



CLIC'te Spin-1/2 Leptonların $\gamma\gamma \rightarrow l^+l^-$ Süreci ile İncelenmesi

Salih Cem İNAN

Department of Physics, Cumhuriyet University, 58140 Sivas / Turkey

Received: 21.09.2017; Accepted: 23.10.2017

<http://dx.doi.org/10.17776/csj.363326>

Özet: Bu çalışmada Kompakt Doğrusal Çarpıştırıcı (CLIC)'in spin-1/2 uyarılmış leptonların araştırılmasında ki potansiyeli $\gamma\gamma \rightarrow l^+l^-$ (γ Weizsacker-Williams fotonu) alt süreci ile incelenecektir. Bu süreç çarpıştırıcılardaki en temiz arkaplana sahip süreçlerden bir tanesidir.

Anahtar Kelimeler: Uyarılmış leptonlar, CLIC, Weizsacker-Williams fotonu.

Probe of Spin-1/2 leptons in $\gamma\gamma \rightarrow l^+l^-$ process at the CLIC

Abstract: In this work, we analyze the potential of the Compact Linear Collider (CLIC) to examine spin-1/2 excited leptons through the process $\gamma\gamma \rightarrow l^+l^-$ (γ is the Weizsacker-Williams photon) which is known to be one of the cleanest channels at the colliders.

Keywords: Excited leptons, CLIC, Weizsacker-Williams photon.

1. GİRİŞ

Standart Model (SM) günümüz deneyleri ile tam uyum içerisindedir. Ancak SM'in fermiyon aile sayısı ve fermiyonların kütle spektrumu gibi henüz açıklayamadığı problemler mevcuttur. Bu problemlerin çözümü için en güçlü adaylardan bir tanesi fermiyonların bir içyapıya sahip olduğunu öne süren modellerdir. Bu modellerde kuark ve leptonların daha temel parçacıklardan oluştuğu varsayılır. Bu düşüncenin doğal sonucu olarak karşımıza uyarılmış leptonlar ve kuarklar çıkacaktır. Böyle bir durumda mevcut lepton ve kuarklar zengin bir spektruma sahip parçacıkların taban durumlarıdır [1-3]. Dolayısıyla, uyarılmış leptonların çarpıştırıcılarda oluşturdukları sinyalleri içyapılarından ötürü SM'den farklı olacaktır.

Uyarılmış leptonlar ile SM arasındaki geçişi betimleyen lagranjiyen kiral simetriye uymalıdır.

Bu nedenle hafif leptonlar radyatif olarak büyük anomal manyetik momente sahip olamazlar [4]. Bu bakış açısıyla uyarılmış leptonlar (l^*) ve SM model leptonları arasında ayar bozonları aracılığıyla gerçekleşen etkileşimin lagranjiyeni şu şekilde verilebilir [5-9],

$$L = \frac{1}{2\Lambda} \bar{l}^* \sigma^{\mu\nu} \left(gf \frac{\vec{\tau}}{2} \vec{W}_{\mu\nu} + g' f' \frac{Y}{2} B_{\mu\nu} \right) l_L + H.c. \quad (1)$$

Bu lagranjiyen $SU(2) \times U(1)$ simetrisi altında değişmezdir. Λ yeni fizik skalasıdır ve elektron ve müonun duyarlılık ölçümleri ve teorik hesaplamalardan $\Lambda < 10$ TeV olarak bulunmuştur. Denklemden $\vec{W}_{\mu\nu}$ ve $B_{\mu\nu}$ sırasıyla $SU(2)$ ve $U(1)$ 'in stress-alan tensörü, g ve g' $SU(2)_L$ ve $U(1)_Y$ 'nin çiftlenin sabitleridir. $\vec{\tau}$ ve Y ilgili grubun üreticeleridir. f ve f' ise kompozit dinamikler ve üç SM grubuna bağlı serbest çiftlenim parametreleridir. Simetri kırılmasından sonra

fiziksel bazda lagranjiyen yeniden düzenlenirse V ($V=\gamma, W, Z$) ayar bozonları olmak üzere Vl^l etkileşim köşe faktörü aşağıdaki şekilde elde edilebilir,

$$\Gamma_{\mu}^{\nu l} = \frac{g_e}{2\Lambda} q^{\mu} \sigma^{\mu\nu} (1-\gamma_5) f_V. \quad (2)$$

