Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi
Fen Bilimleri Dergisi (CFD), Cilt 37, No. 4 (2016)
ISSN: 1300-1949

Cumhuriyet University Faculty of Science
Science Journal (CSJ), Vol. 37, No. 4 (2016)
ISSN: 1300-1949

http://dx.doi.org/10.17776/csj.74928

6-Boyutlu Anomal $tq\gamma$ Çiftleniminin Foton İndüklü Süreç ile 100 TeV Kütle Merkezi Enerjisinde İncelenmesi

Salih Cem İNAN

Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 58140 Sivas Türkiye

Received: 25.10.2016; Accepted: 02.11.2016

Özet. Bu makalede üst kuarkın çeşni değişimine izin veren 6-boyutlu anomal $tq\gamma\ (q = u, c)$ çiftlenimleri $pp \to p\gamma\gamma p \to pt\bar{q}p$ süreci ile 100 TeV kütle merkezi enerjisine sahip hadron çarpıştırıcısı için incelenmiştir. Ayrıca çalışmada üst kuarkın çeşni değişim bozumlarının etkileride göz önünde bulundurulmu ştur. Buna ek olarak %95 güveninirlik düzeyinde üst kuarkın dallanma oranı için duyarlılık sınırları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Foton indüklemeli reaksiyon, LHC, üst kuark

Probe of dimension-6 anomalous $tq\gamma$ couplings at the 100 TeV center of mass energy in photon induced reactions

Abstract. It has been searched the flavor changing top quark physics on the dimension-6 anomalous tqγ (q=u,c) couplings through the process pp→pγγp→ptq̄p at the hadron collider which have 100 TeV center of mass energy . Also in this paper, it has been examined the effects of top quark decay. The sensitivity limits on t→qγ branching ratio have been obtained at the 95% confidence level for the effective Lagrangian method.

Keywords: Photon-iduced reaction, LHC, top quark.

I. GİRİŞ

Üst kuark Standart Model'in (SM) en buyuk kutleli ve en az bilinen parcacıgıdır. Bu kuarkın kütlesi elektrozayıf simetri-kırılma mertebesindedir [1–3]. Ayrıca, üst kuarkın yeni fizik modellerinin öngördüğü parçacıklarla etkileşiminin daha büyük olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, üst kuarkın araştırılması yeni fizik için önemli ipuçları verebilir [4]. Yeni fiziğin varlığı üst kuarkın üretildiği süreçlerin tesir kesitini ve üst kuarkın bozunum genişliğini değiştirebilir. SM 'de ağaç seviyesinde üst kuarkın çeşni değiştiren nötral akım (ÇDNA) ile $t \to q\gamma\ (q = u, c)$ bozunumu mümkün değildir. Bu nedenle bu tür bozunumlar literatürde çok fazla çalışılmaktadır. Üst kuarkın bu tür bozunumu ancak halka düzeyinde meydana gelebilir. Ancak, ilgili bozunum Glashow-Iliopoulos-Maiani (GIM) mekanizması nedeniyle baskılanır. Dolayısıyla, ÇDNA bozunumunun dallanma oranı $\approx 10^{-14}$ mertebesinde, yani çok küçük çıkar. Bu sebeble, bu bozunumun SM'de beklenen değerinden en küçük bir sapma SM ötesinde yeni fizik için önemli bir ipucu olabilir. Bu motivasyonla, ÇDNA bozunumları literatürde çok farklı yeni fizik modelleri için çalışılmıştır. Bunlara örnek olarak; tekli-kuark modeli [8–10], iki-Higgs ikilisi modeli [11–16], minimal süpersimetrik model [17–23], sümersimetri modeli [24], teknicolor modeli [25] ve ek boyutlu modeller verilebilir [26, 27].

