

# Sequential Model’de Z’ Yeni Ayar Bozonu için Spin Analizi

Berin Belma ŞİRVANLI<sup>1,✉</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 06500, Teknikokullar, Ankara, Türkiye

Başvuru: 26/01/2015 Kabul:04/03/2015

## ÖZET

$e^+e^-$  çarpıştırıcısında Z’ yeni ayar bozonu için spin analizi çalışıldı. Sequential Model’de farklı spin durumlarına karşı normalize tesir kesiti araştırıldı. Bu çalışma gösteriyor ki, yeni ayar bozonu Z’ CLIC (Compact Linear Collider – Doğrusal Çarpıştırıcı)’de 3 TeV lik bir enerjide gözlemlenir.

## 1. GİRİŞ

Standart Model (SM) evreni oluşturan atomaltı parçacıkları inceleyen bir modeldir. Bu model içinde bulunduğumuz evren ile ilgili bir çok soruya tam ve doğru bir şekilde cevap vermektedir. Bununla birlikte henüz cevaplanamayan bir çok soru vardır. Örneğin, tüm evren proton ve nötronun içerdiği yukarı ve aşağı kuarklardan oluşuyorsa diğer keşfedilen kuarkların görevi nedir ve başka bir kuark grubu var mıdır? Bu ve benzeri başka sorulara cevap verebilmek üzere Standart Model Ötesinde (SMÖ) yeni bir fizik olabileceği ve bu yeni fizikte farklı modeller ileri sürülerek evrendeki yeni parçacıklara ulaşılarak cevaplanamayan sorulara cevap bulunabileceği öngörülmektedir. Sequential model de bunlardan birisidir ve parametreleri SM’deki parametrelere çok yakındır. Buna ek olarak SM içerisindeki kütleli ayar bozonları olan W ve Z bozonun yanı sıra yeni bir kütleli ayar bozonunun var olabileceği öngörülmektedir. Bu kütleli ayar bozonu Z’, kırılan U(1) ayar simetrisinin bozonudur. CLIC (Compact Linear Collider) çarpıştırıcısında kütle merkezi enerjisi,  $\sqrt{s} = 0.5 \div 5TeV$  lik bir yüksek enerji aralığında iken, “demet dinamiğinin fizik araştırmaları üzerine etkisini”,  $e^+e^-$  lineer çarpıştırıcısında farklı modellerde yeni kütleli Z’ ayar bozonunun araştırılması ile gözleyebiliriz. Bu ayar bozonu iki şekilde araştırılmaktadır: doğrudan ve

dolaylı. Doğrudan araştırmalar hadron çarpıştırıcılarında dolaylı araştırmalar ise  $e^+e^-$  çarpıştırıcılarında yapılmaktadır.

$e^+e^-$  çarpışmalarında kütle merkezi enerjisi yeterince yüksek ise çarpışmayla oluşabilecek yeni parçacıkların varlığını yeni fizik (New Physics) senaryosu gösterecektir. Tera-Elektron Volt (TeV) mertebesindeki bir yüksek enerjili doğrusal çarpıştırıcı (Linear Collider) yeni fizik çalışması için ideal bir laboratuvarı temsil edebilir. Yeni fizikten gelen sinyaller ve alınan veriler,  $0.5TeV < \sqrt{s} < 5TeV$  aralığındaki yüksek enerjilerde, CLIC gibi bir çarpıştırıcı ile izlenebilir. Bir yeni parçacığın s-kanal üretimini belirten  $e^+e^- \rightarrow Z' \rightarrow f\bar{f}$  bozunumunun tesir kesitindeki artış, multi-TeV mertebesindeki yeni fiziğin varlığını ortaya çıkarır [1-8].

Bu çalışmada Standart Model-benzeri bir modelde (Sequential Model) farklı spin durumlarına göre tesir kesiti incelenmektedir. Çalışmanın ikinci kısmında kısaca kuramsal bilgi verilmektedir. Üçüncü kısımda, elde edilen sonuçlar tartışılmaktadır.

