <b>9</b>   |
|   | <b>vii</b> |

## *Садржај*

---

**II Наслов додатка** **10**

**Литература** **11**



# Поглавље 1

## Увод

Стандардни модел (СМ) представља општеприхваћену физичку теорију која описује све елементарне честице у природи и њихове међусобне интеракције.

...

## Поглавље 2

### Теоријска поставка

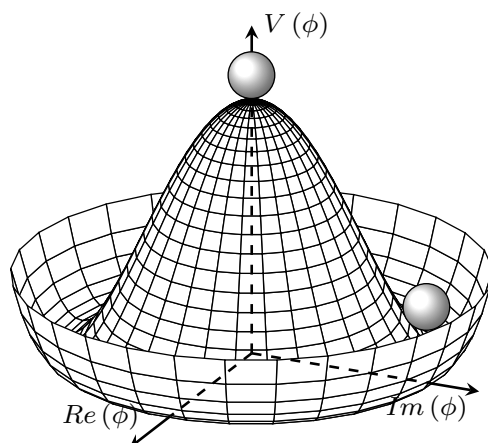
...

#### 2.1 Хигс бозон у СМ

##### 2.1.1 Хигс потенцијал и нарушење глобалне симетрије

Хигс поље, илустровано на Сл. 2.1, представља скаларни потенцијал у облику ”мексичког шешира”. Описано је једначином (2.1) у којој се појављују чланови са иминарном масом ( $\mu^2 < 0$ ) и  $\lambda > 0$ .

$$V(\phi) = \mu^2(\phi^*\phi) + \lambda(\phi^*\phi)^2 \quad (2.1)$$



Слика 2.1: Облик Хигс потенцијала  $V(\phi) = \mu^2(\phi^*\phi) + \lambda(\phi^*\phi)^2$ , код којег су  $\mu^2 < 0$  и  $\lambda > 0$ .

...

# Поглавље 3

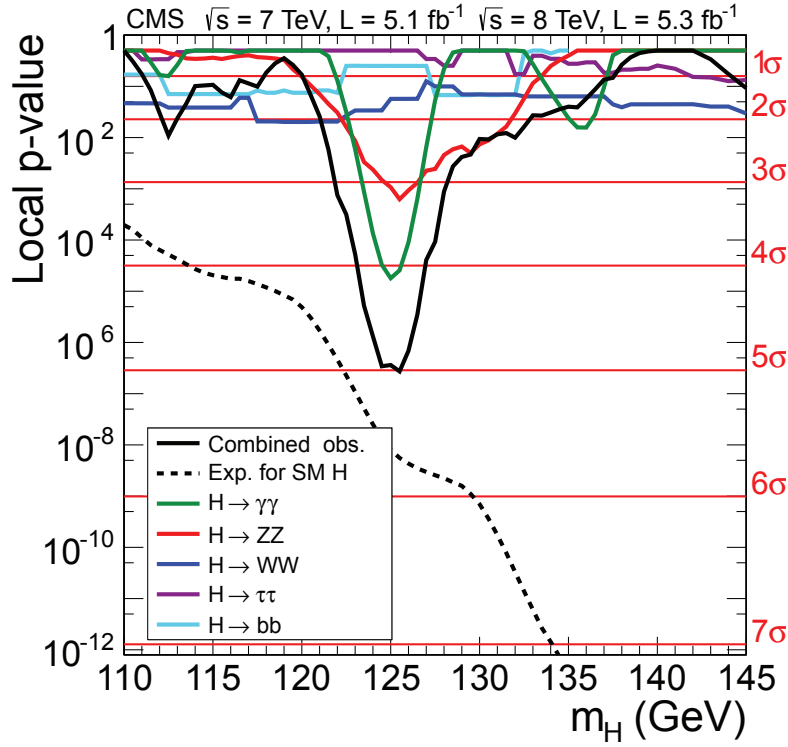
## Разрада

### 3.1 Досадашњи резултати потрага за Хигс бозоном

У циљу изучавања физике СМ претходних деценија предлагани су и коришћени су различити експерименти и акцелераторске машине.

...

Регистровани сигнал, мерен у односу на референтни ниво фона, најизраженији у каналима распада  $H \rightarrow \gamma\gamma$  и  $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ , одређен је са укупним статистичким значајем од  $5\sigma$ . То је показано на Сл. 3.1 [1], на којој је дато поређење дијаграма зависности  $p$ -вредности за различите канале распада Хигс бозона ( $H \rightarrow \gamma\gamma, ZZ, WW, \tau\tau$  и  $bb$ ), као и дијаграм који одговара комбинацији тих канала (*Combined obs.*).



Слика 3.1:  $p$ -вредност у зависности од масе Хигс бозона добијена анализом експерименталних података са експеримента CMS [1].  $p$ -вредност је мера статистичког значаја добијена тестирањем одређене хипотезе, чија вредност одговара вероватноћи да одређени догађај не представља последицу статистичких флукуација.

...

## 3.2 Мотивација за проучавање процеса $t\bar{t}H$

...

У Таб. 3.1 дат је преглед коначних стања и одговарајућих услова селекције физичких објеката за сваку од анализа  $t\bar{t}H$  на енергији  $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ .

### Поглавље 3. Разрада

ТАБЕЛА 3.1: Преглед канала, коначних стања и основних услова селекције коришћених у анализи  $t\bar{t}H$ . У првој колони, канали распада Хигс бозона класификовани су према типу распада (хадронски, фотонски или лептонски); у другој колони, коначна стања описана симболички тако да  $l$  представља лептон (електрон или мион),  $\gamma$  - фотон,  $j$  - џет,  $b$  - џет идентификован да је настао из  $b$  кварка,  $\tau_h$  - џет настао хадронским распадом  $\tau$  лептона. У трећој колони су приказани одговарајући тригери коришћени за преселекцију догађаја, а у четвртој колони дат је преглед основних услова селекције реконструисаних физичких објеката [Khachatryan:2014qaa].

| Category   | Signature   | Trigger                  | Signature   |
|--|---|--------------------------|---|
| <b><math>H \rightarrow \text{Hadrons}</math></b><br>$H \rightarrow b\bar{b}$<br>$H \rightarrow \tau_h\tau_h$<br>$H \rightarrow WW$ | Lepton + Jets<br>( $t\bar{t}H \rightarrow l\nu jj bbb$ )  | Single Lepton            | $1\ e/\mu, p_T > 30\text{ GeV}$<br>$\geq 4\text{ jets} + \geq 2\text{ b-tags}, p_T > 30\text{ GeV}$   |
|  | Dilepton<br>( $t\bar{t}H \rightarrow l\nu l\nu bbb$ )   | Dilepton                 | $1\ e/\mu, p_T > 20\text{ GeV}$<br>$1\ e/\mu, p_T > 10\text{ GeV}$<br>$\geq 3\text{ jets} + \geq 2\text{ b-tags}, p_T > 30\text{ GeV}$  |
|  | Hadronic $\tau$<br>( $t\bar{t}H \rightarrow l\nu\tau_h[\nu]\tau_h[\nu]jjbb$ )                                       | Single Lepton            | $1\ e/\mu, p_T > 30\text{ GeV}$<br>$2\ \tau_h, p_T > 20\text{ GeV}$<br>$\geq 2\text{ jets} + 1\text{-}2\text{ b-tags}, p_T > 30\text{ GeV}$   |
| <b><math>H \rightarrow \text{Photons}</math></b><br>$H \rightarrow \gamma\gamma$   | Leptonic<br>( $t\bar{t}H \rightarrow l\nu jjbb\gamma\gamma$ ,<br>$t\bar{t}H \rightarrow l\nu l\nu bb\gamma\gamma$ ) | Diphoton                 | $2\ \gamma, p_T > m_{\gamma\gamma}/2\ (25)\text{ GeV for }1^{\text{st}}\ (2^{\text{nd}})$<br>$\geq 1\ e/\mu, p_T > 20\text{ GeV}$<br>$\geq 2\text{ jets} + \geq 1\text{ b-tags}, p_T > 25\text{ GeV}$ |
|  | Hadronic<br>( $t\bar{t}H \rightarrow jjjjbb\gamma\gamma$ )  | Diphoton                 | $2\ \gamma, p_T > m_{\gamma\gamma}/2\ (25)\text{ GeV for }1^{\text{st}}\ (2^{\text{nd}})$<br>$0\ e/\mu, p_T > 20\text{ GeV}$<br>$\geq 4\text{ jets} + \geq 1\text{ b-tags}, p_T > 25\text{ GeV}$      |
| <b><math>H \rightarrow \text{Leptons}</math></b><br>$H \rightarrow WW$<br>$H \rightarrow \tau\tau$<br>$H \rightarrow ZZ$           | Same-Sign Dilepton<br>( $t\bar{t}H \rightarrow l^\pm\nu l^\pm[\nu]jj[j]bb$ )  | Dilepton                 | $2\ e/\mu, p_T > 20\text{ GeV}$<br>$\geq 4\text{ jets} + \geq 1\text{ b-tags}, p_T > 25\text{ GeV}$   |
|  | 3 Lepton<br>( $t\bar{t}H \rightarrow l\nu l[\nu]l[\nu]j[j]bb$ )   | Dilepton,<br>Trielectron | $1\ e/\mu, p_T > 20\text{ GeV}$<br>$1\ e/\mu, p_T > 10\text{ GeV}$<br>$1\ e(\mu), p_T > 7(5)\text{ GeV}$<br>$\geq 2\text{ jets} + \geq 1\text{ b-tags}, p_T > 25\text{ GeV}$                          |
|  | 4 Lepton<br>( $t\bar{t}H \rightarrow l\nu l\nu l[\nu]l[\nu]bb$ )  | Dilepton,<br>Trielectron | $1\ e/\mu, p_T > 20\text{ GeV}$<br>$1\ e/\mu, p_T > 10\text{ GeV}$<br>$2\ e(\mu), p_T > 7(5)\text{ GeV}$<br>$\geq 2\text{ jets} + \geq 1\text{ b-tags}, p_T > 25\text{ GeV}$                          |

## Поглавље 4

# Резултати и дискусија

### 4.1 Резултати

У овом поглављу дат је кратак преглед коначних резултата анализе продукције  $t\bar{t}H$  у експерименту CMS, за вредност масе Хигс бозона од 125 GeV.

...

## Поглавље 5

### Закључак

У овој дисертацији представљени су резултати прве потраге за процесом  $t\bar{t}H$  са детектором CMS на укупној енергији  $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$  у сударима протона на акцелератору LHC у CERN-у.

...



# **Додатак I**

## **Наслов додатка**

Текст додатка.

## **Додатак II**

### **Наслов додатка**

Текст додатка.

# Литература

- [1] Serguei Chatrchyan *et al.*, “Observation of a new boson with mass near 125 GeV in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  and 8 TeV”, *JHEP* 06 (2013), p. 081. DOI: 10.1007/JHEP06(2013)081. arXiv: 1303.4571 [hep-ex].