* Corresponding author. *Email address:* sceminan@cumhuriyet.edu.tr

 ©2016 Faculty of Science, Cumhuriyet University

Üst kuarkın ÇDNA çiftlenimlerinin yeni fiziğe etkisi model bağımsız etkin operatör yöntemiyle verilebilir. Bu yöntemin özü, SM'i parçacık fiziğinin daha temel bir modelinin düşük enerji limiti olarak varsaymaktır. Bu yöntem son derece geneldir ve yeni fiziğin enerji ölçeğinden bağımsızdır. Buchmüller ve Wyler'e ürettiği formülasyona göre [28] bu etkin operatörler SM'in ayar simetrisi olan $SU(2)_L \times U(1)_Y$ simetrisine uymalıdır. Bu bakış açısıyla en genel etkin lagranjiyen aşağıdaki formda yazılabilir.

$$L = L_{SM} + \frac{1}{\Lambda} L^{(5)} + \frac{1}{\Lambda^2} L^{(6)} + O\left(\frac{1}{\Lambda^3}\right). \quad (1)$$

Bu denklemde, Λ yeni fiziğin enerji ölçeği, L_{SM} SM lagranjiyeni, $L^{(5)}$ ve $L^{(6)}$ ise tüm 5-boyutlu ve 6-boyutlu operatörlerdir. Daha önce bahsedildiği gibi bu operatörler SM ayar simetrisi altında değişmez kalmalıdır. Beş boyutlu lagranjiyen lepton ve baryon sayısı korunumunu bozar. Bu nedenle, makalede beş boyutlu operatörler dikkate alınmamıştır. 6-boyutlu operatörlerin listesi çok uzundur. [29, 30] makalesinde $tqV\ (V:\gamma, Z)$ etkileşimine katkı veren operatörleri kullanarak etkin lagranjiyeni aşağıdaki şekilde elde etmiştir,

$$L_{\gamma tq} = -g_e \bar{q} \frac{i\sigma^{\mu\nu} q_\nu}{m_t} (\lambda^L \gamma_L + \lambda^R \gamma_R) t A_\mu + H.c.. \quad (2)$$

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ) yüksek ışınlıkta yüksek enerjili proton-proton çarpışmalarının gerçekleşmesini sağlar. Bu nedenle çok zengin bir istatistiksel veriye ulaşılır. BHÇ 'nin yeni fizikle ilgili bir çok soruya cevap vermesi beklenmektedir. Bununla birlikte, ultraperipheral etkileşmeler ve esnek çarpışmalar merkezi dedektörlerin sınırlı rapiditelerinden dolayı yakalanmayabilir. Bu sebepten, ATLAS ve CMS grupları ileri fizik için yeni dedektörler tasarlamıştır. Be yeni dedektörler çarpışmadan sonra bozulmadan kalan ileri yönde hareket eden protonları yakalarlar. Bu protonlar belli bir miktar momentum kaybederler ve bu kayıp $\xi = (|E| - |E'|)/|E|$ ile belirlenir. Bu ifadede E gelen protonun enerjisi, E′ ise ileri yönde hareket eden parçalanmamış protonların enerjisidir. Bu yeni dedektörlere çok ileri dedektör adı verilir (ÇİD). Bu ek dedektörler ileri protonları yakalayabilmek için etkileşme noktasından 220 m - 420 m uzağa yapılması planlanmaktadır.

ÇİD'ler ile yüksek enerjili foton-foton, foton-proton süreçleri ile ilgili çalışmalar yapmak mümkün olacaktır. Bu durum, yeni fizik araştırmaları için bir sürü yeni seçeneklerin doğmasını sağlayacaktır. *pp* derin esnek-olmayan saçılması (DES), protonların partonlara bozunmasından dolayı çok yoğun bir arka plana sahiptir. Bu durum SM'in ötesinde yeni fiziğin araştırılmasını zorlaştırır. Bununla birlikte, $\gamma\gamma$ veya γp çarpışmaları DES'e göre daha az arka plana sebebiyet verir. Ayrıca, $\gamma\gamma$ çarpışmaları QCD etkileşmelerini içermediğinden en temiz süreçlerdir.

BHÇ'nin Higgs bozonunu bulmasına benzer bir çok başarısına rağmen daha bir çok sınanmamış teori vardır. Bu nedenle daha yüksek enerjilere çıkılmasına bilim insanları ihtiyaç duymaktadır. Gelecek 20-50 yıl içerisinde BHÇ'nin zengin araştırma kapasitesinin çok ötesinde yeni hızlandırıcı merkezleri yapılması planlanmaktadır. BHÇ 'nin ötesinde yeni hızlandırıcı fikirleri özellikle Higgs bozonunun 2015 yılında keşfinden sonra iyice artmış, bir çok grup bu konuda çaba göstermeye başlamıştır. Bir çok seçenekten bir tanesi, CERN'deki FCC-hh projesini ve

