

Doğrusal Çarpıştırıcılarda Dördüncü Aile Kuarklarının FB Asimetritleri

V. Çetinkaya, V. Arı, O. Çakır

Ankara Üniversitesi
Fizik Bölümü

Ankara YEF Günleri '11
27-30 Aralık 2011
A.Ü.M.F.

İÇERİK

- Giriş: Dördüncü Aile & Z' Modelleri
- Dördüncü Aile Kuarklarının Etkileşmeleri
- Doğrusal Çarpıştırıcılarda Üretim Tesir Kesitleri
- İleri-Geri Yön Saçılma Asimetrisi (FB)
- Sonuçlar

Giriş: Dördüncü Aile

Quarks	u	c	t	t'
	d	s	b	b'
Leptons	ν_e	ν_μ	ν_τ	ν'
	e	μ	τ	l'
	I	II	III	IV

Kütle limitleri

$m_{t'} > 335 \text{ GeV}$ 95% CL ile.

[A. Lister, [CDF Collaboration], arXiv: 0810.3349 [hep-ex]].

$t' \rightarrow W^+q$ (burada, $q = d, s, b$ şeklindedir.)

$m_{b'} > 338 \text{ GeV}$ 95% CL ile.

[T. Aaltonen et al., [CDF Collaboration], Phys. Rev. Lett. 104, 091801 (2010)].

$b' \rightarrow W^-t$

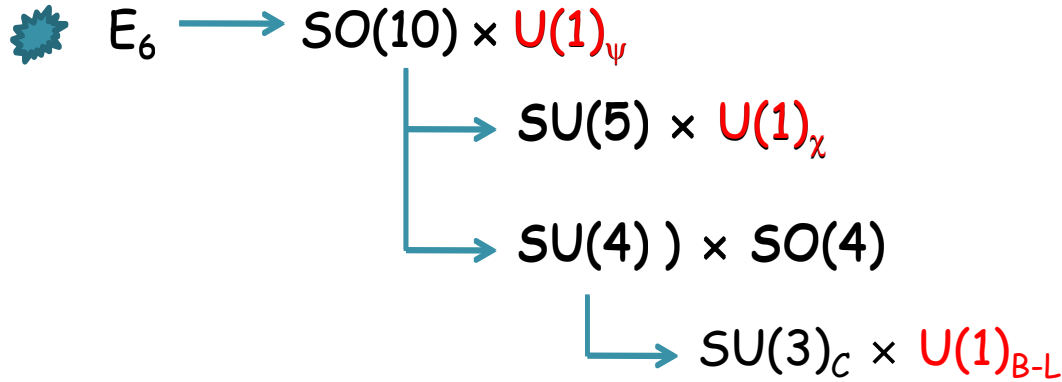
?

Dördüncü aile kuarkları arasındaki kütle farkı sınırı: $|m_{t'} - m_{b'}| \approx 50 - 70 \text{ GeV}$

[G.D. Kribs et al., Phys. Rev. D 76, 075].

[J. Erler and P. Langacker, Phys. Rev. Lett. 105, 031801 (2010)].

Giriş: Z' Modelleri



kütle özdurumu

$$Z'(\theta) = Z'_\psi \cos\theta + Z'_\chi \sin\theta \longrightarrow Z'(\theta) = \begin{cases} Z'_\psi, & \theta = 0 \text{ ise} \\ Z'_\chi, & \theta = \pi/2 \text{ ise} \\ Z'_\eta, & \theta = \arctan(3/5)^{1/2} \text{ ise} \end{cases}$$

$Z'_S \longrightarrow$ Fermiyonlarla bağlaşımı tıpkı SM'nin Z bozonunda olduğu gibidir.

$Z'_{B-L} \longrightarrow$ SM'nin minimal B-L genişlemesiyle ilişkili bağlaşımlara sahip olduğu modeldir.

Dördüncü Aile Kuarklarıyla Etkileşmeler

Z' bozonunun SM fermiyonlarıyla (f) etkileşmesi genel olarak şöyle yazılır.

$$\begin{aligned}
 L &= g_{z'} \bar{f} \gamma^\mu \left(z_{f_L} P_L + z_{f_R} P_R \right) f Z'_\mu \\
 &= g_{z'} \bar{f} \gamma^\mu \left(\frac{z_{f_L} + z_{f_R}}{2} - \frac{z_{f_L} - z_{f_R}}{2} \gamma^5 \right) f Z'_\mu \\
 &\equiv g_{z'} \bar{f} \gamma^\mu \frac{1}{2} \left(C_{f_V} - C_{f_A} \gamma^5 \right) f Z'_\mu \quad [\text{F. Halzen, A. D. Martin}]
 \end{aligned}$$

Dördüncü aile kuarklarının (Q_i) yüksüz ayar bozonlarıyla (g, γ, Z, Z') ve leptonlarının (L_i) elektrozayıf ayar bozonlarıyla (γ, Z, Z') etkileşmeleri aşağıdaki lagranjyenle betimlenebilir. Aynı zamanda dördüncü aile fermiyonlarının (F_i) bilinen üç aileli fermiyonlarla (f_i) etkileşmeleri yüklü akımlar (W^\pm) yoluyla olur.

$$\begin{aligned}
 L' &= -g_s \bar{Q}_i T^a \gamma^\mu Q_i G_\mu^a - g_e Q_F \bar{F}_i \gamma^\mu F_i A_\mu - \frac{g}{2\sqrt{2}} V_{ij} \bar{F}_i \gamma^\mu (1 - \gamma^5) f_j W_\mu \\
 &\quad - \frac{g_z}{2} \bar{F}_i \gamma^\mu \left(C_V^F - C_A^F \gamma^5 \right) F_i Z_\mu - \frac{g_{z'}}{2} \bar{F}_i \gamma^\mu \left(C_V'^F - C_A'^F \gamma^5 \right) F_i Z'_\mu + h.c.
 \end{aligned}$$

Tablo I. Farklı modellerle öngörülen yeni Z' bozon ile vektör ve aksiyel vektör bağlaşımları.

