

# BÖYÜK ADRON SÜRƏTLƏNDİRİCİSİNDƏ HIQQS BOZONU İLƏ BİRLİKDƏ YARANAN TƏK TOP-KVARKLARIN MODELLƏŞDİRİLMƏ PROSESLƏRİ

N.A. HÜSEYNOV

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutu,  
Azərbaycan, Bakı, H. Cavid pr.131, Az-1143

Tək top kvarkla Hiqqs bozonunun birgə yaranması top kvark Yukava qarşılıqlı təsir sabitinə həssas olan yeganə kanaldır. Monte Karlo modelləşmə metodu əsasında kanalda  $pp \rightarrow tHqb$  prosesinin mümkünlüyü axtarılmış, fonda itirilmiş və qeyd olunmamış siqnallar üçün meyarlar paketi təklif olunmuşdur.

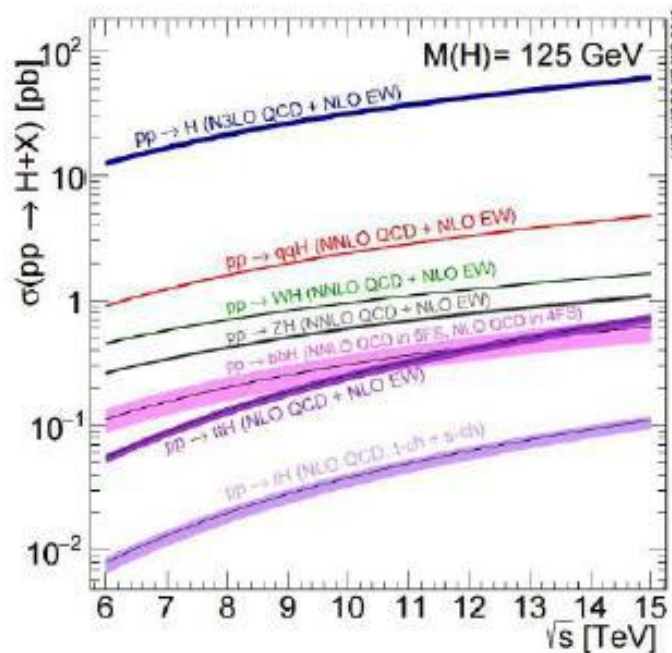
**Açar sözlər:** Hiqqs bozonunun yaranması, böyük adron sürətləndirici, Yukava qarşılıqlı sabiti, Monte-Karlo metodu.  
**PACS:** 12.60.-i

## 1. GİRİŞ

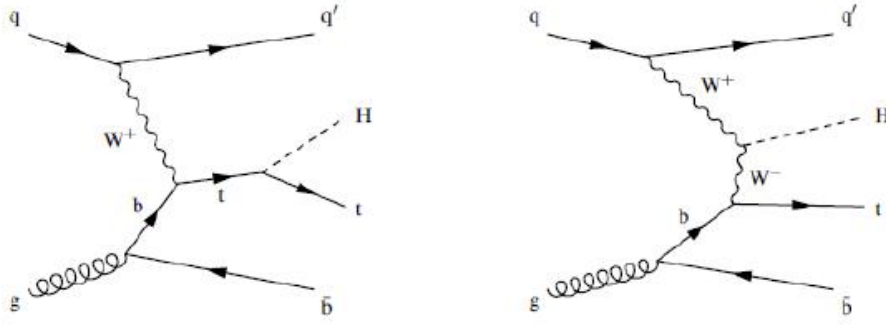
Böyük adron sürətləndiricisində (LHC) Hiqqs bozonunun tapılması “standart modelin (SM) elektrozəif qarşılıqlı təsirinin” təkmilləşdirilməsinə son qoydu [1, 2]. Sürətləndiricidən alınan bütün eksperimental nəticələr standart modelin təxminləri ilə mükəmməl uyğunluq təşkil edir. Müasir dövrdə yüksək enerjilər fizikasının əsas tədqiqat istiqamətində hissəciklərin xassələrini dəqiq ölçmək və nəzəriyyənin təxminlərindən kənara çıxan kiçik qarşılıqlı təsirləri axtarmaq üçün standart modelin xaricində baş verən hadisələr dayanır. Hiqqs bozonunun tədqiqi sahəsində, standart modelin xaricindəki hadisələrdə onun kütləsini, enini, yaranmanın en kəsiyini və səpilmənin ehtimalını, yukava qarşılıqlı təsir sabitini ölçmək olar. Hiqqs bozonunun ən ağır top kvark fermionlar ilə qarşılıqlı təsirinə daha böyük maraq göstərilir. Bu qarşılıqlı təsir sabitinin  $y$ , mütləq dəyəri birbaşa  $pp \rightarrow ttH$  kanalda ölçməklə alınmışdır və xətti olmayan  $H \rightarrow \gamma\gamma$  parçalanmasında ölçülmüşdür.