Burada q ayar bozonu momentumu, f_V ise elektrozayıf çiftlenim parametresidir ve foton için $f_V = Q_f f' + I_{3L}(f - f')$ şeklinde verilir. Bu çalışmada $f = f'$ olarak alınmıştır. Uyarılmış leptonları içeren pek çok teorik ve fenomenolojik çalışma yapılmıştır [10-16]. Ayrıca günümüze kadar yapılan deneysel çalışmalarda henüz uyarılmış leptonları ortaya koyan bir sinyal elde edilmemiştir [17-22].

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC) günümüzün en yüksek enerjili çarpıştırıcısıdır. Ancak hadron makinelerinin tipik özelliği sebebiyle yüksek duyarlılıklı ölçümler sağlayamayabilir. Ancak, bir doğrusal e^-e^+ çarpıştırıcısı TeV skalasındaki enerjisi, yüksek ışınlığı ve temiz çevresel ortamı nedeniyle LHC'den çok daha hassas olarak ölçümler yapabilir. Kompakt Doğrusal Çarpıştırıcı (CLIC) ileride yapılması planlanan ve bu beklentileri karşılayabilecek, 0.5 TeV'den 3 TeV enerji aralığında elektron-pozitron çarpışmaları sağlayabilecek bir doğrusal çarpıştırıcıdır [23].

CLIC, e^-e^+ çarpışmasının yanı sıra $e\gamma$ ve $\gamma\gamma$ etkileşimlerinin de içinde bulunabileceği bir makinedir. Bu etkileşmeye katılan fotonlar, lazer geri saçılma (backscattering) üretiminden geçerek bir foton demeti içine orjinal elektron ve pozitron demetlerinin çevrilmesi veya elektron veya pozitron demetlerinden elde edilen yarı-gerçel fotonlar ile oluşturulabilir. Bu yarı gerçel fotonlar ile ilgili inceleme yapılırken Weizsacker- Williams (WW) yaklaşımı kullanılır. Bu konuda çok sayıda fenomenolojik çalışmalar vardır [24-35].

Bu çalışmada, $e^+e^- \rightarrow e^+\gamma\gamma e^- \rightarrow e^+l^+l^-e^-$ sürecinin spin-1/2 leptonların araştırılmasındaki potansiyeli incelenecektir. Bu süreç çok az bir arka plana sahiptir. Bu arka planın azlığı SM'deki çok küçük sapmaları kolaylıkla belirlenmesine olanak

sağlayabilir. Bu durum uyarılmış leptonların belirlenmesini mümkün kılabilir.

2. SAYISAL ANALİZ

CLIC, elektron veya pozitron demetlerinin kullanılmasıyla yüksek enerjili yarı-gerçel foton etkileşim süreçlerini üretme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, indüklenmiş foton reaksiyonları büyük tesir kesitli süreçlerin oluşmasına olanak sağlar. WW yaklaşımının kullanılmasıyla bu süreçlerin teorik olarak incelenmesi mümkündür. WW yaklaşımında foton spektrumu aşağıdaki şekildedir [36];

$$\frac{dN}{dE_\gamma} = f(x) = \frac{\alpha}{\pi E_b} \left[\left(\frac{1-x+x^2/2}{x} \right) \log \frac{Q_{\max}^2}{Q_{\min}^2} - \frac{m_e^2 x}{Q_{\min}^2} \left(1 - \frac{Q_{\min}^2}{Q_{\max}^2} \right) - \frac{1}{x} (1-x/2)^2 \log \frac{x^2 E_b^2 + Q_{\max}^2}{x^2 E_b^2 + Q_{\min}^2} \right] \quad (3)$$