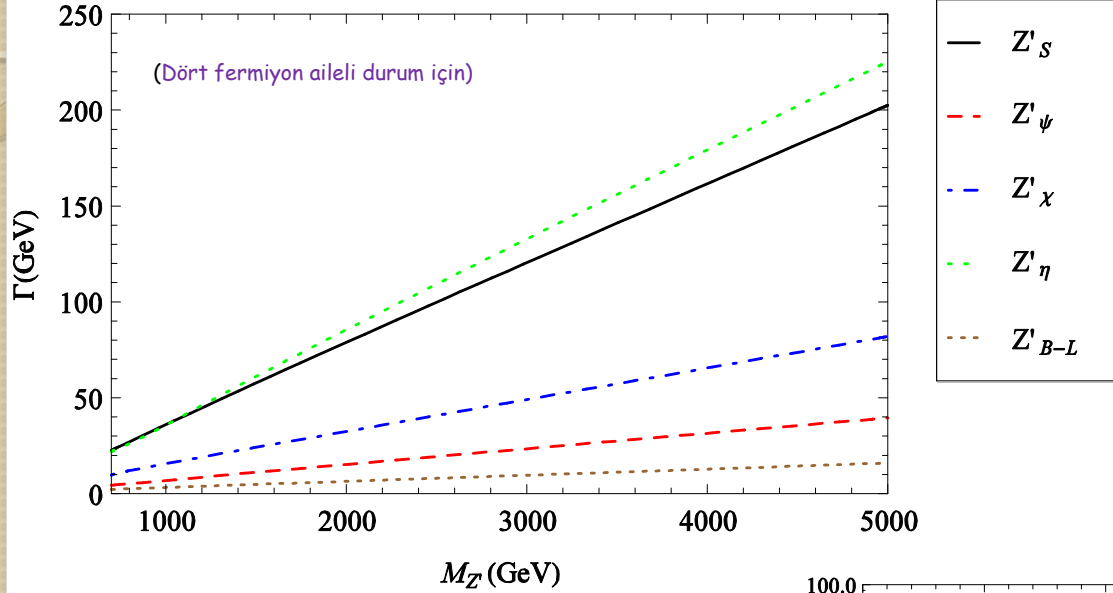
Aşağı tipli kuarklar		Yukarı tipli kuarklar		Yüklü leptonlar		Nötrinolar	
C'_V	C'_A	C'_V	C'_A	C'_V	C'_A	C'_V	C'_A
Z'_S							
$-\frac{1}{2} + \frac{2}{3} \sin^2 \theta_w$	$-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2} - \frac{4}{3} \sin^2 \theta_w$	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2} + 2 \sin^2 \theta_w$	$-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
Z'_ψ							
0	$\frac{\sqrt{10}}{6} \sin \theta_w$	0	$\frac{\sqrt{10}}{6} \sin \theta_w$	0	$\frac{\sqrt{10}}{6} \sin \theta_w$	$\frac{\sqrt{10}}{12} \sin \theta_w$	$\frac{\sqrt{10}}{12} \sin \theta_w$
Z'_χ							
$\frac{\sqrt{6}}{3} \sin \theta_w$	$-\frac{\sqrt{6}}{6} \sin \theta_w$	0	$\frac{\sqrt{6}}{6} \sin \theta_w$	$-\frac{\sqrt{6}}{3} \sin \theta_w$	$-\frac{\sqrt{6}}{6} \sin \theta_w$	$-\sqrt{6} \sin \theta_w$	$-\sqrt{6} \sin \theta_w$
Z'_η							
$\sin \theta_w$	$\frac{1}{3} \sin \theta_w$	0	$4 \sin \theta_w$	$-\sin \theta_w$	$\frac{1}{3} \sin \theta_w$	$-\frac{1}{3} \sin \theta_w$	$-\frac{1}{3} \sin \theta_w$
Z'_{B-L}							
$\frac{2}{3}$	0	$\frac{2}{3}$	0	-2	0	-1	-1

[C. Ciobanu et al. FERMILAB-FN-0773, 2007]

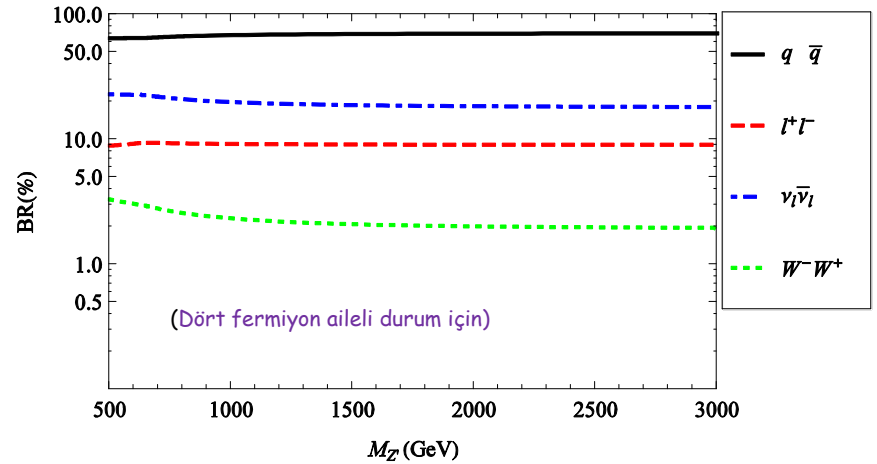
Farklı modellerle öngörülen Z' için bozunma genişlikleri

$$\Gamma(Z' \rightarrow F\bar{F}) = \frac{N_c g_{Z'}^2}{48\pi M_{Z'}} \sqrt{1 - 4 \frac{M_F^2}{M_{Z'}^2}} \left[(C_A^{F'})^2 (-4M_F^2 + M_{Z'}^2) + (C_V^{F'})^2 (2M_F^2 + M_{Z'}^2) \right]$$