Lakin göstərilmişdir ki, kanallar Yukava qarşılıqlı təsir sabitinin işarəsini hiss etmir, ya da böyük ehtimalla onun kompleks fazasıdır. Bu həssaslıq Hiqqs bozonu ilə eyni anda yaranan  $pp \rightarrow tHqb$  top kvarkların en kəsiklərinin ölçülməsi ilə müəyyən edilir. Şəkil 1-də proton-proton toqquşmasında yaranan Hiqqs bozonunun fərqli kanallardakı en kəsikləri göstərilmişdir.

Böyük adron sürətləndiricisində ən böyük en kəsiyi olan dörd kanal müşahidə olunmuşdur: birləşmiş qluonlar  $gg \rightarrow H$  kanalı, birləşmiş vektorial bozonlar  $VV \rightarrow H$  (burda  $V$ -  $W$  və yaxud  $Z$  vektorial bozonlardır) kanalı, vektorial bozonlarla eyni anda yaranan  $pp \rightarrow VH$  kanalı və top kvark çütləri ilə eyni zamanda yaranan  $pp \rightarrow ttH$  kanalı.  $pp \rightarrow tHqb$  proses Hiqqs bozonu ilə eyni zamanda yaranan top kvarkların çox kiçik en kəsikdə yaranması ilə xarakterizə olunur və hələ də müşahidə olunmamışdır. Şəkil 2-də ilk sırada bu proseslər üçün Feynman diaqramının həyəcənlaşma nəzəriyyəsi təsvir edilmişdir.



Şəkil 1.  $pp$  toqquşma enerjisinin yaranan Hiqqs bozonunun en kəsiyindən asılılığı.



Şəkil 2.  $pp \rightarrow tHqb$  prosesinin Feynman diaqramı.

Standart modelin hesablanmalarına görə, hər iki diaqramın nəticəsi destruktiv interfeysdə yerləşir (kompleks faza matris elementlərinə ziddir) və  $pp \rightarrow tHqb$  (təxminən 13 TeV enerjili toqquşmalar üçün 0.054 pb) prosesinin kiçik en kəşik qiymət alması ilə izah edilir. Standart modelin effektiv olmayan böyüdülmüş ITC (Inverse Top Coupling- tərs top kvark qarşılıqlı təsiri) modelində də top kvarkların Yukava qarşılıqlı təsir sabitinin qiyməti, standart modeldə olduğu kimi eyni dəqiqliyə malikdir, amma işarəsinə ziddir. Bu modeldə  $pp \rightarrow tHqb$  prosesinin en kəşiyi, demək olar ki, standart modelin təxminlərini keçir. LHC məlumatlarında bu en kəşikdə proseslərin müşahidə olunması, ITC modelində indi xüsusilə diqqət doğurmaqdadır.

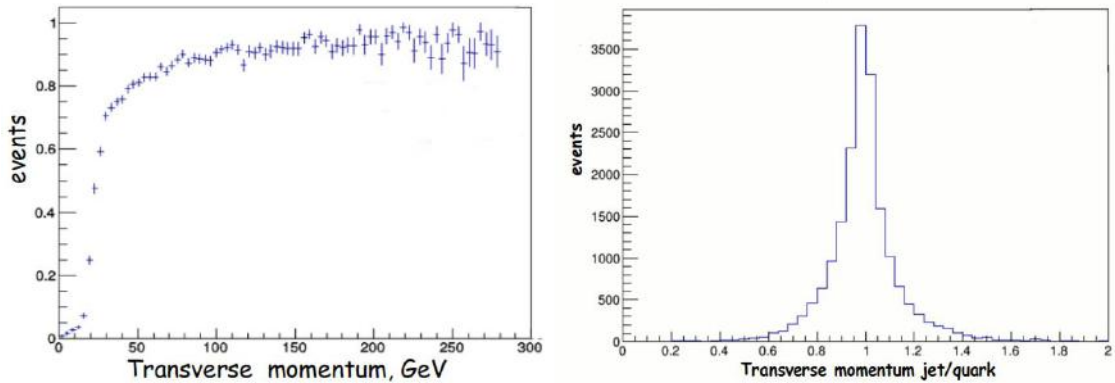
Hazırkı dövrdə seçilmiş standart modeldə bu proseslər çox nadir hallarda baş verir və onun müşahidə olunması üçün çoxlu böyük statistikanın toplanması tələb olunur. Beləliklə, Hiqqs bozonu ilə birlikdə müşahidə olunan tək top kvarkların “standart modelin xaricindəki hadisələrin” mövcudluğunun birmənalı göstəricisi olardı.

