



İki-Jet Olaylarında Parton Çiftinin Belirlenmesi (ve İki-Jet Rezonansı Çalışmalarına Etkisinin Araştırılması)

Sertaç Öztürk

Gaziosmanpaşa Üniversitesi ve University of Iowa



ANKARA YEF GÜNLERİ 2015 ÇALIŞTAYI
12-13-14 Şubat

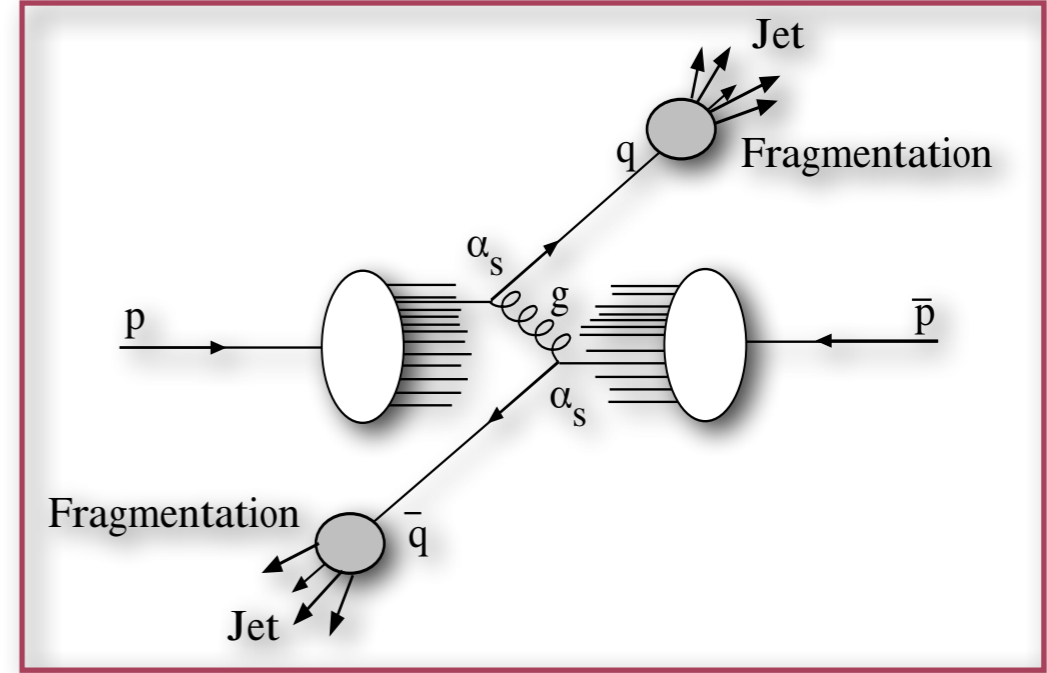
ANYEF 2015: Ankara Yüksek Enerji Fiziği Çalıştayı

İçerik

- İki-Jet Olayları ve Yeni Fizik
- CMS Deneyinde İki-Jet Rezonansı
- İki-Jet Olaylarında Parton Çiftinin Belirlenmesi
- İki-Jet Rezonansına Katkısı
- Özet

İki-Jet Üretimi

- ✓ KRD renk yüklü kuark ve gluonların etkileşmelerini açıklayan kuvvetli etkileşmelerin teorisidir.
- ✓ Son durum partonlar deneysel olarak gözlemlenen parçacık jetleri meydana getirirler.
 - ✓ Partonlar gluonlar yayımlar ve bu gluonlar kuark ve anti-kuark çiftlerine bozunurlar.
 - ✓ Bütün renkli objeler hadronizasyon sonucu renksiz parçacıklar oluşturur.
- ✓ İki-jet bir olaydaki en yüksek enerjili ilk iki jettir.



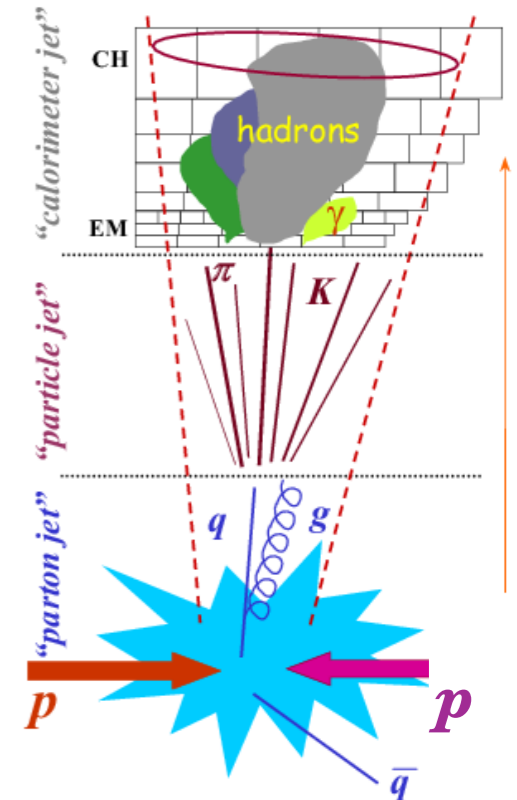
Sert saçılma sürecinin tesir kesiti

$$\sigma(P_1, P_2) = \sum_{i,j} \int dx_1 dx_2 f_i(x_1, \mu_F^2) f_j(x_2, \mu_F^2) \hat{\sigma}_{ij}(p_1, p_2, \alpha_s(\mu^2), Q^2/\mu^2)$$