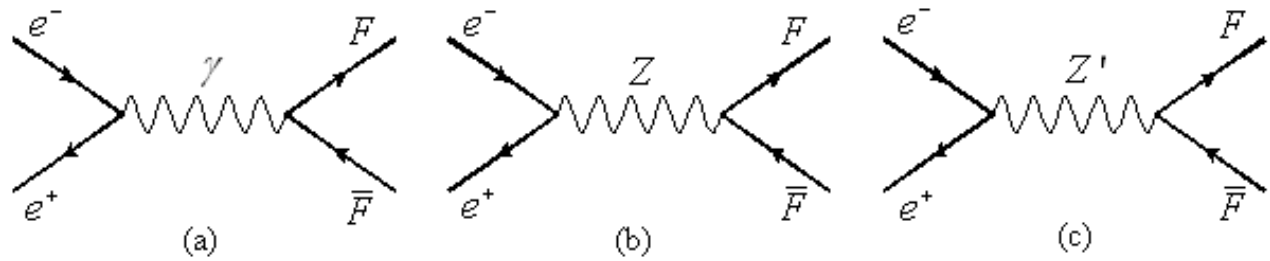
$$\Gamma(Z' \rightarrow W^+W^-) = \frac{g_w^2 \cos^2 \theta_w k^2}{192\pi M_{Z'} M_w^4} \sqrt{1 - 4 \frac{M_w^2}{M_{Z'}^2}} \left[-48M_w^6 - 68M_w^4 M_{Z'}^2 + 16M_w^2 M_{Z'}^4 + M_{Z'}^6 \right] \left(\frac{M_Z}{M_{Z'}} \right)^4$$



Dallanma oranı
(Seq. model)



Üretim Tesir Kesitleri



$e^- e^+ \rightarrow F \bar{F}$ ($F = t', b'$) süreçleri için Feynman diyagramları.

$$\begin{aligned}
 \frac{d\sigma(e^-e^+ \rightarrow F\bar{F})}{dt} = & \frac{1}{16\pi s^2} \left\{ \frac{2g_e^4}{s^2} (A_1 Q_F^2) \right. \\
 & + \frac{g_Z^4}{8 \left[(M_Z^2 - s)^2 + M_Z^2 \Gamma_Z^2 \right]} \left[(C_A^{e2} + C_V^{e2}) (C_V^{F2} A_1 + C_A^{F2} A_2) + 4C_A^e C_A^F C_V^e C_V^F s A_3 \right] \\
 & + \frac{g_{Z'}^4}{8 \left[(M_{Z'}^2 - s)^2 + M_{Z'}^2 \Gamma_{Z'}^2 \right]} \left[(C_A'^{e2} + C_V'^{e2}) (C_V'^{F2} A_1 + C_A'^{F2} A_2) + 4C_A'^e C_A'^F C_V'^e C_V'^F s A_3 \right] \\
 & - \frac{g_e^2 g_Z^2 (-Q_F) (M_Z^2 - s)}{2s \left[(M_Z^2 - s)^2 + M_Z^2 \Gamma_Z^2 \right]} (C_A^e C_A^F s A_3 + C_V^e C_V^F s A_1) \\
 & - \frac{g_e^2 g_{Z'}^2 (-Q_F) (M_{Z'}^2 - s)}{2s \left[(M_{Z'}^2 - s)^2 + M_{Z'}^2 \Gamma_{Z'}^2 \right]} (C_A'^e C_A'^F s A_3 + C_V'^e C_V'^F s A_1) \\
 & + \frac{g_Z^2 g_{Z'}^2 \left[M_Z^2 (M_{Z'}^2 - s) + M_Z M_{Z'} \Gamma_Z \Gamma_{Z'} + s (s - M_{Z'}^2) \right]}{\left[(M_Z^2 - s)^2 + M_Z^2 \Gamma_Z^2 \right] \left[(M_{Z'}^2 - s)^2 + M_{Z'}^2 \Gamma_{Z'}^2 \right]} \\
 & \times \left\{ C_A^e \left[C_A'^e (C_A^F C_A'^F A_2 + C_V^F C_V'^F A_1) + C_V'^e s A_3 (C_A^F C_V'^F + C_A'^F C_V^F) \right] \right. \\
 & \left. + C_V^e \left[C_A^F (C_A'^e C_V'^F s A_3 + C_A'^F C_V'^e A_2) + C_V^F (C_A'^e C_A'^F s A_3 + C_V'^e C_V'^F A_1) \right] \right\};
 \end{aligned}$$

$$A_1 = (s+t)^2 + t^2 - 4M_F^2 t + 2M_F^4, \quad A_2 = A_1 - 4M_F^2 s, \quad A_3 = s + 2t - 2M_F^2$$

Tablo II. 3 TeV kütle merkezi (KM) enerjili CLIC'te dördüncü aile çift üretimi süreçleri için fb cinsinden tesir kesitleri. Parantez içindeki sayılar 1 TeV KM enerjili ILC için sonuçları göstermektedir. Burada yüksüz ayar bozonları γ ve Z'dir.