## 2. FON VƏ SİQNALLARIN DELLƏŞDİRİLMƏSİ

Təcrübələrin daha dəqiq modelləşdirilməsi eksperimental qurğunun bütün xüsusiyyətlərinin dəqiq izahını, eksperimental məlumatların yenidən qurulmuş program tətbiqini, analizlərin həyata keçirilməsini və bu kimi eksperimentlərin istifadəsini nəzərdə tutur. Təqdim olunan işin əsas məqsədi hal-hazırda böyük ad-

ron sürətləndiricisində  $pp \rightarrow tHqb$  prosesindən toplanmış məlumatların təqribi qiymətləndirilməsinin mümkünlüyünü müəyyən etməkdən ibarətdir. Buna görə də, modelləşdirmə zamanı növbəti sadələşdirilmiş yaxınlaşma tətbiq olunmuşdur. Hadisədə siqnal və fonun yaranması Madgraph generatorunun köməyi ilə modelləşdirilmişdir. Protonun struktur funksiyası CT [5] ədəbiyyatında dörd kvarklı aromat yaxınlaşması ilə təsvir edilmişdir. Protonun selvari yayılması və hadronlaşma PYTHIA8 paketi ilə modelləşdirilmişdir [6]. Hissəciklərin qeyd və bərpa olunması təcrübə qurğuda modelləşdirilməmişdir. Yüklü leptonların analizi zamanı modelləşdirilmiş generatorların “həqiqi” xarakteristikasından istifadə olunmuşdur. Adronlaşma məhsullarının “həqiqiliyi” əsasında adron seli DELPHES [7] paketi ilə bərpa olunmuşdur. Şəkil 3-də protonların effektiv bərpa olunma seli (bərpa olunan sel sayının tam sayı olan nisbəti), həmçinin protonların enerjisinin bərpa olunma dəqiqliyi (sellərin enerji nisbətləri və onları yaranan protonlar) göstərilmişdir.

$t \rightarrow bW \rightarrow bl\nu_l$  ( $l$ -elektron və yaxud mion) top kvark parçalanmasında neytrionun çarpaz impulsu əks işarə ilə alınmış selin cəmlənmiş çarpaz impuls vektorları və yüklü leptonları ilə təyin olunmuşdur. Neytrionun impuls komponenti  $p_z$  uzantısı (impulsun dəstə oxuna nəzərən proyeksiyası)  $W \rightarrow l\nu_l$  parçalanma kinetikasına görə təyin olunmuşdur (iki mümkün həlldən top kvark parçalanma məhsullarının invariant kütləsinin  $M=172.5$  GeV/ $c^2$  nominal dəyərə yaxın olması seçilmişdir). Siqnal kimi 13 TeV enerjili  $pp \rightarrow tHqb$  prosesi modelləşdirilmişdir.



Şəkil 3. Solda: selin bərpa olunma effektivliyinin onların çarpaz impulsundan asılılığı. Sağda: selin enerjisinin protonların enerjisinə nisbəti.