Çin'deki IHEP tarafından deskteklenen SppC projesini kapsayan ve 100 TeV kütle merkezi enerjisine sahip olması planan hızlandırıcıdır. Planlanan bu hızlandırıcı ayrıca çok yüksek ışınlık değerine sahiptir. LHC'de beklenen en yüksek ışınlık değeri L = 200fb^{-1} iken bu değer yeni yapılması planlanan hızlandırıcıda L = 3ab^{-1} değerine ulaşabilmektedir. 100 TeV'lik *pp* çarpıştırıcısının fizik potansiyeli son zamanlarda çalışılmakta ve literatürde her geçen gün yeni çalışmalar ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmalar bir çok cevap arayan soruyu irdelemekte ve keşif için yeni seçenekleri gün yüzüne çıkarmaktadır [31]. Böyle 100 TeV'lik bir kütle merkezi enerjisine sahip bir pp hızlandırıcısına kurulacak ileri detektörler ile $\gamma\gamma$ veya γp çarpışmaları mümkün olacaktır. Bu temiz arka plana sahip süreçler ile SM ötesi yeni fiziğin çok daha kapsamlı bir şekilde yapılabileceği aşikardır.

II. PROTON-PROTON ÇARPIŞTIRICISINDA FOTON-FOTON ETKİLEŞMESİ

ÇİD'ler giden bozulmamış protonları $\xi_{min} < \xi < \xi_{max}$ aralığında belirleyebilir. Bu aralık ÇİD'lerin kabullenimi olarak adlandırılır. Bu makinalar merkezi dedektörlere daha yakın yerleştirilirse daha büyük _ değerleri elde edilebilir. Bu dedektörler ile ilgili programlardan biri ATLAS İleri Fizik Grubu tarafından hazırlanmıştır. Bu program 0$,0,0015 < \xi < 0,15$, $0,015 < \xi < 0,15$ kabullenim aralığını kapsar [32]. Buna ek olarak, CMS-TOTEM ileri dedektörleri merkezi dedektörlere daha yakın yerleştirilmiştir ve kabullenim aralığı $0,0015 < \xi < 0,5, 0,1 < \xi < 0,5$ olarak planlanmıştır [33, 34]. Bu çalışmada aynı kabullenim aralıkları baz alınarak 100 TeV'lik pp çarpıştırıcısına da uygulanmıştır.

Foton-foton etkileşmesi geçenlerde CDF grubunun ölçümleri ile çalışılmıştır [35–41]. Benzer şekilde BHÇ 'de CMS grubu indüklenmiş foton reaksiyonlarını $pp \to p\gamma\gamma p \to p\mu^+\mu^- p$, $pp \to p\gamma\gamma p \to pe^+e^- p$ süreci için $\sqrt{s} = 7$ TeV'de ölçülmüştür [42, 43]. Bu bağlamda, foton indüklü reaksiyonlar önemlidir ve literatürde yoğun bir şekilde çalışılmıştır [44–73].

pp çarpıştırıcısında foton-foton etkileşmesi şu şekilde gerçekleşir: fotonlar gelen protonlardan yayınlanır ve $pp \to p\gamma\gamma p \to pXp$ sürecini meydana getirerek bir X son durumunu oluşturur. Bu sürecin şematik diyagramı şekil 1'de gösterilmiştir. X sistemi temiz deneysel koşullarda merkezi dedektörde gözlenebilecektir. Salınan fotonların sanallığı küçük olduğundan ileri yönde hareket eden iki protonda bozulmadan kalır. Bu protonlar merkezi dedektörde yakalanamazlar. Protonaların enerji kayıpları ileri dedektörlede belirlenebildiğinden, merkezi sisitemin kütle merkezi enerjisi $W = 2E\sqrt{\xi_1\xi_2}$ belirlenebilir.