Bu denklemde m_e elektronun kütlesi, x gelen fotonun enerjisinin gelen elektronun enerjisine oranı (E_γ/E_b), Q_{\max}^2 ise fotonun maksimum virtüalitesidir. Çalışmada $Q_{\max}^2 = 2 \text{ GeV}^2$ olarak alınmıştır. Q_{\min}^2 ise şu şekilde verilir;

$$Q_{\min}^2 = \frac{m_e^2 x^2}{1-x}. \quad (4)$$

Denklem (3)' te verilen ifade gelen E_1 ve E_2 enerjili iki foton için $f(x_1)$ ve $f(x_2)$ şeklinde kullanılmasıyla tesir kesiti şu şekilde elde edilebilir,

$$d\sigma = \int \frac{dL^{\gamma\gamma}}{dW} d\hat{\sigma}_{\gamma\gamma \rightarrow X}(W) dW. \quad (5)$$

Burada W gelen fotonların kütle merkezi enerjisidir. $\frac{dL^{\gamma\gamma}}{dW}$ ise etkin foton ışınlığıdır,

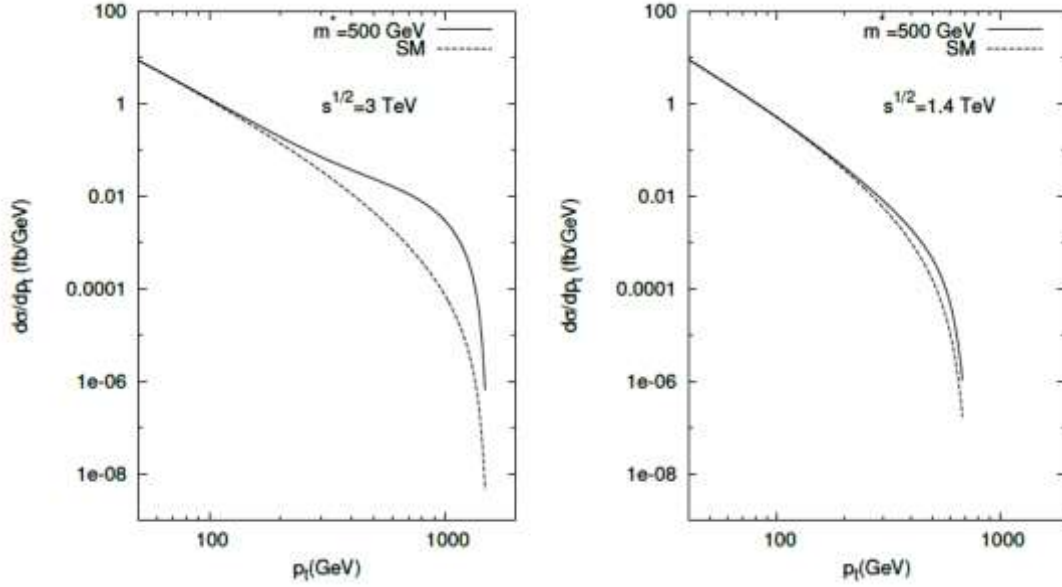
$$\frac{dL^{\gamma\gamma}}{dW} = \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} dy \frac{W}{2y} f_1 \left(\frac{W^2}{2y} \right) f_2(y). \quad (6)$$

$$y_{\min} = \text{MAX}(W^2 / (E_{\max}^2), E_{\min}^1), \quad y_{\max} = E_1^{\max}. \quad (7)$$

Saçılan fotonlar detektörler tarafından ölçülürse, gelen fotonların en büyük ve en küçük enerjileri deneysel olarak belirlenebilir.