Bu proseslər iki nəzəri model, “Standart modelin təxminlərindən və ITC modeli çərçivələrində istifadə olunmuşlar. Modelləşdirilmiş analiz məlumatları lepton kanalı üzrə  $t \rightarrow b l \nu_l$  parçalanmış top kvarklara və ən çox yayılmış  $H \rightarrow bb$  kanal üzrə Hiqqş bozonunun  $tHqb$  siqnal hadisələrini seçməyə yönəlmişdir. Hadisənin fonu olaraq top kvarkların leptonlardan parçalanması və daha minimum iki  $b$ -kvark olması qəbul edildi. Fonun modelləşdirilməsində son hal kimi prosesləri  $tt$ ,  $tbb$  (top kvark cütünün yaranması,  $b$ -kvark cütü ilə birlikdə antikvark və antikvark),  $ttH$  (Hiqqş bozonu ilə birlikdə yaranan iki top kvark),  $tZqb$  (siqnaldan yalnız Hiqqş bozonunu  $Z$  bozonu ilə əvəz etməklə fərqlənir) və  $ttZ$  ( $Z$ -bozonu ilə birlikdə yaran iki top kvark) olmuşdur.

Son  $tt$  halında bir  $b$ -kvark “çatışmazlıq”, bu fonda çox vacib böyük en kəsikdir. Bu hadisədə  $t \rightarrow bcs$  kanalı üzrə bir top kvarkın parçalanması ola bilər, bu seldə eksperimental qurğuda  $c$ -kvarkların bərpə olunması  $b$ -kvarklardakı kimi ola bilər. ATLAS və CMS təcrübələrinin təqribən 12%-də  $c$ -kvarkların səhv identifikasiyası baş verir [8, 9]. Buna görə də,  $tt$  hadisəsində  $c$ -kvarklarına uyğun gələn hissə xəta şəklində  $b$ -kvark sayı kimi identifikasiya olunur. Fonun başqa mənbələri üçün bu şəkildə xətalı identifikasiya modelləşdirilməmişdir. Cədvəl 1-də siqnal və fon proseslərinin en kəsiyi verilmiş və hər bir proses üçün modelləşdirilmiş hadisələrin sayı göstərilmişdir.

Cədvəl 1.

(SM və ITC) modelində generasiya siqnallarının sayı və fon proseslərin üçün en kəsiklər (bütün parçalanma kanalları nəzərə alınmaqla).

Proses	SM	ITC	$tt$	$tbb$	$ttH$	$ttZ$
Kəsik	0,541	0,732	746	8,917	0,088	0,063
Hadisələr (min.)	100	100	1000	100	100	100

### 3. HADİSƏLƏRİN SEÇİLMƏSİ

Hadisədəki siqnallar növbəti əlamətlərinə görə xarakterizə olunur: top kvark parçalanmada çarpaz impulsu böyük tam bir lepton alınır; yüklü lepton və çarpaz impuls selindən bərpə olunan böyük çarpaz impulsu neytrino;  $b$ -kvarklardan dörd sel (ikisi Hiqqş bozonunun parçalanması, biri top kvark parçalanması, digəri isə qluyon ayrılması, şəkil 2); toqquşma kanalında kiçik bucaq altında yüksək enerjili kvarkların selin səpilməsi nəticəsində bərpə olunan; olunmayan və ya kiçik miqdarda digər sellər.

Müvafiq olaraq seçilmiş hadisələr üçün növbəti meyarlar tətbiq edilmişdir.

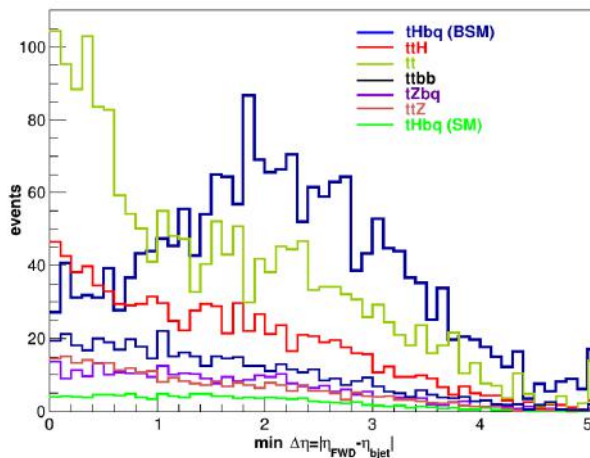
- Çarpaz impulsu 25 GeV/c-dən böyük olan önəmli leptonun olması; əgər hadisədə digər leptonlar varsa, onların çarpaz impulsu 15 GeV/c-ni keçməməlidir;
- Çarpaz impulsu ən azı 45 GeV/c olan bərpə olunmuş neytrinonun mövcudluğu;

-  $b$ -kvarklarda 3 və ya 4 selinin, həmçinin  $c$ -kvarkların yanlış identifikasiyası mövcudluğunun yenidən qurulması;