## 2. TEORİ

Bir multi-TeV çarpıştırıcısında rezonans durumu gibi deneysel çalışmalarla, yeni fiziğin varlığını ve doğasını tanımlayan özellikler olan; parçacıkların bozunumu, üretimi, bozunum genişliği ve onların kütlelerini tam olarak ölçebileceğiz. Burada böyle bir rezonansın ve yeni fiziğin ve extra yüksüz kütleli ayar bozonu  $Z'$  in varlığını tanımlayan Standart Model-benzeri olan Sequential model ele alınmaktadır. Yeni yüksüz  $Z'$  ayar bozonu gibi extra ayar bozonlu modeller, GUT-inspired, E6 ve LR-simetrik modellerin bir kombinasyonudur. E6 modeldeki U(1) akımı [9-12];

$$J_{Z',\mu}^f = J_{x\mu}^f \cos \theta_6 + J_{\psi\mu}^f \sin \theta_6 \quad (1)$$

şeklinde dir. Yeni bir  $Z'$  bozon için kütle limiti araştırması 600 GeV civarındadır. Ama extra  $Z'$  bozona ait çiftlenim SM ile aynı düşünülebilir ve kütlesi TeV civarındadır. CLIC çarpıştırıcısında Beamstrahlung etkisiyle kütle merkezi enerjisi  $\sqrt{s} = 3\text{TeV}$  de ışınlık ise  $L=10^{35} \text{ cm}^{-1}\text{s}^{-1}$  olarak büyük bir ışınlık değeri elde edilebilir. Yeni yüksüz kütleli ayar bozonu  $Z'$  için verilen yüksüz akım etkin Lagranjyeni;

$$L_{NC}^{eff} = (4G_F / \sqrt{2}) [(M_Z^2 / M_1^2) J_1^2 + (M_Z^2 / M_2^2) J_2^2]$$

$$\begin{aligned} J_1 &= J_Z \cos \phi + J_{Z'} \sin \phi \\ J_2 &= J_{Z'} \cos \phi - J_Z \sin \phi \end{aligned} \quad (2)$$

şeklinde dir.

SM fermiyonlarının  $Z'$  bozonla etkileşim Lagranjyeni ise;

$$L_{int} = \frac{1}{2} g_{Z'} \bar{f} \gamma^\mu [c_L(1 - \gamma_5) + c_R(1 + \gamma_5)] f Z'_\mu \quad (3)$$

olarak verilmektedir. Burada  $g_{Z'}$ , U(1) ayar gurubunda  $Z'$  ayar çiftlenimidir.  $c_L$  ve  $c_R$  ise sağ ve sol elli fermiyon yüklerini göstermektedir. Bu yükleri fermiyonların vektör ve sözde vektör çiftlenimlerine bağlı olarak tanımlayabiliriz:

$$c_L = \frac{(c_V^f + c_A^f)}{4}, \quad c_R = \frac{(c_V^f - c_A^f)}{4} \quad (4)$$

LHC (Large Hadron Collider- Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ)) nin kütle merkezi enerjisi 14TeV iken, CLIC için 0.5TeV-5TeV aralığında, ILC için 0.5TeV dir. Tesir kesiti ve kütle merkezi enerjisi arasındaki  $\sigma \propto \frac{1}{s}$  orantı durumundan dolayı kütle merkezi enerjisi arttıkça tesir kesiti değişir ve çiftlenimlere sınırlamalar gelir. BHÇ içinde de gelişmeler devam etmektedir. Işınlık geliştirme Super LHC ile (SLHC), enerji geliştirme ise Double LHC

(DLHC) ile yapılacaktır. Eğer DLHC geliştirme işlemi CLIC çalışmalarından önce yapılırsa CLIC enerji aralığı yetersiz kalabilir. Bu çarpıştırıcılarda toplam bozunum genişliği, dallanma oranı, tesir kesiti, polarizasyon gibi özellikler incelenerek yeni fiziğe ulaşılabileceğinden dolayı yapılan her işlem ve gelişme sonucu önem taşımaktadır. Bir çok işlemle Standart modelde tesir kesiti hesabı ile parçacık üretimi sağlanmaktadır. Rezonans tesir kesiti ise genellikle Breit-Wigner formülü ile verilir:

$$\sigma(E) = \frac{2J+1}{(2S_1+1)(2S_2+1)} \frac{4\pi}{k^2} \left[ \frac{\Gamma^2/4}{(E-E_0)+\Gamma^2/4} \right] B_{in} B_{out} \quad (5)$$

Burada E kütle merkezi enerjisi, J rezonans spini,  $2S_1+1$  ve  $2S_2+1$  ise gelen parçacıkların polarizasyon durum sayısını gösteriyor. k, parçacığın ilk durumdaki kütle merkezi momentumu,  $E_0$ , rezonansdaki kütle merkezi enerjisi ve  $\Gamma$  toplam genişliktir.  $B_{in}$ , ilk-durum kanalındaki rezonans için dallanma kesri ve son-durum kanalındaki ise  $B_{out}$  olarak verilir.