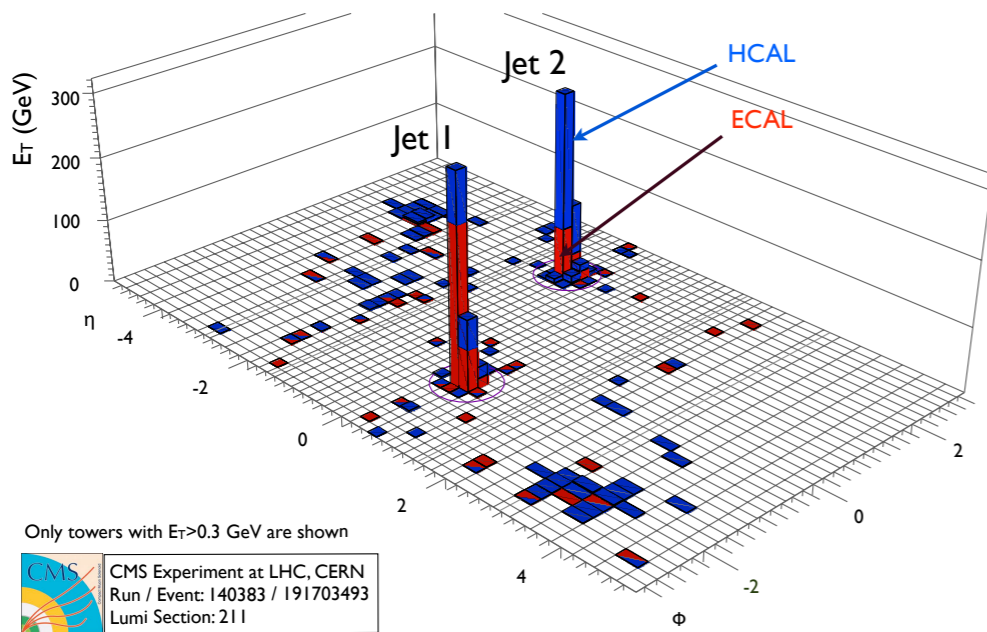
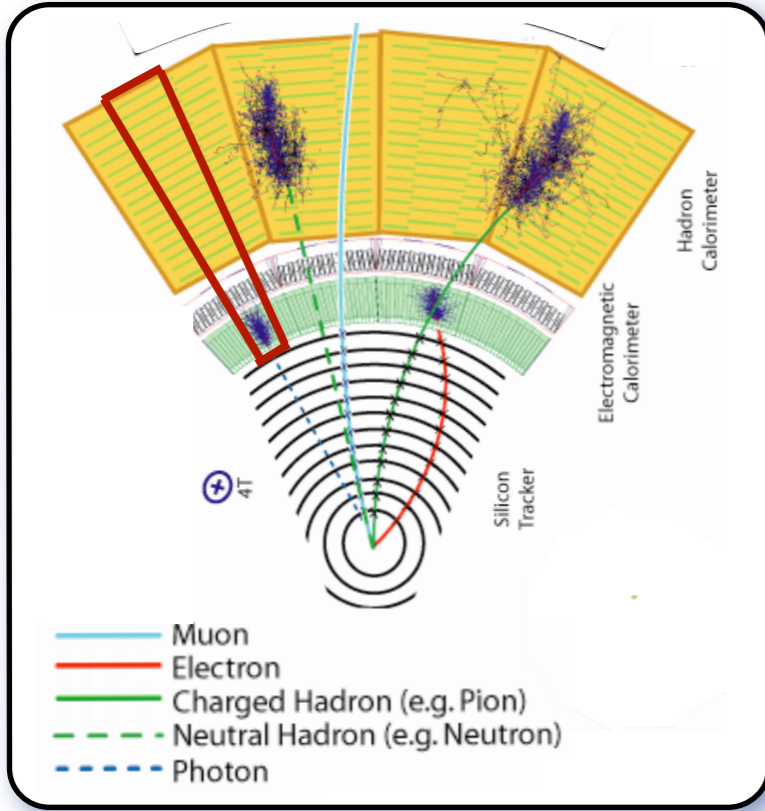
KRD etkileşim sabiti

$$\alpha_s(Q^2) = \frac{12\pi}{(33 - 2n_f) \ln(\frac{Q^2}{\Lambda^2})}$$

$Q^2 \rightarrow \infty$ veya $\Lambda \rightarrow 0$, kuarklar serbest parçacıklar olurlar. Buna "Asimtotik serbestlik" denir.



Jet Yapılandırması



- ☑ Jetler kirli objelerdir.
- ☑ Detektör bilgileri (izler, kalorimetre kuleleri, vb.) jet yapılandırması için girdilerdir.
- ☑ Jet yapılandırma algoritmaları jetlerin 4-vektör bileşenlerini elde eder.
 - ✓ İnfrared ve collinear güvenilir olmalıdır.
 - ✓ Anti-kt algoritması ($R=0.4$ ve 0.6) ATLAS ve CMS deneylerinin kullandığı jet yapılandırma algoritmasıdır.