pp etkileşmelerinde eşdeğer foton yaklaşımı (EFY) uygulanabilir [74–76]. Bu metoda göre yukarıda bahsedildiği gibi düşük sanallığa sahip iki yarı-gerçel foton (Q2 = −q2) gelen her bir protondan yayınlanır. İki foton etkileşir ve X son durumunu $\gamma\gamma \to X$ alt süreci boyunca oluşturur. Yayınlanan yarı-gerçel fotonlar Q^2 sanallığı ve foton enerjisi $E_\gamma = \xi E$ cinsinden elde edilebilen bir dağılım gösterirler,

$$\frac{dN}{dE_\gamma dQ^2} = \frac{\alpha}{\pi}\frac{1}{E_\gamma Q^2}[(1-\frac{E_\gamma}{E})(1-\frac{Q^2_{min}}{Q^2})F_E + \frac{E^2_\gamma}{2E^2}F_M]. \quad (3)$$

Burada m_p protonun kütlesi iken diğer terimler aşağıda gösterildiği gibidir:

$$Q^2_{min} = \frac{m_p^2 E_\gamma^2}{E(E-E_\gamma)}, \quad F_E = \frac{4m_p^2 G_E^2 + Q^2 G_M^2}{4m_p^2 + Q^2} \tag{4}$$

$$G_E^2 = \frac{G_M^2}{\mu_p^2} = (1 + \frac{Q^2}{Q_0^2})^{-4}, \quad F_M = G_M^2, \quad Q_0^2 = 0.71\text{GeV}^2. \tag{5}$$

Bu denklemde, F_E ve F_M sırasıyla elektrik ve manyetik form faktörünün fonksiyonları, μ_p^2 = 7.78 protonun manyetik momentinin karesidir. Foton-foton etkileşmesinin ışınlık spektrumu $\frac{dL^{\gamma\gamma}}{dW}$ EFY çerçevesinde aşağıdaki şekilde yazılabilir,

$$\frac{dL^{\gamma\gamma}}{dW} = \int_{Q^2_{1,min}}^{Q^2_{max}} dQ_1^2 \int_{Q^2_{2,min}}^{Q^2_{max}} dQ_2^2 \int_{y_{min}}^{y_{max}} dy \frac{W}{2y} f_1(\frac{W^2}{4y}, Q_1^2) f_2(y, Q_2^2). \tag{6}$$

Burada, Q^2_{maks}, Q^2'nin olası en büyük değerini göstermektedir. Bununla ilgili analiz bir sonraki kesimde yapılacaktır. Denklem (6) kullanılarak $pp \to p\gamma\gamma p \to pXp$ ana sürecin tesir kesiti $\gamma\gamma \to X$ alt sürecinin foton spekrumu üzerinden integrasyonu ile elde edilebilir,

$$d\sigma = \int \frac{dL^{\gamma\gamma}}{dW} d\hat{\sigma}_{\gamma\gamma\to X}(W)\, dW. \tag{7}$$

III. SAYISAL ANALİZ

Çalışmanın bu kısmında, $\gamma\gamma \to t\bar{q}$ alt süreci boyunca $pp \to p\gamma\gamma p \to pt\bar{q}p$ çeşni değiştiren süreç 100 TeV'lik pp hızlandırıcısında incelenecektir. Tüm hesaplamalarda $|\eta| < 2,5$ ve $p_t > 30$ GeV kesilimleri uygulanmıştır. Kuantum elektrodinamiği iki-foton varolma olasılığı 0,9 olarak alınmıştır.

Etkin lagranjiyen yöntemi üst kuarkın nadir bozunumlarını ortaya koyabilir. Üst kuarkın çeşni değiştiren $t \to q\gamma$ $(q = u, c)$ bozunumları için bozunum genişliği denklem (2)'den elde edilen köşe faktörünün kullanılmasıyla şu şekilde elde edilebilir,

$$\Gamma(t \to q\gamma) = \frac{g_e^2 mt}{16\pi}(|\lambda^R|^2 + |\lambda^L|^2). \tag{8}$$

$\gamma\gamma \to t\bar{q}$ alt süreci için toplam dört tane Feynman diyagramı vardır. Bu sürecin diferansiyel tesir kesiti bozumum genişliği cinsinden aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$\frac{d\sigma}{d(\cos\theta)} = \frac{3(s-m_t^2)Q_t^2 g_e^2}{2m_t^3 stu(t-m_t^2)^2(u-m_t^2)^2} G_{\gamma\gamma}\Gamma_{t\to q\gamma}. \tag{9}$$