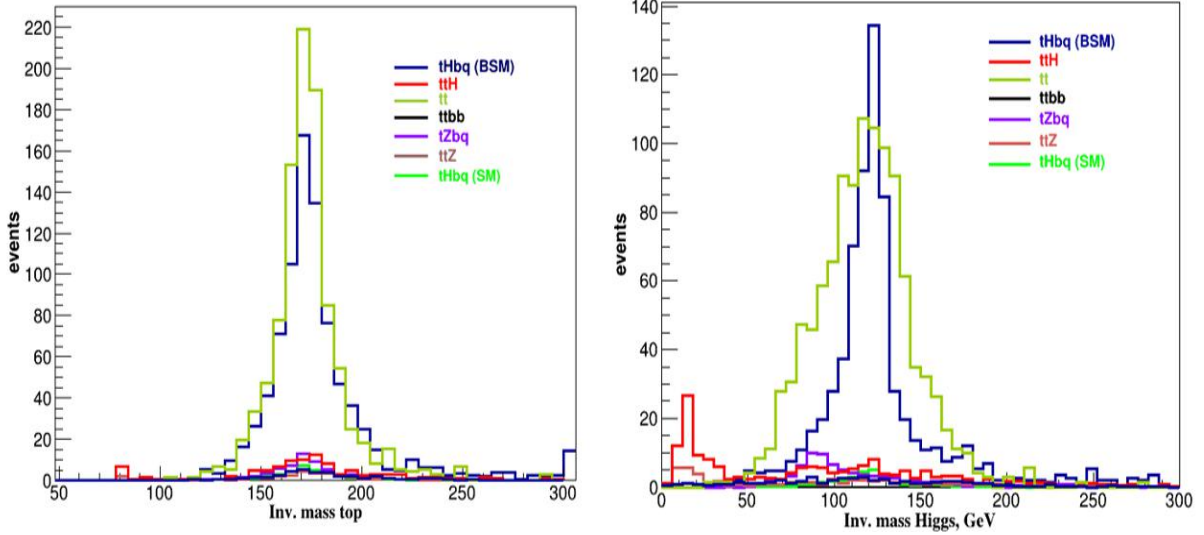
- İrəlidəki oblastda çarpaz impulsu 30 GeV/c-dən çox olan psevdocəld  $\eta > 2.0$  ən azı bir selin yenidən qurulması;

- Digər sellərin sayı (yuxarıda göstərilənlərdən başqa) dördü keçməməlidir. İrəlidəki oblastda ITC siqnalları üçün sel ilə psevdocəld və istənilən seldəki  $b$ -kvarklar arasındakı fərq 1.5 keçməməlidir [10,11]. ITC modelində bu tip siqnallar üçün xarakteristik “cəldlik” vardır. Şəkil 4-də fon və siqnal üçün bu paylanmanın dəyişməsi göstərilmişdir.

- Ən sonda Hiqqş bozonunun  $H \rightarrow bb$  və top kvark  $t \rightarrow b l \nu_l$  parçalanması yenilənmiş olmalıdır. Parçalanma məhsullarında kütlə invariantlığı  $155 < M_t < 180 \text{ GeV}$  və  $90 < M_H < 135 \text{ GeV}$  şərtləri ilə qarşılaşdırılmalıdır. Şəkil 5-də invariant kütlələrin paylanması göstərilmişdir.



Şəkil 4. "Cəldlik sınıması" - ön bölgədəki sel ilə  $b$ -kvarkdan ona ən yaxın olan sel arasındakı psevdocəldliklərin fərqi. Paylanmalar  $140 \text{ fb}^{-1}$  parlaqlığa normallaşdırılır,  $tt$  və  $tbb$  əlavələri əlavə olaraq 50 dəfə azalır.



Şəkil 5. Top kvark parçalanma məhsullarında (solda) və Higgs bozonunda (sağda) kütlə invariantlığı. Paylanma 140 Fb parlaqlığa görə normallaşdırıldı,  $tt$  və  $ttbb$  nəticələri 25 dəfə azalmışdır.