$$d_{ij} = \min(p_{Ti}^{2p}, p_{Tj}^{2p}) \frac{\Delta R_{ij}^2}{R^2}$$

Düşük veya Yüksek Doğrultu

$$d_{iB} = p_{Ti}^{2p}$$

$$\Delta R_{ij}^2 = (y_i - y_j)^2 + (\phi_i - \phi_j)^2$$

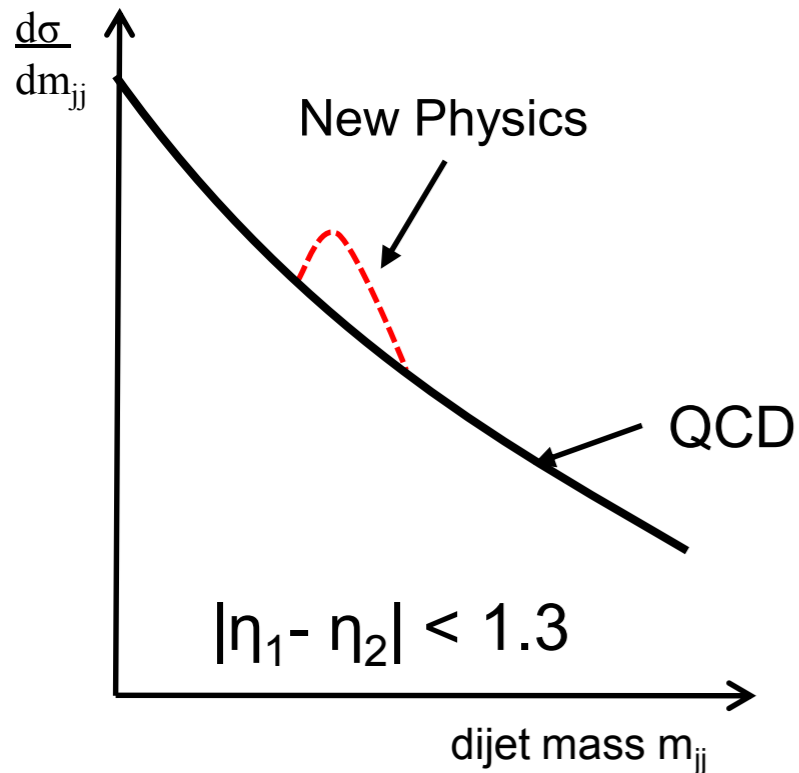
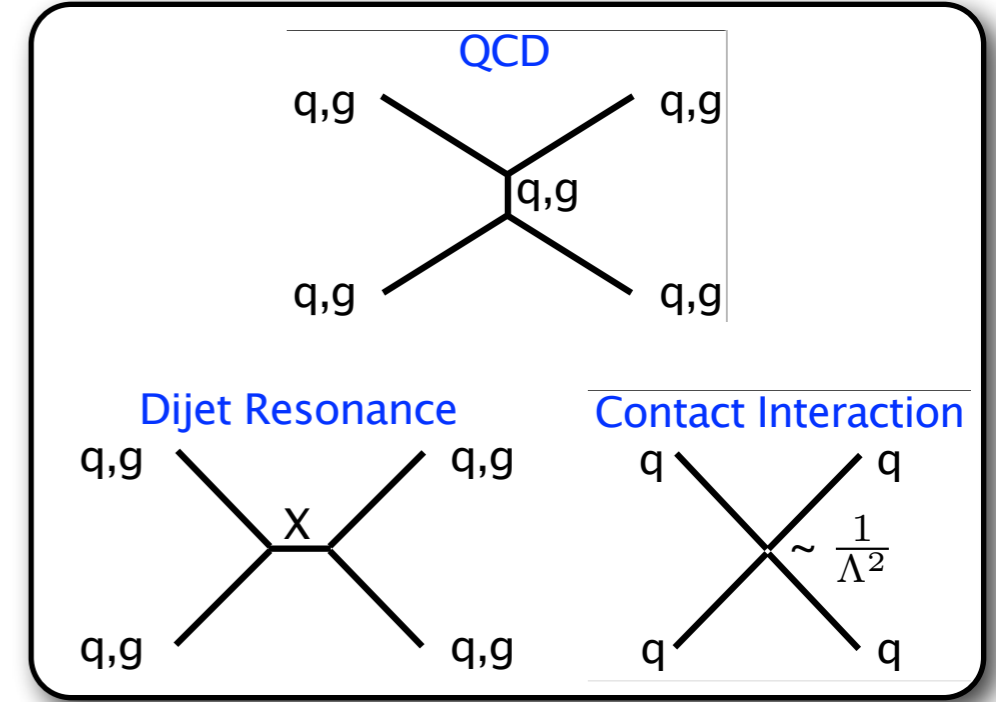
$p=1$: “ k_T ” (düşük p_T parçacıklar)

$p=0$: “**Cambridge-Aachen**” (mesafe)

$p=-1$: “**anti- k_T** ” (yüksek p_T parçacıklar)