Bu denklemde $G_{\gamma\gamma}$ fonksiyonu aşağıda gösterildiği gibidir,

$$G_{\gamma\gamma} = m_t^{10}(t+u) - 12m_t^8 tu + m_t^6(t+u)(t^2+13tu+u^2) - m_t^4 tu(t^2+24tu+7u^2) + 12m_t^2 t^2u^2(t+u) - 6t^3u^3. \quad (10)$$

Tablo (I)'de Q^2_{maks}'a göre tesir kesitleri elde edilmiştir. Tabloda $BR(t \to q\gamma) = 0,00002$ olarak alınmıştır. Tablodan da anlaşılacağı üzere Q2 maks'nin 2 GeV2 değerinden daha büyük değerleri tesir kesitine neredeyse hiç katkı getirmez. Bu nedenle bundan sonraki hesaplamalarda Q^2_{maks} = 2 GeV^2 olarak alınacaktır. Ayrıca, tablodan görüleceği üzere en iyi tesir kesitleri değerleri $0,0015 < \xi < 0,5$, en kötü tesir kesitleri ise $0,1 < \xi < 0,5$ kabullenim aralığı için elde edilmiştir. Sonuç olarak, kabullenim aralığının alt sınırının büyük olduğu değerlerin üst kuarkın bu bağlaşımı için uygun olmadığı ortaya konmuş olur.

Üst kuarkın dallanma oranına (BR) % 95 güveninirlik düzeyinde (C. L.) limitlerelde edilmiştir. Bu limitler bulunurken Poisson istatistiksel analiz yöntemi kullanılmıştır. Ç ünkü bu süreç için SM arka planı yoktur [73]. Poisson analizinde gözlenen olay sayısı (N_{gos}) SM değerine eşit olduğu varsayılır. Olay sayısının azami sınırı %95 C. L.'de (N_{aza}) aşağıdaki denklem ile elde edilir [77, 78],

$$\sum_{k=0}^{N_{gos}} P_{Poisson}(N_{aza}, k) = 0,05. \quad (11)$$

Gözlemlenen olay sayısına bağlı olarak, N_{aza} değerleri Ref.[79]'daki Tablo 38.3'den bulunabilir [79]. Bu çalışmada N_{gos} = 0 olduğundan N_{aza} = 3 olarak alınmıştır. N_{aza} = 3 alarak, denklem (9)'in kullanılmasıyla $t \to q\gamma$'nın dallanma oranının sınırları farklı ışınlık değeri için elde edilebilir.

$BR(t \to q\gamma)$ için duyarlılık limitleri üç farklı kabullenim aralığı $0,0015 < \xi < 0,5$, $0,0015 < \xi < 0,15$ ve $0,015 < \xi < 0,15$'da $\sqrt{14}$ TeV için Şekil 2'de ve $\sqrt{100}$ TeV için Şekil 3'de gösterilmiştir. Bu şekillerden görüleceği üzere yeni nesil hızlandırıcıdan elde edilen limitler yüksek ışınlık ve enerji sayesinde BHÇ değerlerine göre oldukça iyidir. Ayrıca beklendiği üzere en iyi limitler $0,0015 < \xi < 0,5$ kabullenim aralığı için elde edilmiştir.

IV. SONUÇ

BHÇ ileri dedektörlerin kullanılmasıyla yüksek enerjili foton-foton hızlandırıcısı olarak kullanılabilir. Bu nitelikte başka bir foton hızlandırıcısı yoktur. $\gamma\gamma$ süreçlerinde parçacık üretimi DES'e göre çok daha az arka plana sahiptir. Buna ek olarak yapılacak olan 100 TeV'lik yeni nesil bir *pp* hızlandırıcısı bu tür etkleşmelerin analizinde daha etkin olacağı beklenmektedir.