Fermiyon kütlesi sıfır alındığında,  $m_f = 0$ , z-ekseni boyunca diferansiyel tesir kesiti aşağıdaki gibi ifade edilir [4]:

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma}{dz} &= \frac{N_c}{32\pi s} \sum_{i,j} P_{ij} [B_{ij}(1+z^2) + 2C_{ij}z] \\ B_{ij} &= (v_i v_j + a_i a_j)_e (v_i v_j + a_i a_j)_f \end{aligned} \quad (6)$$

$$C_{ij} = (v_i a_j + a_i v_j)_e (v_i a_j + a_i v_j)_f$$

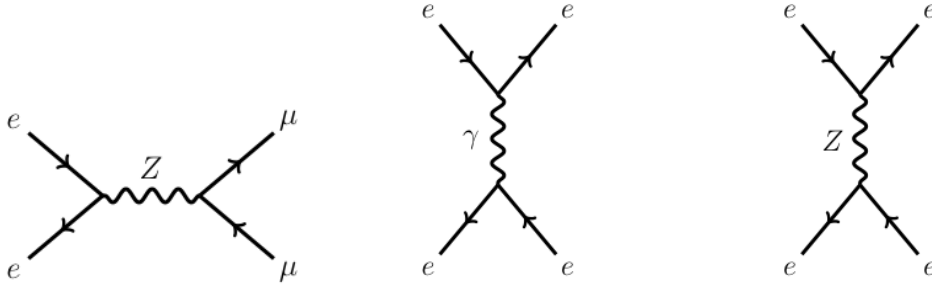
$$P_{ij} = \frac{s^2(s - M_i^2)(s - M_j^2) + \Gamma_i \Gamma_j M_i M_j}{[(s - M_i^2)^2 + \Gamma_i^2 M_i^2][i \rightarrow j]}$$

Eşitlik (6)'da s, kütle merkezi enerjisini,  $\Gamma_i$ , parçacıkların toplam bozunum genişliğini,  $M_i$  i inci ayar bozununun kütlelerini,  $z = \cos\theta$  ise kütle merkezindeki saçılma açısını,  $N_c$ , renk faktörünü,  $P_{ij}$ ,  $C_{ij}$ ,  $B_{ij}$  ise normalize çiftlenimleri temsil etmektedir. Eğer elektron-pozitron demeti polarize ise bu durumda katsayılar spin- $\xi$  çarpanı getirilir ve aşağıdaki şekilde verilir:

$$B_{ij} \rightarrow B_{ij} + \xi (v_i a_j + a_i v_j)_e (v_i v_j + a_i a_j)_f \quad (7)$$

$$C_{ij} \rightarrow C_{ij} + \xi (v_i v_j + a_i a_j)_e (v_i a_j + a_i v_j)_f$$

Burada  $\xi$ , parçacıkların spin durumunu temsil etmektedir.  $\xi$  çarpanı, bozonlar için ( $\gamma, Z, Z'$ ) tamsayı fermiyonlar için kesirli sayı değerleri almaktadır. Kütleli foton ( $\gamma$ ) için ve kütleli Z ve  $Z'$  bozonlar için Şekil 2.2' de  $e^+ e^- \rightarrow Z' \rightarrow f\bar{f}$  reaksiyonu için olası Feynman Diagramları verilmektedir.

Şekil 2.  $e^+e^- \rightarrow Z' \rightarrow f\bar{f}$  reaksiyonu için olası Feynmann Diagramları

Bu çalışmada kullandığımız nümerik değerler aşağıda verilmiştir:

1- Foton için çiftlenimler:

$$v_{1e} = g_e$$

$$v_{1f} = -Q_f g_e$$

$$a_{1e} = 0$$

$$a_{1f} = 0$$

2- Z-bozon için çiftlenimler:

$$v_{2e} = \frac{g_Z c_{ve}}{4}$$

$$v_{2f} = \frac{g_Z c_{vf}}{4}$$

$$a_{2e} = \frac{g_Z c_{ae}}{4}$$

$$a_{2f} = \frac{g_Z c_{af}}{4}$$

3- Z'-bozon için çiftlenimler:

$$v_{3e} = \frac{g_{Z'} c_{ve}}{4}$$

$$v_{3f} = \frac{g_{Z'} c_{vf}}{4}$$

$$a_{3e} = \frac{g_{Z'} c_{ae}}{4}$$

$$a_{3f} = \frac{g_{Z'} c_{af}}{4}$$

$$g_e = \sqrt{4\pi\alpha} \quad (\alpha = 1/137)$$

$$g_Z = \frac{g_e}{\sin\theta_w \cos\theta_w}$$

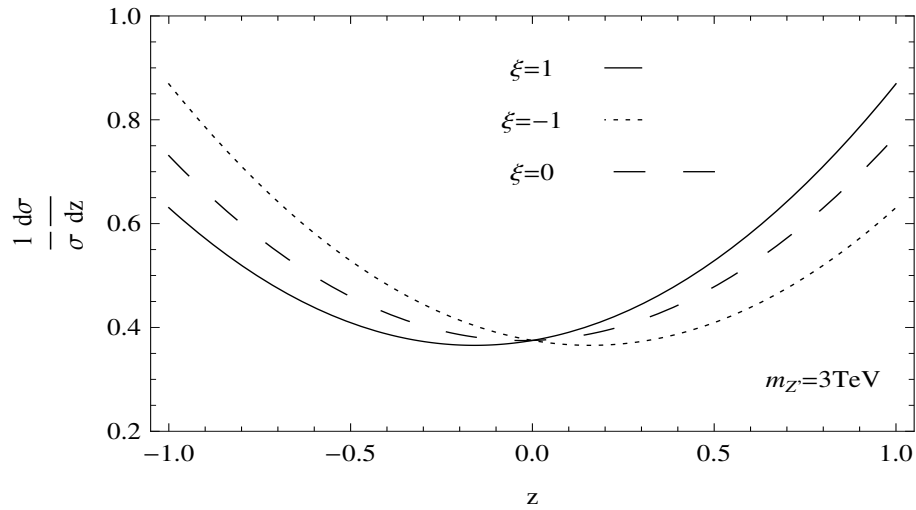
$$g_{Z'} = g_Z$$

$$\sin\theta_w = \sqrt{0.23}$$

$$\cos\theta_w = \sqrt{1-0.23}$$

### 3. SONUÇ VE YORUM

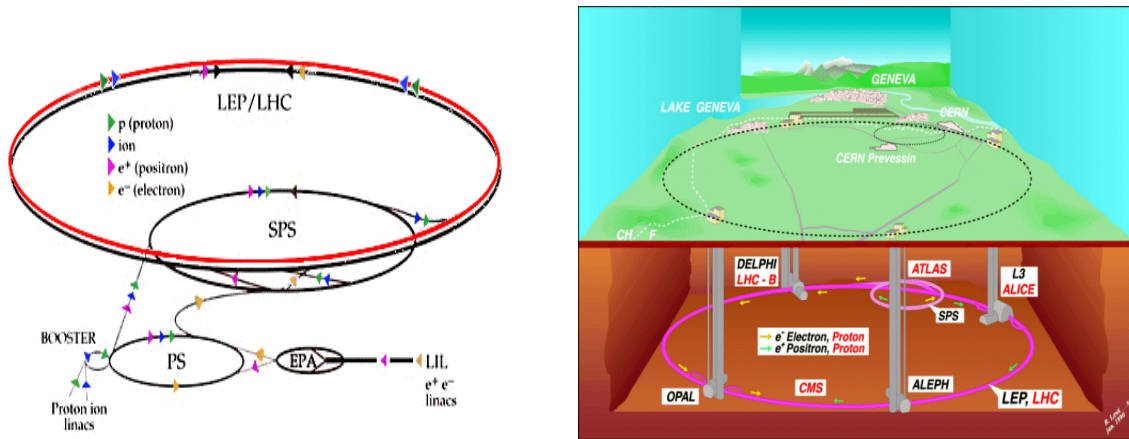
Bu çalışmada, SM-benzeri  $Z'$  model (sequential model) için farklı spin durumlarına bağlı olarak normalize tesir kesiti hesaplanmıştır. Şekil 1 de görüldüğü gibi, yeni ayar bozonu  $Z'$  için kütle değeri 3TeV alındığında ve tesir kesitinin grafiği açığa bağlı olarak çizdirildiğinde,  $\xi=1$  spin durumu daha çok ileri yönde baskın olurken,  $\xi=-1$  spin durumu ise geri yönde baskın olmaktadır. Normalize tesir kesiti ise  $\xi=1$  spin durumu için pozitif z-ekseninde artış gösterirken  $\xi=-1$  spin durumları negatif bölgede etkindir. Normalize tesir kesitindeki artış, multi-TeV mertebesindeki yeni fiziğin varlığını ortaya çıkaracağı için elde edilen sonuçlar bunun için iyi bir kanıttır.