$\gamma\gamma \rightarrow l^+l^-$ alt sürecinde SM ve uyarılmış lepton katkıları u ve t-kanalı Feynman diyagramlarını

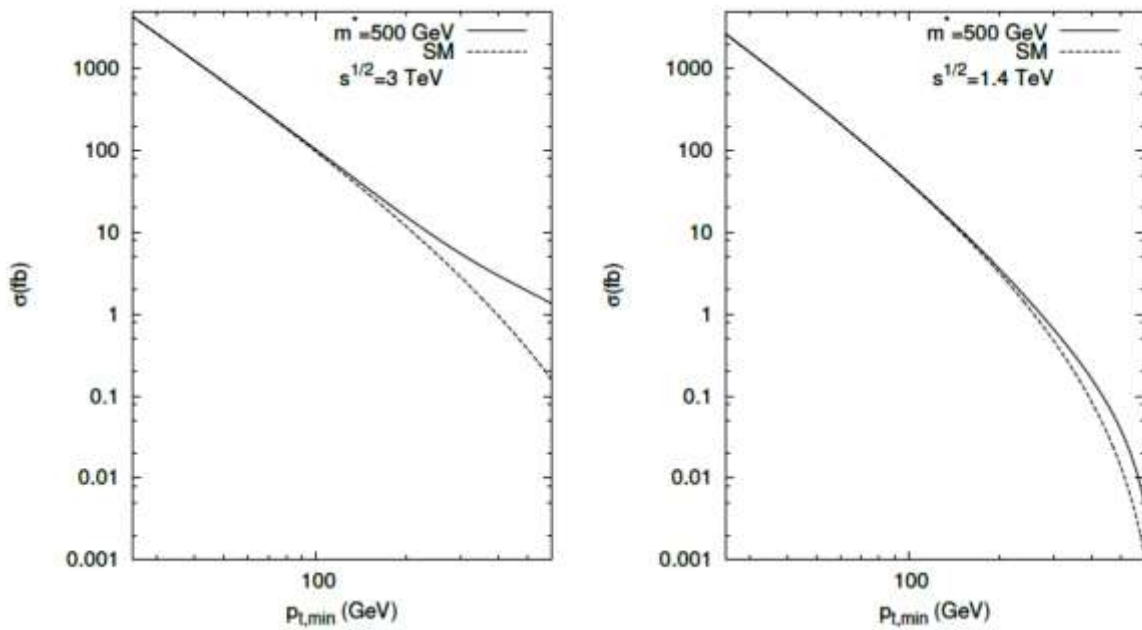
içerir. Bu çalışmada deneysel analizlerde kullanılan $f_\gamma/\Lambda = 1/m^*$ olduğu varsayarak analizler yapılmıştır. Yeni fizik katkılarını ortaya koyabilmek için öncelikle son durum leptonlarının enine momentum dağılımları hem SM hem de toplam diferansiyel tesir kesiti için çizilmiştir.



Şekil 1. Son durum leptonlarının enine momentum dağılımları.

Bu şekilde $m^* = 500$ GeV olarak alınmıştır. Özellikle yüksek p_t değerlerinde uyarılmış lepton katkılarının SM'den daha büyük katkı verdiği gözlenmektedir. Yani leptonlar küçük açı ile

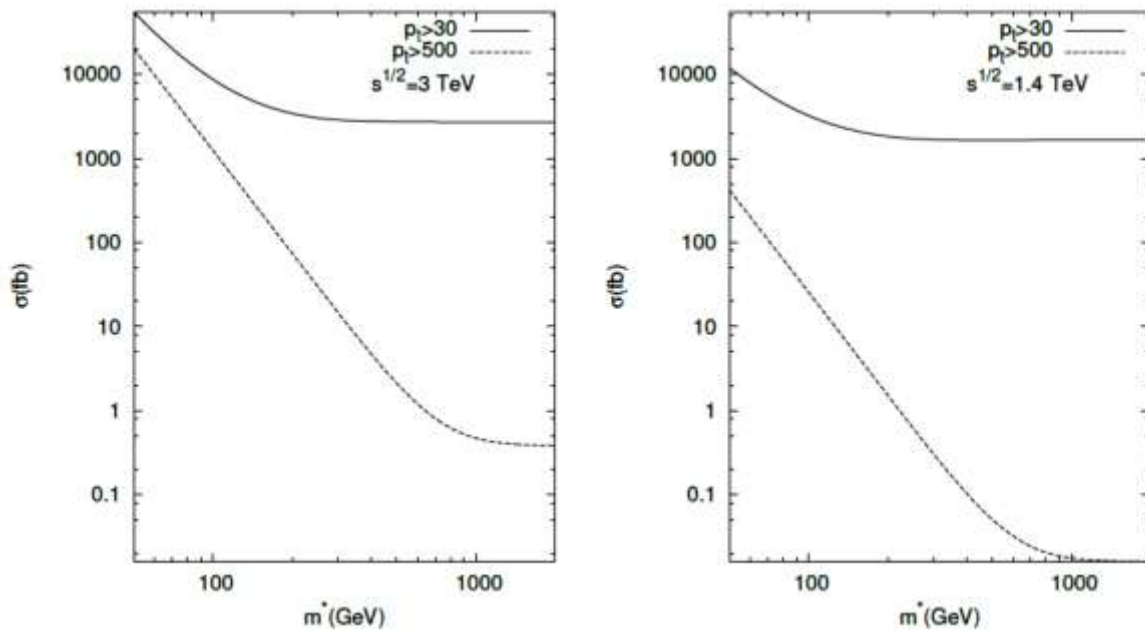
saçıldıklarında SM katkısı daha fazladır. Bu durum Şekil 2'den daha iyi anlaşılacaktır.