Kütle (GeV)	$e^-e^+ \rightarrow b'\bar{b}'$	$e^-e^+ \rightarrow t'\bar{t}'$
300	9,93 (71,00)	19,70 (153,00)
400	9,74 (51,50)	19,40 (121,00)
500	9,48	19,20
600	9,17	18,80
700	8,79	18,30
800	8,35	17,70
900	7,83	17,00
1000	7,22	16,10

Tablo III. $e^-e^+ \rightarrow F\bar{F}$ ($F \equiv t', b'$) süreçleri için **1 TeV** KM enerjili çarpıştırıcıda öngörülen Z' modellerine göre tesir kesitleri. Burada $m_{t'}=m_{b'}+50$ GeV ve $m_{b'}=350$ GeV, ayrıca $M_{Z'}=1500$ GeV ve $\Gamma_{Z'}=57,7$ GeV alınmıştır.

Tesir kesitleri (fb)	Z'_S	Z'_ψ	Z'_χ	Z'_η	Z'_{B-L}
$e^-e^+ \rightarrow t'\bar{t}'$	106,29	124,35	119,05	128,60	112,20
$e^-e^+ \rightarrow b'\bar{b}'$	31,55	57,44	113,19	72,57	67,70

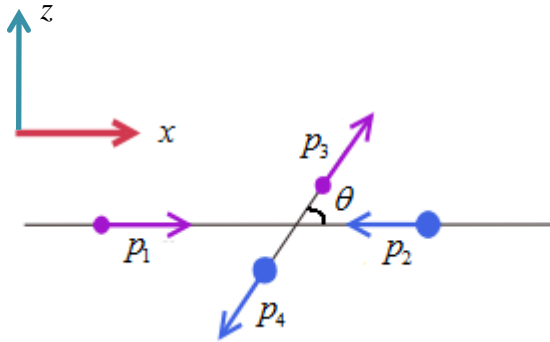
Tablo IV. Tablo III ile benzer, fakat **3 TeV** KM enerjili çarpıştırıcı için.

Tesir kesitleri (fb)	Z'_S	Z'_ψ	Z'_χ	Z'_η	Z'_{B-L}
$e^-e^+ \rightarrow t'\bar{t}'$	39,10	17,40	22,00	23,31	21,54
$e^-e^+ \rightarrow b'\bar{b}'$	35,94	12,87	6,81	8,58	8,85

İleri-Geri Yön Saçılma Asimetrisi

İleri-geri yön saçılma asimetrisi (Forward-backward asymmetry) şöyle verilir.

$$A_{FB} = \frac{\sigma(\cos \theta > 0) - \sigma(\cos \theta < 0)}{\sigma(\cos \theta > 0) + \sigma(\cos \theta < 0)}$$



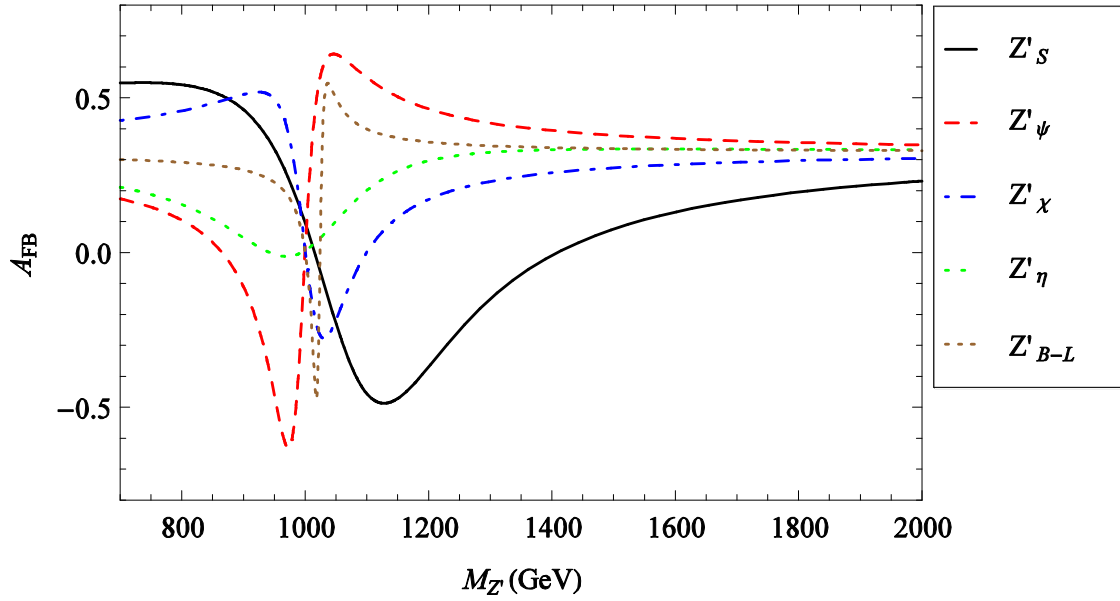
Kütle merkezi çerçevesinde
iki cisim saçılması.