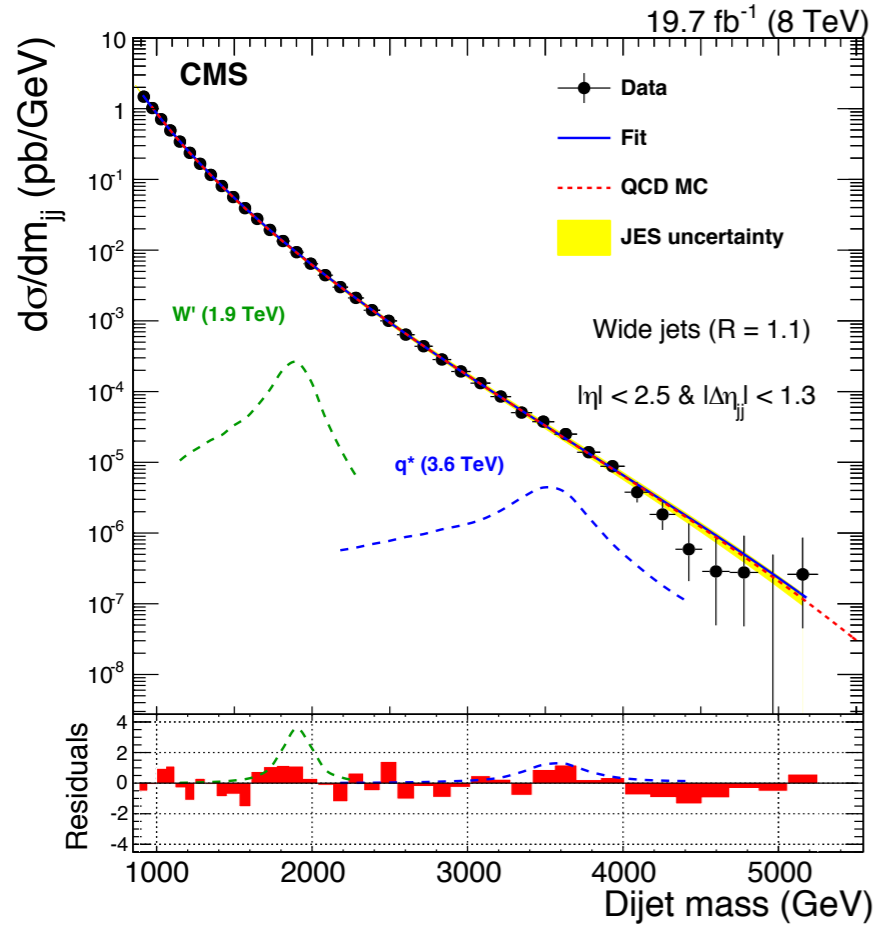
İki-Jet Rezonansı

- ✓ İki-jet olayları yeni fizik araştırmaları için oldukça kullanışlıdır.
- ✓ Öngörülen bir çok yeni parçacık kuarklar ve gluonlarla bağlaşım yapar.
 - ✓ Son durumda iki-jet olaylı olaylar meydana gelir.
- ✓ KRD olaylarını bir ardaalan oluşturur.
- ✓ Yeni fizik sinyalinin araştırılması



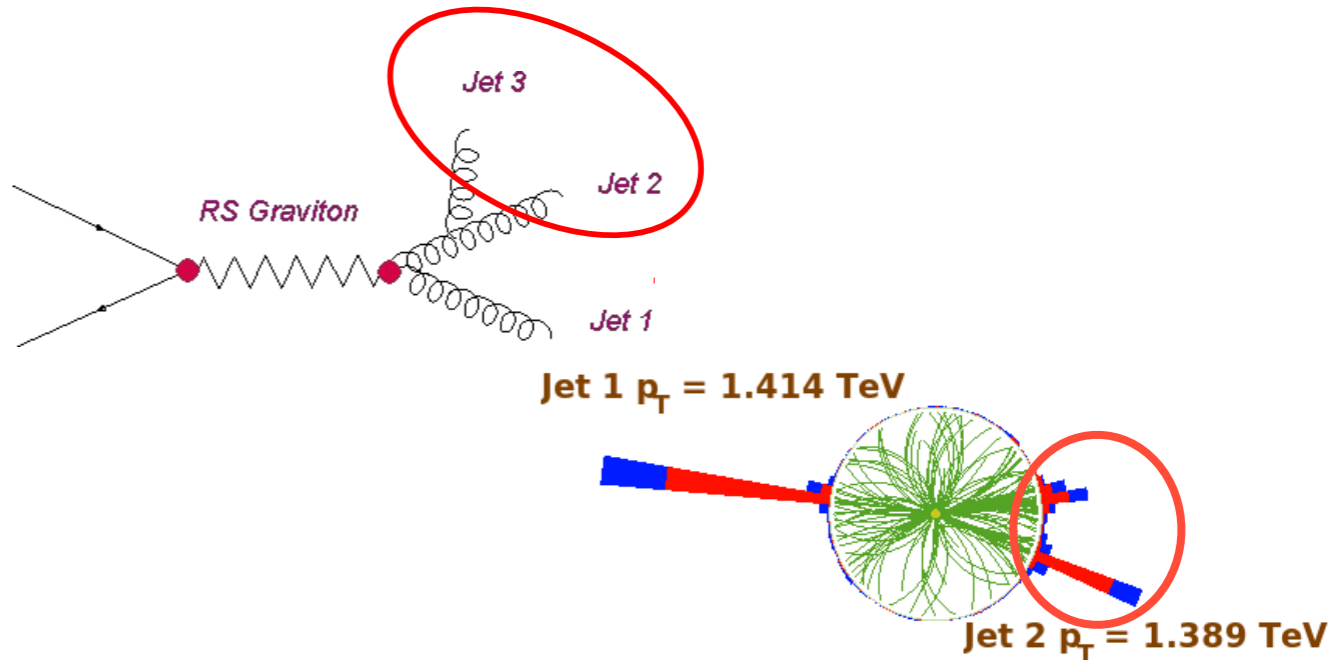
Model Name	X	Color	J^P	$\Gamma/(2M)$	Chan
Excited Quark	q^*	Triplet	$1/2^+$	0.02	qg
E_6 Diquark	D	Triplet	0^+	0.004	qq
Axigluon	A	Octet	1^+	0.05	$q\bar{q}$
Coloron	C	Octet	1^-	0.05	$q\bar{q}$
RS Graviton	G	Singlet	2^+	0.01	$q\bar{q}, gg$
Heavy W	W'	Singlet	1^-	0.01	$q\bar{q}$
Heavy Z	Z'	Singlet	1^-	0.01	$q\bar{q}$
String	S	mixed	mixed	0.003 – 0.037	$qg, q\bar{q}, gg$