Şekil 2. Toplam tesir kesitinin son durum leptonlarının minimum enine momentlarına göre fonksiyonu.

Şekil 2’de $m^* = 500$ GeV iken toplam tesir kesitinin son durum leptonlarının minimum enine momentumlarına ($p_{t,min}$ veya $p_{t,cut}$) göre fonksiyonu çizilmiştir. Şekilden anlaşılacağı üzere yüksek $p_{t,min}$ değerlerinde SM ile uyarılmış lepton katkıları ayrılmaktadır. Küçük $p_{t,min}$ değerlerinde SM tesir kesiti çok büyüktür ve neredeyse yeni fizik katkıları bu değerlerde hiç gözükmemektedir. Bu nedenle büyük $p_{t,min}$ değerlerinin uygulanmasıyla uyarılmış lepton sinyallerinin gözlenmesi çok daha muhtemeldir. Başka bir

deyişle yüksek $p_{t,min}$ değerlerinde SM arkaplanı çok azalmakta, çok daha temiz bir ortam oluşmakta ve uyarılmış leptonların keşif olasılığı daha da artmaktadır. Kütle merkezi enerjisinin 3 TeV olduğu durumda SM ile yeni fiziğin ayrımının yüksek $p_{t,min}$ değerlerinde çok daha açık olduğu yani kütle merkezi enerjisinin büyük olmasının uyarılmış leptonların keşfi açısından avantajlı olduğu ayrıca Şekil 2’den anlaşılmaktadır. Şekil 3’te ise toplam tesir kesitinin m^* ’a göre grafiği farklı $p_{t,min}$ değerleri için verilmiştir.



Şekil 3. Toplam tesir kesitinin m^* ’a göre değişimi.

Grafikten anlaşılacağı üzere $p_{t,min} = 30$ GeV iken ($p_t > 30$ GeV) iken tesir kesiti $p_{t,min} = 500$ GeV çok daha büyüktür. Ayrıca m^* belli değerlerinden sonra grafiğin eğimi sifıra gitmektedir yani tesir kesitinin m^* bağımlılığı kalmamaktadır. Bu durum grafiğin düz kısmın artık neredeyse SM tesir kesitini gösterdiği anlamına gelmektedir. Ancak şekilde görüldüğü üzere $p_{t,min} = 500$ GeV olduğu durumda grafiğin düzleştiği noktanın daha büyük m^* değerlerinde olduğu görülmektedir. Başka bir anlatımla daha büyük m^* değerleri daha büyük $p_{t,min}$ değerlerinde keşfedilebilir. Ayrıca kütle merkezi enerjisi 3 TeV olduğu durumda tesir

kesitlerinin çok daha büyük değerlere ulaştığı Şekil 3’ten net bir şekilde anlaşılmaktadır.