$$p_1 = (E_1, |\vec{p}_1|, 0, 0)$$

$$p_2 = (E_2, -|\vec{p}_1|, 0, 0)$$

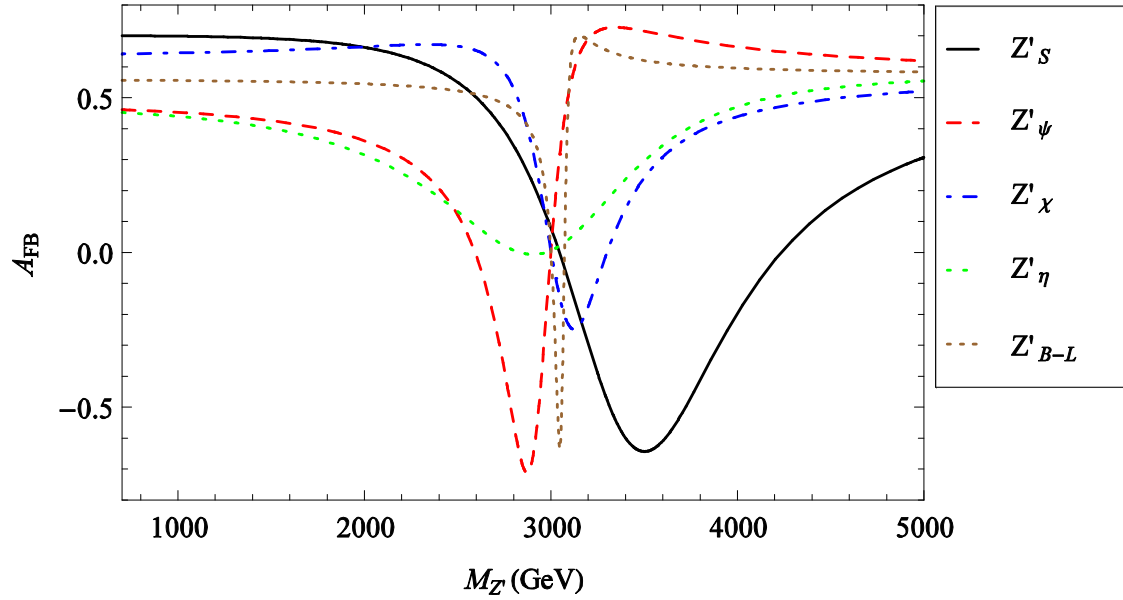
$$p_3 = (E_3, |\vec{p}_3| \cos \theta, 0, |\vec{p}_3| \sin \theta)$$

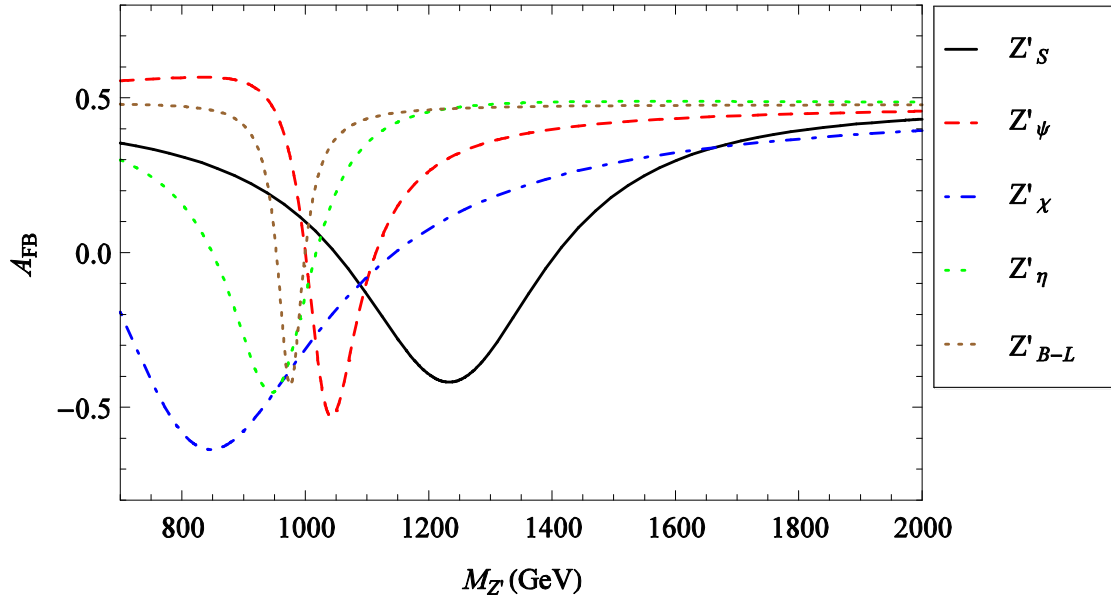
$$p_4 = (E_4, -|\vec{p}_3| \cos \theta, 0, -|\vec{p}_3| \sin \theta)$$



1 TeV'lik KM enerjisinde farklı Z' modellerinde t' kuark için ileri-geri yön saçılma asimetrisi.

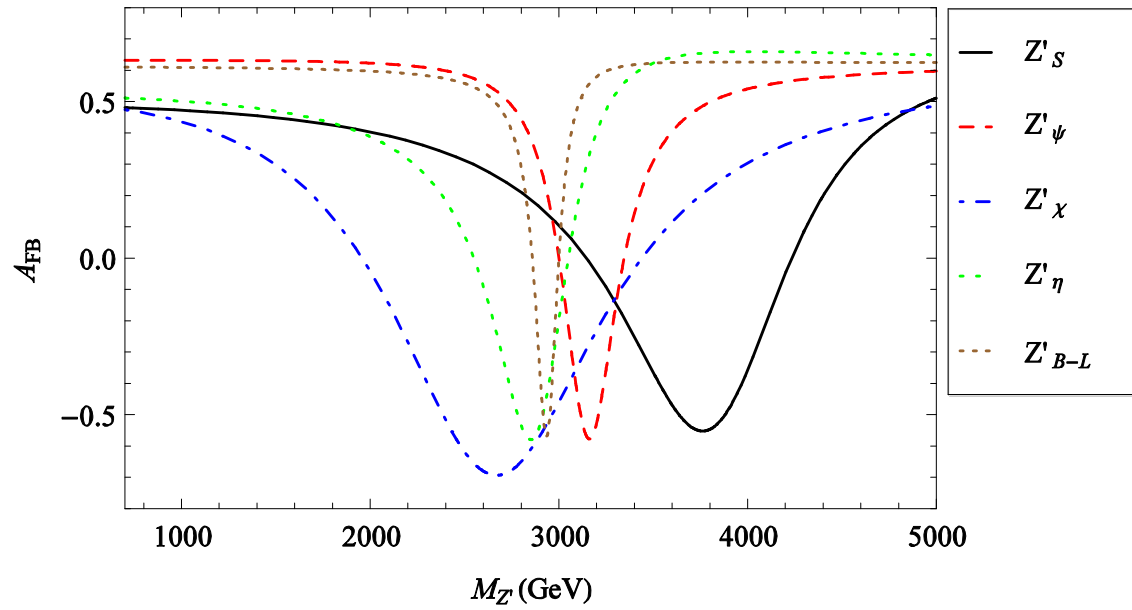
Benzer grafik 3 TeV için.