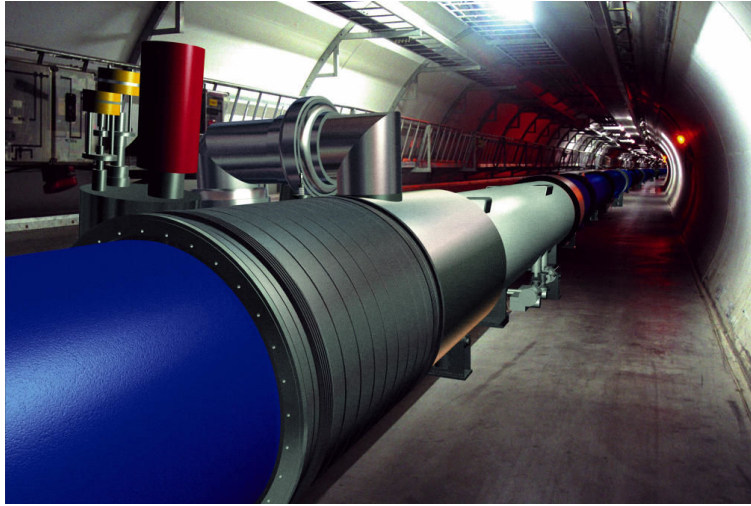
Şekil 1. Sequential model'de farklı spin durumlarının fonksiyonu olarak normalize tesir kesiti.

Çarpıştırıcılarda yapılan deneysel ve teorik bulguların ışığında birçok alanda teknolojik ilerlemeler kaydedilmektedir. Özellikle CLIC gibi yeni nesil çarpıştırıcılarda ve yüksek enerjilerde elde edilen teorik verilerin deneylerle test edilerek doğrulanması olası olarak görülmektedir. Bu tür çarpıştırıcılarda yapılan deneyler ve teorik hesaplar sayesinde teknolojik bir çok

alanda, özellikle tıbbi görüntüleme cihazlarında teknolojiye büyük katkı sağlanmaktadır. Şekil 3 ve 4 'de CERN araştırma merkezinde kullanılan teknolojinin bir kısmı görülmektedir. CERN nükleer araştırma merkezinde bu teknolojik araştırma ve geliştirmeler devam etmektedir.



Şekil 3 Büyük Hadron Çarpıştırıcısı şeması



Şekil 4. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı tüneli

**KAYNAKLAR**

[1] Langacker P., “The Physics of Heavy Z' Gauge Bosons”, Rev.Mod.Phys. 81 1199-1228,2009.

[2] Barreto E.R. et al. , “Bounds for Z' Mass in 3-3-1 Models from  $e^+ e^-$  Collisions at ILC and CLIC Energies”, hep-ph/0605098 , 2006.

[3] Barreto E.R. et al. , “Extra Neutral Gauge Boson from Two Versions of the 3-3-1 Model in Future Linear Colliders”, Eur.Phys.J.C50, 909-917, 2007,hep-ph/0703099

[4] J. L. Hewett and T.G.Rizzo, “Low-Energy Phenomenology of Superstring-inspired  $E_6$  Models” Phys. Rept. 183, 193 (1989).

[5] Barger V. et al., “Production, Decays and Forward Backward Asymmetries of Extra Gauge Bosons in  $E(6)$ ”, Phys.Rev.D35, 2893, 1987.

[6] Ninh L. D. and Long H. N., “SM Higgs boson production at CERN in 3-3-1 model with right-handed neutrinos”, Phys.Rev.D72, 075004, 2005.

[7] Abulencia A. et al. CDF Collaboration, “Search for high-mass resonances decaying to  $e \rightarrow \mu$  in pp collisions at 1.96TeV” Phys. Rev. Lett. 96, 211801 (2006).

[8] Cheung King-man, “Constraints on electron quark contact interactions and implications to models of leptoquark and extra Z bosons” Phys. Lett. B517, 167 (2001).

[9] Abe F. et al., “Search for new gauge bosons decaying into dileptons in pp collisions at 1.8 TeV”, Phys. Rev. Lett. 79, 2192 (1997).

[10] Abbiendi G. et al., “Tests of the Standard model and constraints on new physics from measurements of

fermion pair production 189-209GeV at LEP”, Eur. Phys. J. C33, 173 (2004).

[11] Cho Gi-Chol, “Looking for Z' bosons in supersymmetric  $E_6$  models through electroweak precision data”, Mod. Phys. Lett. A15, 311 (2000).

[12] Rizzo T. G., “Z' phenomenology and the LHC” Proceedings C06-06-04, 537-575, 2006.