3. SONUÇ

CLIC gelecekte yapılması planlanan, TeV ölçeğinde enerjiye ve yüksek bir ışınlığa sahip elektron-pozitron çarpıştırıcısıdır. Yeni fizik araştırmaları için bu yüksek enerji ve ışınlık son derece önemlidir. Ayrıca foton indüklü reaksiyonlar CLIC’te mümkündür ve bu tür reaksiyonları inceleyebilmek için herhangi bir ek aparata ihtiyaç yoktur. Bu tür etkileşmeler son derece temiz bir arkaplana sahiptir. Yapılan bu çalışmada ortaya konmuştur ki özellikle yüksek

$p_{t,cut}$ değerlerinde SM tesir kesiti veya olay sayısı azalmakta ve spin-1/2 uyarılmış leptonların keşif olasılığı artmaktadır. Ayrıca γ^*l etkileşme köşesi momentum bağımlı olduğundan, beklendiği gibi artan kütle merkezi enerjisiyle toplam tesir kesitinin arttığı gözlenmiştir. Sonuç olarak, LHC'den farklı olarak hiçbir güçlü etkileşme barındırmayan CLIC, yüksek enerjisi, ışıklığı ile özellikle yüksek $p_{t,cut}$ değerlerinde oluşan temiz arkaplama ile spin-1/2 uyarılmış lepton araştırmaları için çok önemli bir potansiyele sahiptir.

KAYNAKLAR

- [1]. Renard F.M. Limits on Masses and Couplings of Excited Electrons and Muons, *Phys. Lett.* 116B, 264 1982.
- [2]. DelAquila F., Mendez A., Pascual R. On the g-2 and the $pp \rightarrow Z^0 \rightarrow \ell^+ \ell^- \gamma$ events, *Phys. Lett.* 140B, 237 1984.
- [3]. Suzuki M., Anomalous Z decays and g-2 of the electron, *Phys. Lett.* 143B, 237 1984.
- [4]. Brodsky J. S., Drell S. D. Anomalous magnetic moment and limits on fermion substructure, *Phys. Rev. D* 22, 2236 1980.
- [5]. Cabibbo N., Maiani L., Srivastava Y., Anomalous Z decays: excited leptons?, *Phys. Lett.* 139B, 459 1984.
- [6]. Kuhn J., Zerwas P., Excited quarks and leptons *Phys. Lett.* 147B, 189 1984.
- [7]. Hagiwara K., Zeppenfeld D., Komamiya S. Excited Lepton Production at LEP and HERA, *Z. Phys. C* 29, 115 1985.
- [8]. Boudjema F. and Djouadi A. Looking for the LEP at LEP. The excited neutrino scenario *Phys. Lett. B* 240, 485 1990.
- [9]. Boudjema F., Djouadi A., Kneur J.L. Excited fermions at e+e- and e P colliders, *Z. Phys. C* 57, 425 1993.
- [10]. E 'boli O.J.P., Lietti S.M., Mathews P. Excited leptons at the CERN large hadron collider, *Phys. Rev. D* 65, 075003 2002.
- [11]. E'boli O.J.P., Gregores E. M., Montero J. C, Novaes S. F., Spehler D. Excited leptonic states in polarized e-gamma and e+e- collisions, *Phys. Rev. D* 53, 1253 1996.
- [12]. Cakır O., Yılmaz A., Sultansoy S. Single production of excited electrons at future e+ e- ep and pp colliders, *Phys. Rev. D* 70, 075011 2004.
- [13]. Cakır O., Cakır I.T., Kırca Z. Single production of excited neutrinos at future e+ e-, ep and pp colliders, *Phys. Rev. D* 70, 075017 2004.
- [14]. Cakır O. Ozansoy A., Search for excited spin-3/2 and spin -1/2 leptons at linear colliders, *Phys. Rev. D* 77, 035002 2008.
- [15]. İnan S. C. Exclusive excited leptons search in two lepton final states at the CERN LHC, *Phys. Rev. D* 81, 115002 2010.
- [16]. Çalışkan A., Kara S.O., Ozansoy A., Excited muon searches at the FCC based muon-hadron colliders, *Advance in High Energy Physics*, vol.2017, 1540243 2017.
- [17]. OPAL Collaboration, Search for charged excited leptons in e+e- collisions at s=183-209 GeV, *Phys. Lett. B* 544, 57 2002.
- [18]. L3 Collaboration, Search for excited leptons at Lep, *Phys. Lett. B* 568, 23 2003.
- [19]. DELPHI Collaboration, Determination of the $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma(\gamma)$ cross-section at LEP 2 *Eur. Phys. J. C* 37, 405 2004.
- [20]. DELPHI Collaboration, Search for excited leptons in e+e- collisions at $\sqrt{s} = 189-209$ GeV, *Eur. Phys. J. C* 46, 277 2006.
- [21]. CDF Collaboration, Search for Excited and Exotic Muons in the $\mu\gamma$ Decay Channel in pp Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, *Phys. Rev. Lett.* 97, 191802, 2006.
- [22]. CMS Collaboration, Search for excited leptons in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV, *JHEP* 03, 2016; 125:
- [23]. The CLIC Detector and Physics Study, Physics at the CLIC e+e- Linear Collider, arXiv:1307.5288, 2013.
- [24]. Ozansoy A., Billur A. A. Search for excited electrons through $\gamma\gamma$ scattering, *Phys. Rev. D* 86, 055008, 2012.
- [25]. Köksal M., Analysis of excited neutrinos at the CLIC, *Int. J. Mod. Phys. A* 29 no.24, 1450138, 2014
- [26]. Billur A. A., Köksal M. Probe of the electromagnetic moments of the tau lepton in gamma-gamma collisions at the CLIC, *Phys. Rev. D* 89, 037301, 2014.