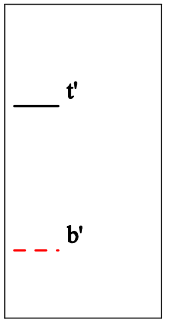
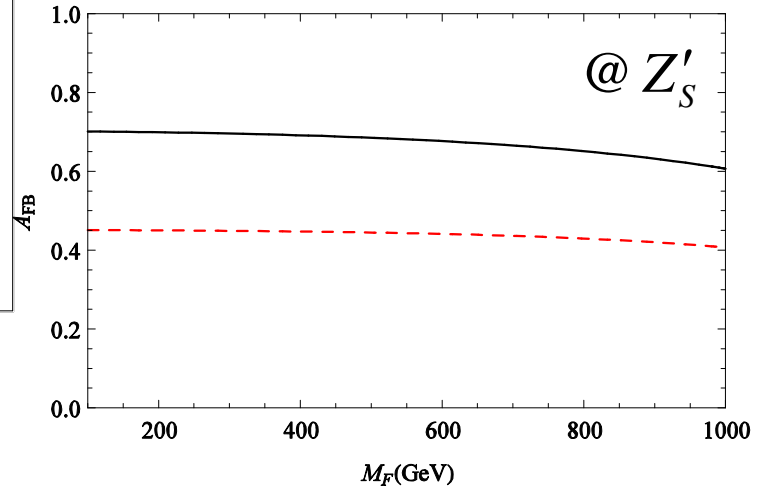
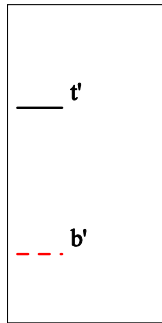
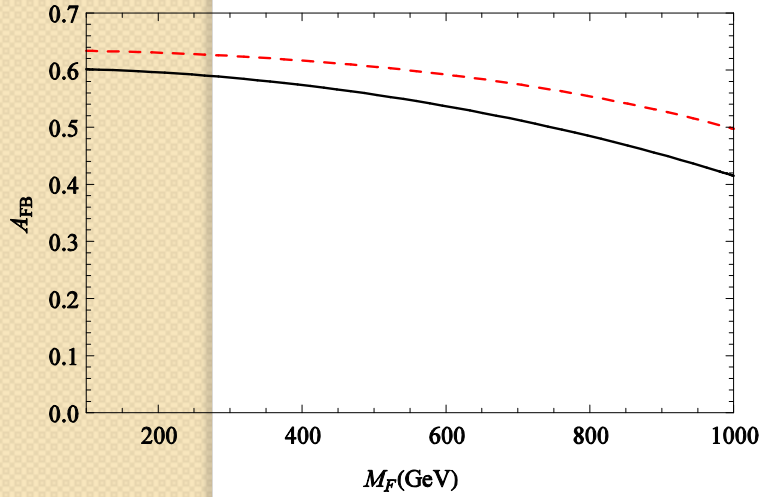
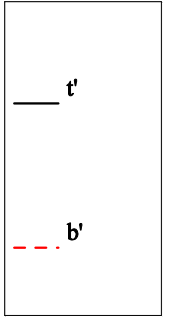
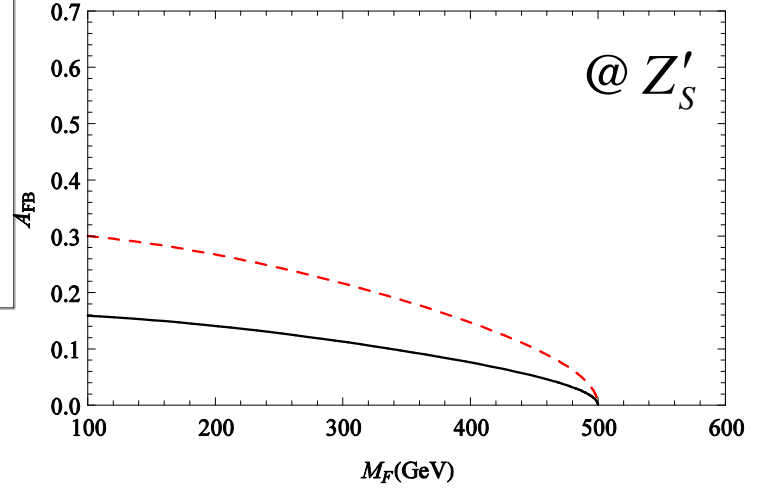
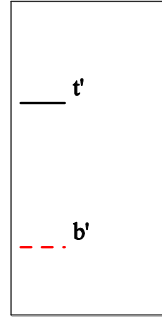
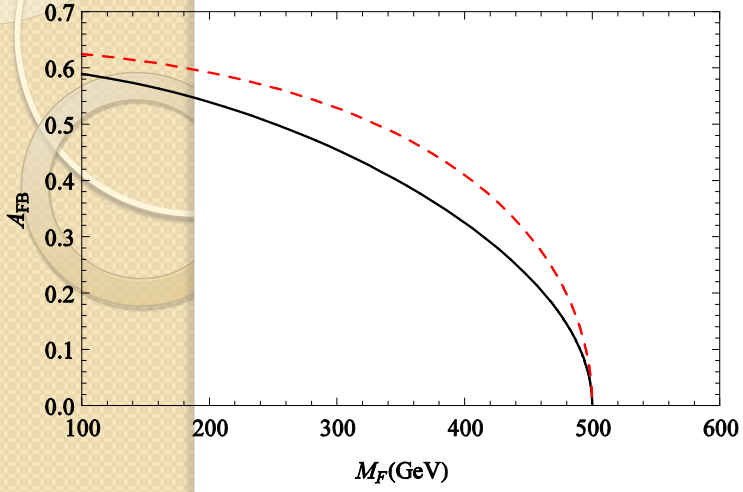