Bu çalışmada üst kuarkın altı-boyutlu anomal etkileşmeleri $pp \to p\gamma\gamma p \to pt\bar{q}p$ süreci boyunca farklı ileri dedektör kabullenim aralıkları için incelenmiştir. Bu bağlamda $t \to q\gamma$ 'nin dallanma oranı için duyarlılık limitleri elde edilmiştir. Kütle merkezi enerjisi 100 TeV

olarak planlanan hızlandırıcıdan elde edilen sonuçların güncel deneysel sonuçlardan ve BHÇ'den beklenenden daha iyi çıktığı görülmüştür. Sonuç olarak, kurulması planlanan böyle yüksek enerjili bir hızlandırıcıda gerçekleştirilecek foton indüklü reaksiyonların SM ötesi üst kuark fiziği açısından yeni fırsatlar doğuracağı bu çalışma ile ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

1. M. Beneke et al., arXiv:0003033.
2. D. Chakraborty, J. Konigsberg, and D. Rainwater, Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. 53, 301 (2003).
3. W. Wagner, Rep. Prog. Phys. 68,2409 (2005).
4. J. A. Aguilar-Saavedra, Nucl. Phys. B 812, 181 (2009).
5. B. Grzadkowski, J. F. Gunion, P. Krawczyk, Phys. Lett. B 268 106 (1991).
6. G. Eilam, J. L. Hewett, A. Soni, Phys. Rev. D 44 1473 (1991).
7. G. Couture, C. Hamzaoui, H. KÃ¸nig, Phys. Rev. D 52 1713 (1995).
8. J. A. Aguilar-Saavedra, B. M. Nobre, Phys. Lett. B 553 251(2003).
9. F. del Aguila, J. A. Aguilar-Saavedra, R. Miquel, Phys. Rev. Lett. 82 1628 (1999).
10. J. A. Aguilar-Saavedra, Phys. Rev. D 67 035003 (2003). Erratum-ibid. D 69 099901 (2004).
11. T. P. Cheng, M. Sher, Phys. Rev. D 35 3484 (1987).
12. B. Grzadkowski, J. F. Gunion, P. Krawczyk, Phys. Lett. B 268 106 (1991).
13. M. E. Luke and M. J. Savage, Phys. Lett. B 307 387 (1993).
14. D. Atwood, L. Reina, A. Soni, Phys. Rev. D 53 1199 (1996).
15. D. Atwood, L. Reina, A. Soni, Phys. Rev. D 55 3156 (1997).
16. S. Bejar, J. Guasch, J. Sola, Nucl. Phys. B 600 21 (2001).
17. C. S. Li, R. J. Oakes, J. M. Yang, Phys. Rev. D 49 293 (1994). Erratum-ibid.D 56:3156,(1997).
18. G. M. de Divitiis, R. Petronzio, L. Silvestrini, Nucl. Phys. B 504 45 (1997).
19. J. L. Lopez, D. V. Nanopoulos, R. Rangarajan, Phys. Rev. D 56 3100 (1997).
20. J. Guasch and J. Sola, Nucl. Phys. B 562 3 (1999).
21. D. Delepine, S. Khalil, Phys. Lett. B 599 62 (2004).
22. J. J. Liu, C. S. Li, L. L. Yang, L. G. Jin, Phys. Lett. B 599 92 (2004).
23. J. J. Cao et al., Phys. Rev. D 75 075021 (2007).
24. J. M. Yang, B.-L. Young, X. Zhang, Phys. Rev. D 58 055001 (1998).
25. G. Lu, F. Yin, X. Wang, L. Wan, Phys. Rev. D 68 015002 (2003).
26. G. P. K. Agashe, G. Perez, A. Soni, Phys. Rev.D 71 016002 (2005).
27. G. P. K. Agashe, A. Soni, Phys. Rev. D 75 015002 (2007).
28. W. Buchmüller, D. Wyler, Nucl. Phys. B 268, 621 (1986).
29. J. A. Aguilar-Saavedra, Nucl. Phys. B 812 (2009).
30. J. A. Aguilar-Saavedra, Nucl. Phys. B 837 (2010).
31. Nima Arkani-Hamed, Tao Han, Michelangelo Mangano, Lian-Tao Wang, PITT-PACC 1515, CERN-PH-TH-2015-259 (2015).
32. M. Albrow et al.,(FP420 R and D Collaboration), JINST 4, T10001 (2009).
33. O. Kepka and C. Royon, Phys. Rev. D 78, 073005 (2008).
34. V. Avati, K. Osterberg, Report No. CERN-TOTEM-NOTE-2005-002, (2006).
35. Abulencia et al., (CDF Collaboration), Phys. Rev. Lett. 98, 112001 (2007).
36. T. Aaltonen et al., (CDF Collaboration), Phys. Rev. Lett. 99, 242002 (2007).
37. T. Aaltonen et al., (CDF Run II Collaboration), Phys. Rev. D 77, 052004 (2008).
38. T. Aaltonen et al., (CDF Collaboration), Phys. Rev. Lett. 102, 242001 (2009).
39. T. Aaltonen et al., (CDF Collaboration), Phys. Rev. Lett. 102, 222002 (2009).