- [27]. Köksal M. Study of anomalous WW $\gamma\gamma$ coupling sensitivity at the Compact Linear Collider, *Mod.Phys.Lett.* A29 no.34, 1450184, 2014
- [28]. Köksal M. Anomalous quartic ZZ $\gamma\gamma$ couplings at the CLIC, *Eur.Phys.J.Plus* 130 no.4, 75, 2015
- [29]. Gutiérrez-Rodríguez A., Köksal M., Billur A.A. Improved bounds on the dipole moments of the tau-neutrino at high-energy $\gamma * e -$ and $\gamma * \gamma *$ collisions: ILC and CLIC, *Phys. Rev. D* 91, 093008, 2015.
- [30]. Billur A.A., Köksal M., Gutiérrez-Rodríguez A. Improved sensitivity on the electromagnetic dipole moments of the top quark in $\gamma\gamma$, $\gamma\gamma^*$ and $\gamma * \gamma *$ collisions at the CLIC, *Phys. Rev. D* 96, 056007, 2017
- [31]. Köksal M., Billur A.A., Gutiérrez-Rodríguez A. Bounds on the electromagnetic dipole moments through the single top production at the CLIC, *Advance in High Energy Physics*, vol.2017, 6738409, 2017.
- [32]. Arı V., Billur A.A., İnan S.C., Köksal M. Anomalous WW γ couplings with beam polarization at the Compact Linear Collider, *Nucl. Phys. B*, 906, 2016
- [33]. Köksal M., Arı V., Senol A. Search for anomalous quartic ZZ $\gamma\gamma$ couplings in photon-photon collisions, *Advance in High Energy Physics*, vol.2016, 8372391, 2016.
- [34]. Özgüven Y., Billur A. A., İnan S. C., Bahar M. K., Köksal M. Search for the anomalous electromagnetic moments of tau lepton through electron-photon scattering at CLIC, *Nucl. Phys. B*, 2017
- [35]. Senol A., Köksal M., İnan S. C. Probe of the anomalous quartic couplings with beam polarization at the CLIC, *Advance in High Energy Physics*, vol.2017, 6970587, 2017.
- [36]. Budnev V.M., Ginzburg I.F., Meledin G.V., Serbo V.G. The two-photon particle production mechanism. Physical problems. Applications. Equivalent photon approximation, *Phys. Rep.* 15, 181, 1975.