1 TeV'lik KM enerjisinde farklı Z' modellerinde b' kuark için ileri-geri yön saçılma asimetrisi.

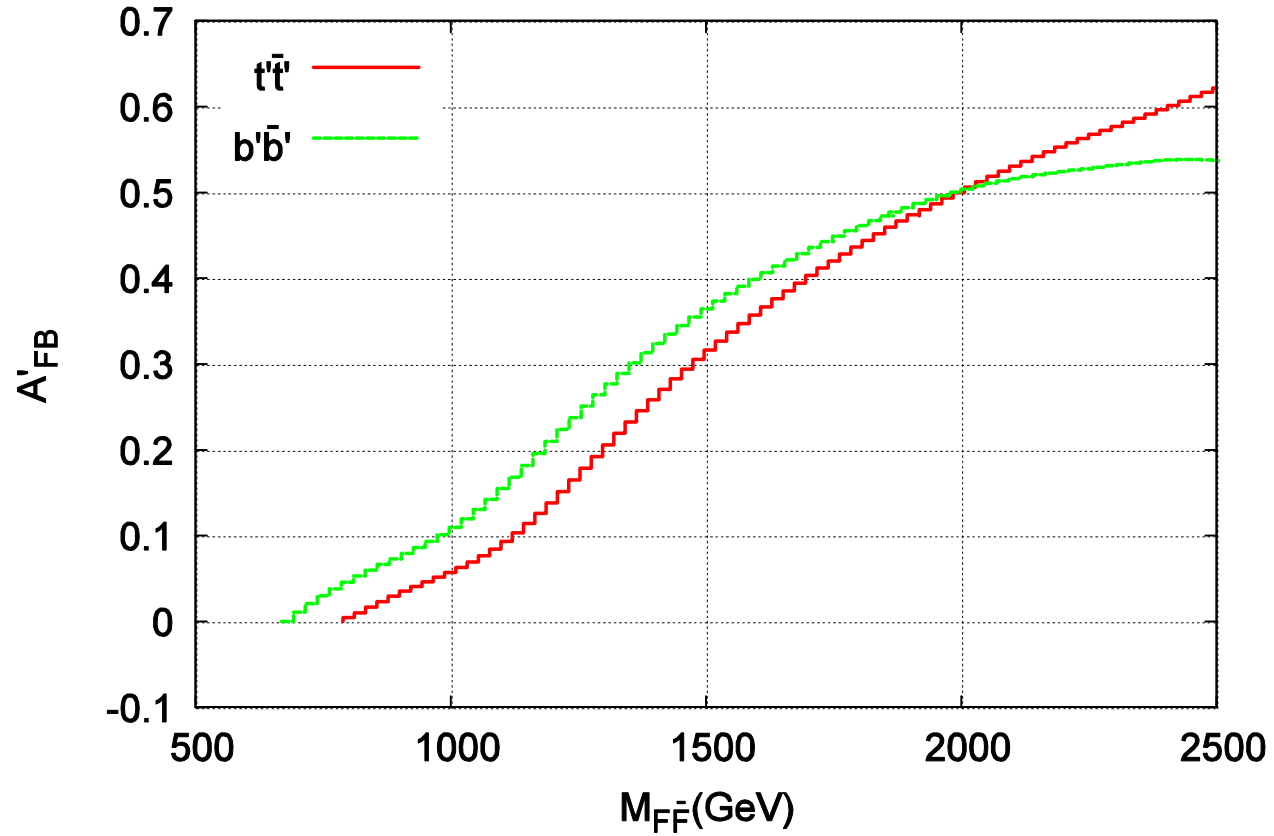
Benzer grafik 3 TeV için.



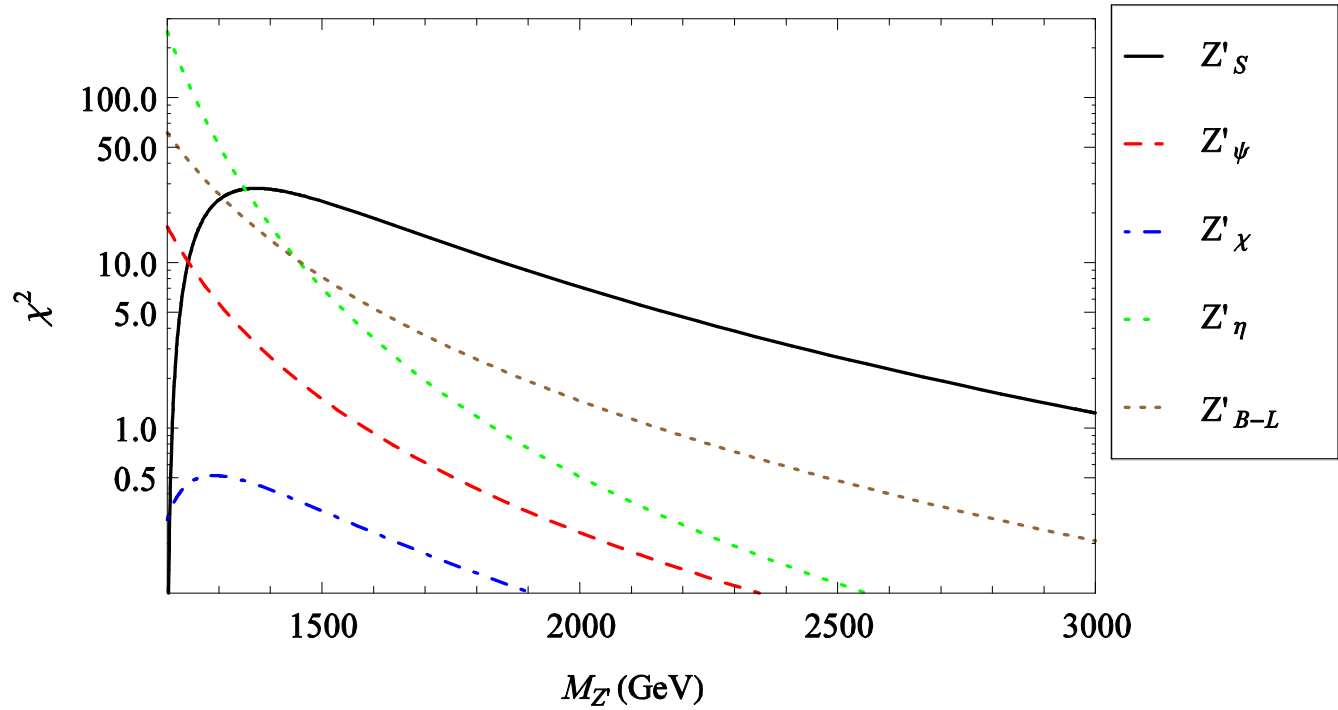
1 TeV ve 3 TeV KM enerjilerinde ağır kuark kütesine bağlı ileri-geri yön saçılma asimetripleri.