CMS Deneyinde İki-Jet Rezonansı

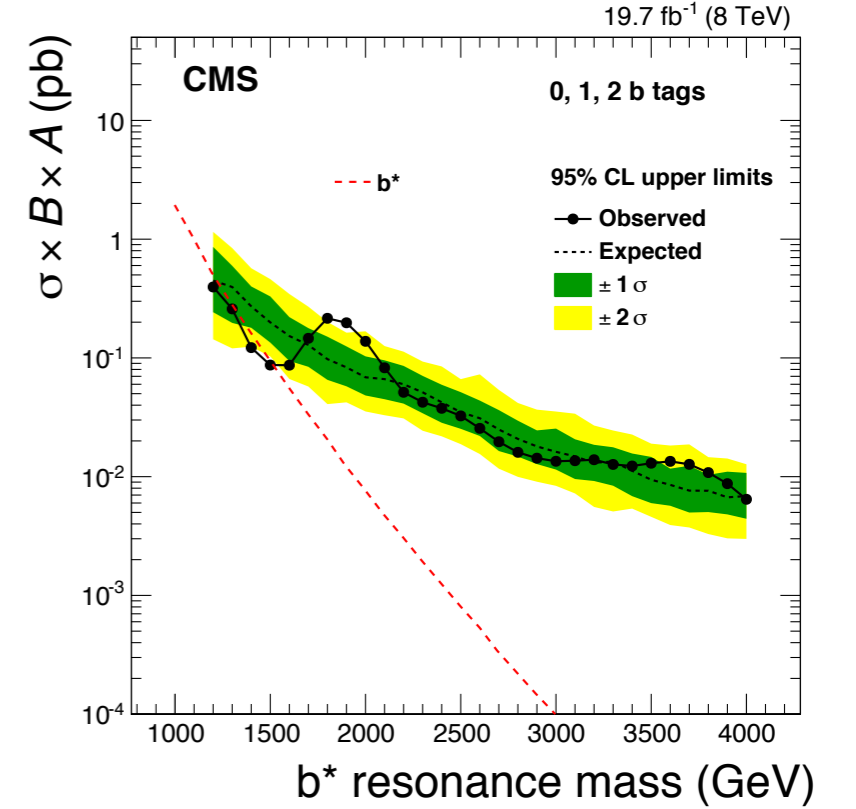
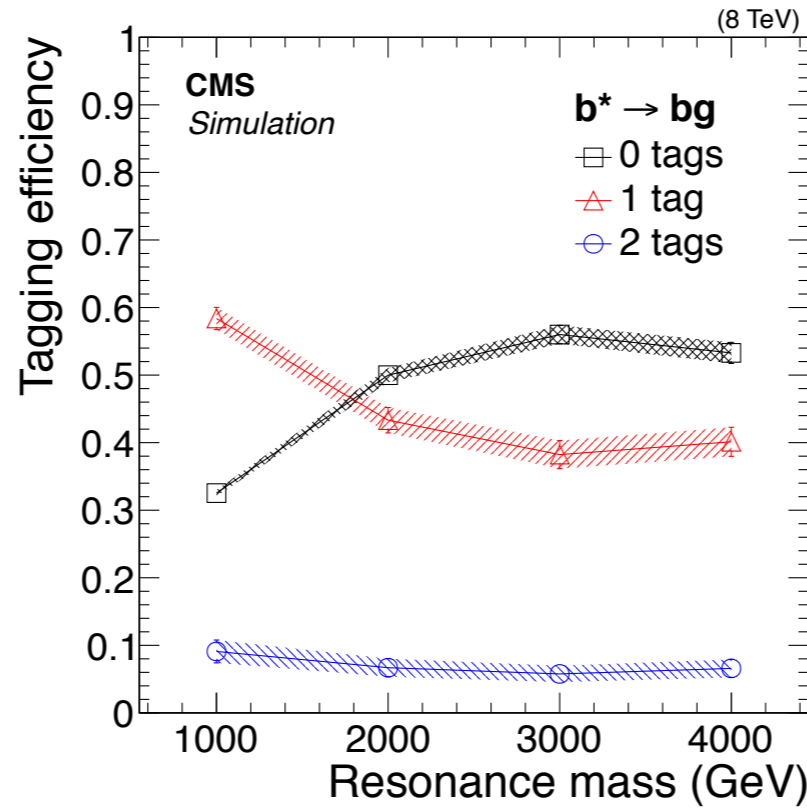
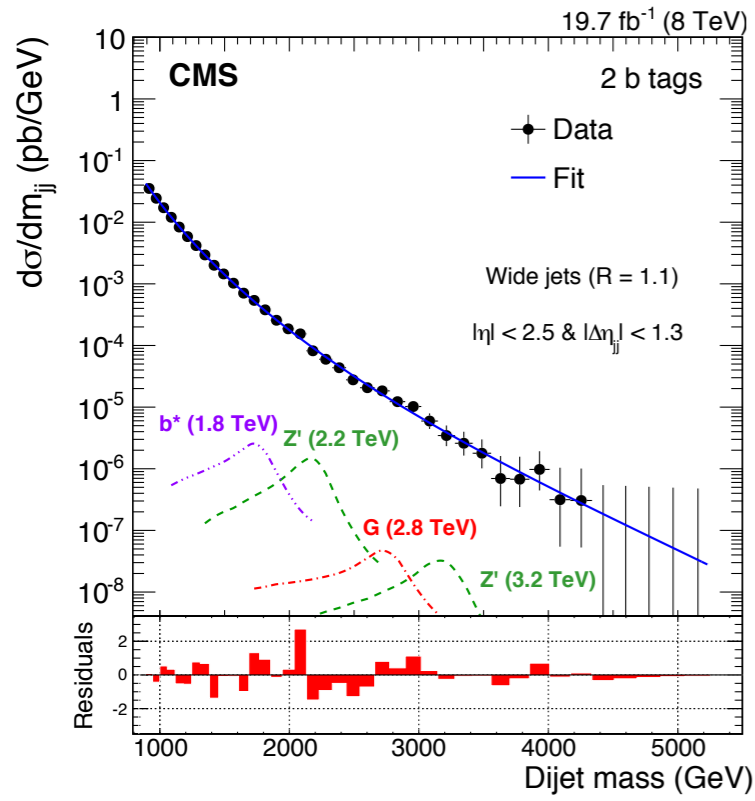