#### 4. NƏTİCƏ

Seçilmiş hadisələrin təbii nəticələri ümumilləşdirilmiş halda cədvəl 1 də təsvir edilmişdir. Cədvəldən görüldüyü kimi  $pp \rightarrow bb$  prosesi fonun əsas mənbəyidir.  $B$ -kvarkların əskik olmasına baxmayaraq  $ttbb$  hadisəsində fonu əhəmiyyətli şəkildə keçir. Qalan mənbələr ümumi fonda yalnız kiçik bir artıma kömək edir. Beləliklə, 140 Fb integral parlaqlığı nəzərə alaraq, ATLAS

və CMS eksperimentlərinin hər birindən yığılmış fon hadisələrinin sayı 33000 seçilmiş hadisədən keçir. Standart modeldə 36, ITC modelində isə 856 seçilmiş hadisədən ibarətdir. Fonda siqnalın keçmə dərəcəsi  $S/N$  formulu ilə qiymətləndirmək olar.  $S$ -siqnal,  $B$ -fon standart kənarçıxmaların sayında dəyəri ifadə edir. Cədvəl 2-dəki məlumatlarda ITC modelinin siqnal dərəcəsinin 4.7, ST modelinin isə 0.2-dan ibarət olması göstərilmişdir.

Cədvəl 2.

Fon prosesləri və siqnallar üçün 140 Fb integral parlaqlıqda hadisələrin sayının və effektivliyinin seçilməsi.

Proses	SM	ITC	$tt$	$ttbb$	$ttH$	$tZqb$	$ttZ$
Effektivlik(%)	3,78	6,16	0,22	0,39	0,96	3,34	0,91
Hadisələr $140 \text{ fb}^{-1}$	36	856	31000	2000	99	84	30

Beləliklə, ITC modeli, hal-hazırkı LHC yığılmış məlumatlarına əsaslanaraq, ya aşkar oluna bilər, ya da əksinə inkar olunur. Eyni zamanda,  $ST$  modelə siqnalın

müəyyən edilməsi üçün təkrarlanmış statistikanın artırılması tələb olunur.

- [1] ATLAS Collaboration. Phys. Lett., 2012, B 716, 1.
- [2] CMS Collaboration. Phys. Lett., 2012, B 716, 30.
- [3] F. Demartin et al. Eur. Phys.J. 2015. C75:267.
- [4] M. Herquet et al. Nuclear Physics B-Proceedings Supplements. 2008, vol. 179-180, p. 211-217.
- [5] H.-L. Lai et al.. Phys. Rev. 2010, D 82, p. 074024.
- [6] T. Sjöstrand et al. Computer Physics Communications. 2015, vol. 191, p. 159-177.
- [7] The DELPHES 3 collaboration, de Favereau, J., Delaere, C. et al. J. High Energ. Phys. 2014. 57. [https://doi.org/10.1007/JHEP02\(2014\)057](https://doi.org/10.1007/JHEP02(2014)057)
- [8] I. Connelly. EPJ Web Conf. 2017, vol. 164. p. 07025
- [9] CMS Collaboration. CMS-PAS-BTV-15-001. <https://cds.cern.ch/record/2138504/files/BTV-15-001-pas.pdf>
- [10] O.A. Koval, I.R. Boyko and N. Huseynov. EPJ Web Conf. , 2014, vol. 201, p. 04003.
- [11] O.A. Koval, I.R. Boyko and N. Huseynov. AIP Conference Proceedings. 2019, vol. 2163, p. 030008.

**N.A. Huseynov**

**MONTE-CARLO STUDY OF HIGGS BOSON PRODUCTION IN ASSOCIATION  
WITH A SINGLE TOP QUARK AT THE LHC**

The Higgs boson production in association with a single top quark is the only channel sensitive to the sign of the Yukawa coupling constant of the top quark. Based on Monte Carlo simulation, was considered that possibility of searching for a channel  $pp \rightarrow tHq$  and offer a set of criteria for signal extraction and background suppression.

**Н.А. Гусейнов**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АССОЦИАТИВНОГО РОЖДЕНИЯ БОЗОНА ХИГГСА  
С ОДИНОЧНЫМ ТОП-КВАРКОМ НА БОЛЬШОМ АДРОННОМ КОЛЛАЙДЕРЕ**

Рождение бозона Хиггса совместно с одиночным топ-кварком является единственным каналом, чувствительным к знаку константы юкавовского взаимодействия. На основе моделирования методом Монте-Карло рассмотрена возможность поиска канала  $pp \rightarrow tHq$  и предложен набор критериев для выделения сигнала и подавления фона.

*Qəbul olunma tarixi: 10.03.2021*