3 TeV KM enerjili CLIC'te Z'_ψ modeli için ağır kuark değişmez kütle (invariant mass) bağlı asimetri.



$$\chi^2 = \left(\frac{\sigma_{\text{toplam}}^{Z'} - \sigma_{\text{toplam}}^{\cancel{Z}'}}{\Delta\sigma_{\text{toplam}}^{\cancel{Z}'}} \right)^2 ; \Delta\sigma_{\text{toplam}}^{\cancel{Z}'} = \frac{\sigma_{\text{toplam}}^{\cancel{Z}'}}{\sqrt{\sigma_{\text{toplam}}^{\cancel{Z}'} L_{\text{int}} \mathcal{E}(BR)}}$$



Sonuçlar

- Lineer çarpıştırıcılarda $F\bar{F}$ üretim tesir kesitleri ve ileri-geri yön saçılma asimetrisinin araştırılması SM ötesindeki yeni modellerin daha ileri testlerine izin verebilecektir.
- Z' modelleri gözlenebilirler ve onların korelasyonu için farklı öngörüler vermektedir. Böylece lineer çarpıştırıcılarda bu gözlenebilirler çalışılarak Z' modelleri ayırt edilebilir.
- Dördüncü aile kuarkları ILC ve CLIC'te kinematik limite ($m_Q < \sqrt{s}/2$) kadar çift olarak üretilebilir.
- CLIC 3 TeV'de ağır kuarklar ($m_{t'} = m_b + 50 \text{ GeV}$, $m_{b'} = 350 \text{ GeV}$) t' ve b' için A_{FB} asimetrisi sırasıyla 0.58 ve 0.62 değerindedir.
- Değişmez kütle $M_{F\bar{F}} = 2 \text{ TeV}$ için Z'_ψ modeli çerçevesinde t' ve b' kuarkları $A_{FB} = 0.5$ değerinde asimetri üretmektedir.
- χ^2 grafiğine göre %95 CL. ile dört model belli Z' kütlelerine kadar Z' olmayan durumlardan ayırt edilebilir.

Kaynaklar

- [1] V. Ari et al. arXiv:1108.2908v1 [hep-ph] 14 Aug 2011.
- [2] J.L. Hewett and T.G. Rizzo, Phys. Rept. 183, 193 (1989).
- [3] A. Leike, Phys. Rept. 317, 143 (1999).
- [4] T.G. Rizzo, arXiv: hep-ph/0610104.
- [5] P. Langacker, arXiv: 0801.1345 [hep-ph].
- [6] K. Nakamura et al. (Particle Data Group), Jour. of Phys. G 37, 075021 (2010).
- [7] J. Erler et al., JHEP 0908, 017 (2009).
- [8] V.M. Abazov et al. (DO Collaboration), Phys. Rev. Lett. 100, 142002 (2008).
- [9] T. Aaltonen et al. (CDF Collaboration), arXiv:1101.0034; T. Aaltonen et al. (CDF Collaboration), Phys. Rev. Lett. 101, 202001 (2008).
- [10] The LEP Collaboration, Phys. Rept. 427, 257 (2006).
- [11] A. Djouadi, G. Moreau and F. Richard, Nucl. Phys. B 773, 43 (2007).
- [12] A. Djouadi et al., arXiv: 0906.0604 [hep-ph].
- [13] E.L. Berger et al., Phys. Rev. Lett. 106, 201801 (2011).
- [14] C. Ciobanu et al., Z' generation with PYTHIA, CDF/PHYS/EXOTICS/PUBLIC/7755 (2005).
- [15] J. Brau et al., ILC Reference Design Report Volume 3, arXiv:0712.1950 [physics.acc-ph].
- [16] J. Brau et al., ILC Reference Design Report Volume 2, arXiv:0709.1893 [hep-ph].
- [17] R.W. Assmann et al., (The CLIC Study Team), CERN 2000-008; CERN-2003-007; for an update see http://clic-meeting.web.cern.ch/clic-meeting/CLIC_Phys_Study_Website/default.html.
- [18] E. Accomando et al., (The CLIC Physics Working Group), CERN-2004-005, e-Print: hep-ph/0412251.
- [19] A. Pukhov et al., Preprint INP MSU 98-41/542, arXiv:hep-ph/9908288; A. Pukhov, e-Print Archive: hep-ph/0412191.