- ☑ İki-jet son durum kanalında yeni parçacıkların araştırılmaktadır.
- ✓ İki-jet kütle dağılımı ölçülür ve dağılımda tümseklik aranır.
- ☑ $|\eta| < 2.5$ and $|\Delta\eta| < 1.3$
- ✓ Sinyal şiddetini arttırmak ve ardalara olayları azaltmak için
- ☑ Geniş (şişman) jet yapılandırma metodu kullanıldı.
- ✓ En yüksek dik momentumlu iki AK5 PF jetleri merkez olarak al ve $p_T > 30$ GeV, $|\eta| < 2.5$ ve $\Delta R < 1.1$ olan jetleri ekle.
- ☑ Kütle dışarlama limit değerleri elde edildi.

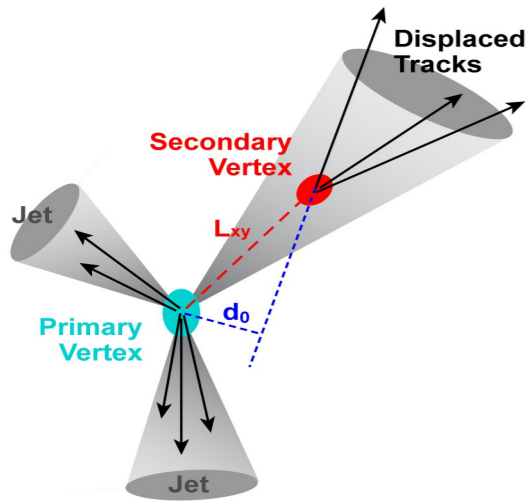
Model	Inclusive search		
	Final state	Observed mass exclusion (TeV)	Expected mass exclusion (TeV)
String resonance (S)	qg	[1.2,5.0]	[1.2,4.9]
Excited quark (q^*)	qg	[1.2,3.5]	[1.2,3.7]
E_6 diquark (D)	qq	[1.2,4.7]	[1.2,4.4]
W' boson (W')	$q\bar{q}$	[1.2,1.9] + [2.0,2.2]	[1.2,2.2]
Z' boson (Z')	$q\bar{q}$	[1.2,1.7]	[1.2,1.8]
RS graviton (G), $k/\bar{M}_{Pl} = 0.1$	$q\bar{q} + gg$	[1.2,1.6]	[1.2,1.3]
b-enriched search			
Excited b quark (b^*)	bg	[1.2,1.6]	
Wide resonance search			
Axigluon (A)/coloron (C)	$q\bar{q}$	[1.3,3.6]	
Color-octet scalar (S8)	gg	[1.3,2.5]	