40. O. Kepka, C. Royon, Phys. Rev. D 76, 034012 (2007).
41. M. Rangel, C. Royon, G. Alves, J. Barreto, R. Peschanski, Nucl. Phys. B 774, 53 (2007).
42. S. Chatrchyan et al., (CMS Collaboration), JHEP 1201, 052 (2012).
43. S. Chatrchyan et al., (CMS Collaboration), JHEP 1211, 080 (2012).
44. F. Ginzburg and A. Schiller, Phys. Rev. D 57, R6599 (1998).
45. F. Ginzburg and A. Schiller, Phys. Rev. D 60, 075016 (1999).
46. S. Lietti, A. Natale, C. Roldao and R. Rosenfeld, Phys. Lett. B 497, 243 (2001).
47. Piotrzkowski, Phys. Rev. D 63, 071502(R) (2001).
48. V. Goncalves and M. Machado, Phys. Rev. D 75, 031502(R) (2007).
49. M.V.T. Machado, Phys. Rev. D 78, 034016 (2008).
50. S. Atağ, S. C. İnan and İ. Şahin, Phys. Rev. D 80, 075009 (2009).
51. İ. Şahin and S. C. İnan, JHEP 09, 069 (2009).
52. S. C. İnan, Phys. Rev. D 81, 115002 (2010).
53. E. Chapon, C. Royon and O. Kepka, Phys. Rev. D 81, 074003 (2010).
54. S. Atağ and A. Billur, JHEP 11 060 (2010).
55. İ. Şahin and A. A. Billur, Phys. Rev. D 83, 035011 (2011).
56. İ. Şahin and M. Köksal, JHEP 11, 100 (2011).
57. S. C. İnan and A. A. Billur, Phys. Rev. D 84, 095002 (2011).
58. R. S. Gupta, Phys. Rev. D 85, 014006 (2012).
59. İ. Şahin, Phys. Rev. D 85, 033002 (2012).
60. B. Şahin and A. A. Billur, Phys.Rev. D 85 074026 (2012).
61. N. Epele et al., Eur. Phys. J. Plus 127, 60 (2012).
62. İ. Şahin and B. Şahin, Phys. Rev. D 86, 115001 (2012).
63. A. Billur, Europhys. Lett. 101, 21001 (2013).
64. İ. Şahin et al., Phys.Rev. D 88 095016 (2013).
65. H. Sun, C. X. Yue, Eur. Phys. J. C 74, 2823 (2014).
66. H. Sun, Nucl. Phys. B 886, 691 (2014) arXiv:1402.1817 [hep-ph].
67. Senol, A. T. Tasci, I. T. Cakir and O. Cakir, arXiv:1405.6050 [hep-ph].
68. Köksal and S. C. İnan, Adv. High Energy Phys. 2014, 315826 (2014)
69. H. Sun, arXiv:1407.5356.
70. H. Sun, Y. J. Zhou and H. S. Hou, arXiv:1408.1218.
71. Tasevsky, arXiv:1407.8332 [hep-ph].
72. İ. Şahin et al., arXiv:1409.1796.
73. S. C. İnan, Nucl. Phys. B 897, 289-301 (2015).
74. M.S.Chen, T.P.Cheng, I.J.Muzinich, H.Terazawa, Phys.Rev.D, 7, 3485 (1973).
75. V. Budnev, I. Ginzburg, G. Meledin, V. Serbo, Phys. Rep. 15, 181 (1975).
76. G. Baur et al., Phys. Rep. 364, 359 (2002).
77. de Favereau de Jeneret, et al., arXiv:0908.2020 [hep-ph].
78. T. Pierzchala and K. Piotrzkowski, Nucl. Phys. Proc. Suppl. 179-180, 257 (2008) arXiv:0807.1121 [hep-ph].
79. K.A. Olive et al. (Particle Data Group), Chin. Phys. C, 38, 090001 (2014).10