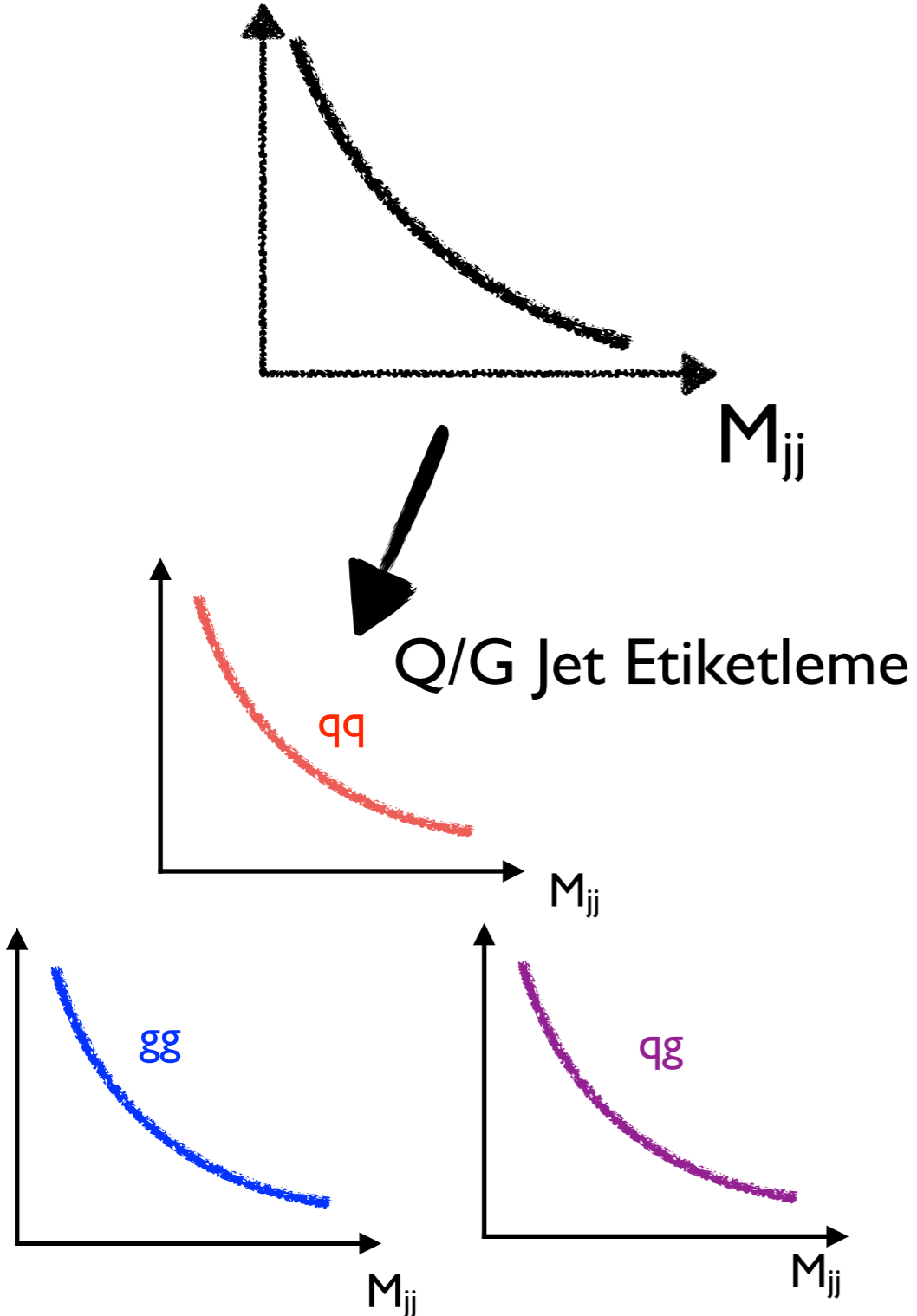
b-jet Etiketleme ile İki-Jet Rezonansı



- ☑ b-kuarkların bozunma süreleri hafif kuarklara kıyasla daha uzundur.
- ✓ b-kuark jetleri etiketlemeyi mümkün kılar.
- ☑ İki-jet rezonans çalışmasının b-jet etiketleme yöntemi ile daha hassas hale getirilebilir.
- ✓ b-jete bozunan modellerin duyarlılığının arttırılması
- ☑ 0, 1 ve 2 b-jet etiketleme oranlarının MC dan elde edilmesi
- ✓ Taralı alan b-jet etiketlemedeki SF belirsizliği
- ☑ Uyarılmış b-quark için kütle dışarlama değeri elde edildi.
- ☑ Benzer yaklaşım W/Z etiketleme metodu ile yapıldı ($q^* \rightarrow qW/Z$, $RSG \rightarrow WW/ZZ$ vb.)



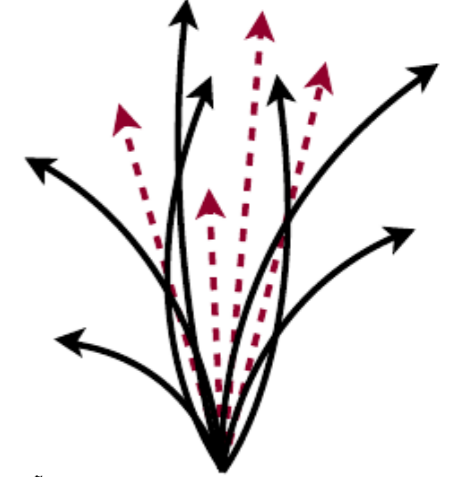
Motivasyon



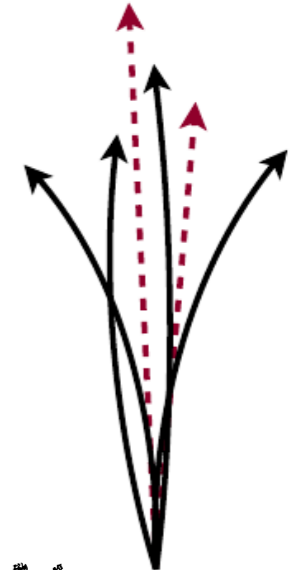
- ✓ Sinyal gözlemlenmesi durumunda sinyalin kaynağı belirlenebilir mi?
- ✓ Bir iki-jet olayında parton çiftini belirlemek mümkün olabilir mi?
 - ✓ Bunun için bir olay ayırıcı nasıl olmalıdır?
- ✓ İki-jet kütle dağılımını parton çiftlerine göre sınıflandırmak yeni fizik araştırmalarına ne kadar bir katkı yapar?

Kuark/Gluon Jet Etiketleme

- ☑ Kuarklar ile gluonlar arasında gözlemlenebilir farklılıklar vardır.
 - ✓ Renk yükü ($C_F=4/3$, $C_A=3$)
 - ✓ Elektrik yükü ($\pm 1/3$ ve $\pm 2/3$, 0)
 - ✓ Spin ($1/2$, 1)
- ☑ Bu farklılık kuark-jetleri, gluon-jetlerden ayırmayı mümkün kılar.
- ☑ Gluon jetlere kıyasla, kuark jetler:
 - ✓ Daha az KRD radyasyonu yayınlar.
 - ✓ Daha az bileşene sahiptir
 - ✓ Şekli daha dardır.
 - ✓ Bileşenler boyunca enerji paylaşımı daha az simetriktir.
- ☑ Kuark/gluon jet etiketleme bir çok fizik analizine önemli katkılar yapabilir.
 - ✓ Higgs araştırmaları (vektör bozon füzyonu)
 - ✓ SUSY
 - ✓ İki-jet rezonansı
 - ✓



Gluon jetler



Kuark jetler

Olay Üretimi ve Seçimi

✓ Olay Üretimi

✓ Pythia8 (v8.180)

✓ $q^* \rightarrow qq$ ve $RSG \rightarrow qq$ ($q=u,d,s,g$)

- ▶ Sadece hafif kuarklar düşünüldü. b-quark jetler, hafif kuark jetlere kıyasla gluon jetler ile daha fazla benzerlik göstermektedir.

✓ $M = 1,2,3,\dots, 7$ TeV

✓ Jet Yapılandırma

✓ Fastjet (v3.5.5)

✓ $p_T < 1$ GeV olan yüklü parçacıklar dışarılandı.

✓ Anti-kt , $R=0.5$

✓ Olay Seçimi

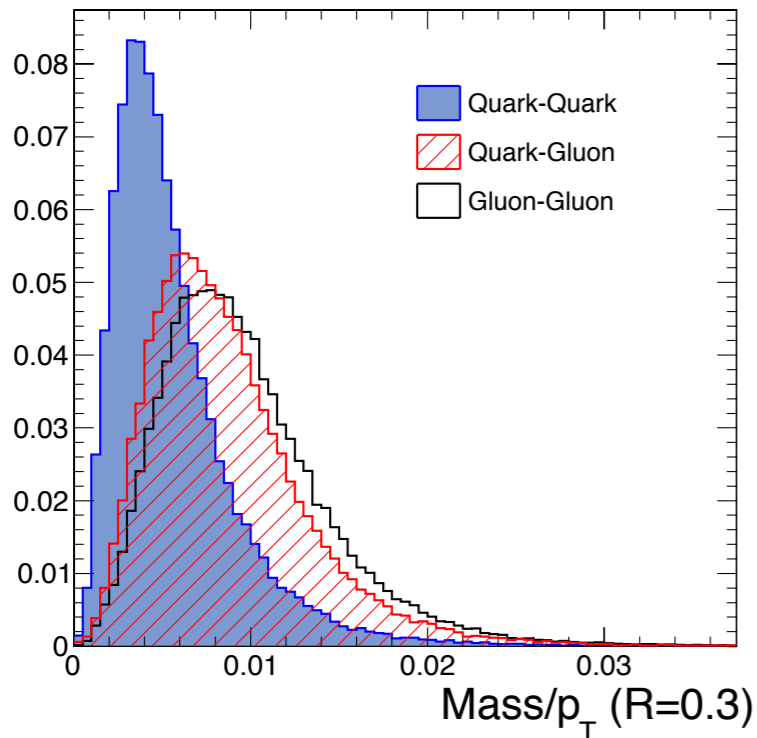
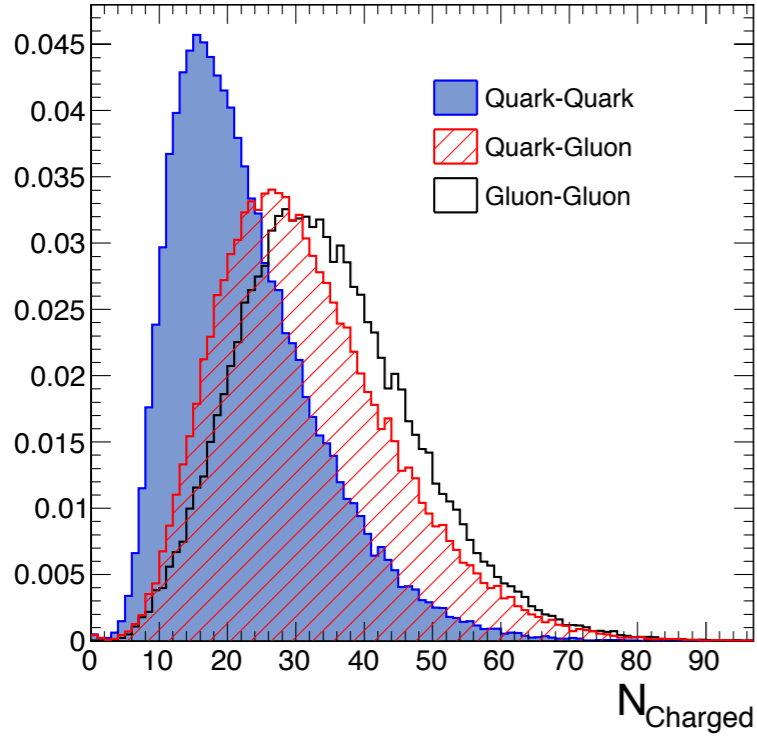
✓ En yüksek enerjili iki jet

✓ $|\eta| < 2.5$ ve $|\Delta\eta| < 1.3$

✓ Çoklu değişken analizi

✓ TMVA (v4.1.3)

Jet Değişkenleri - I

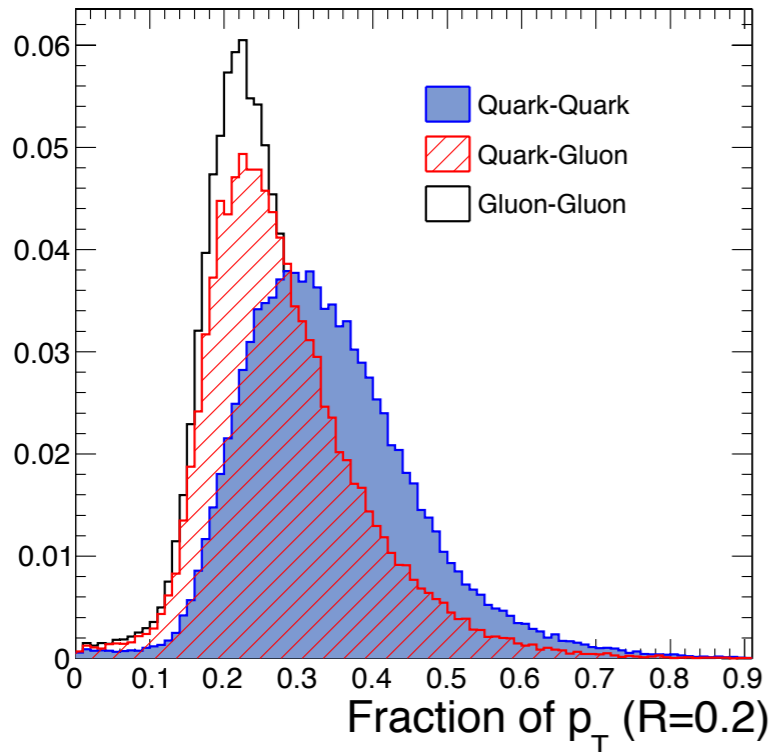
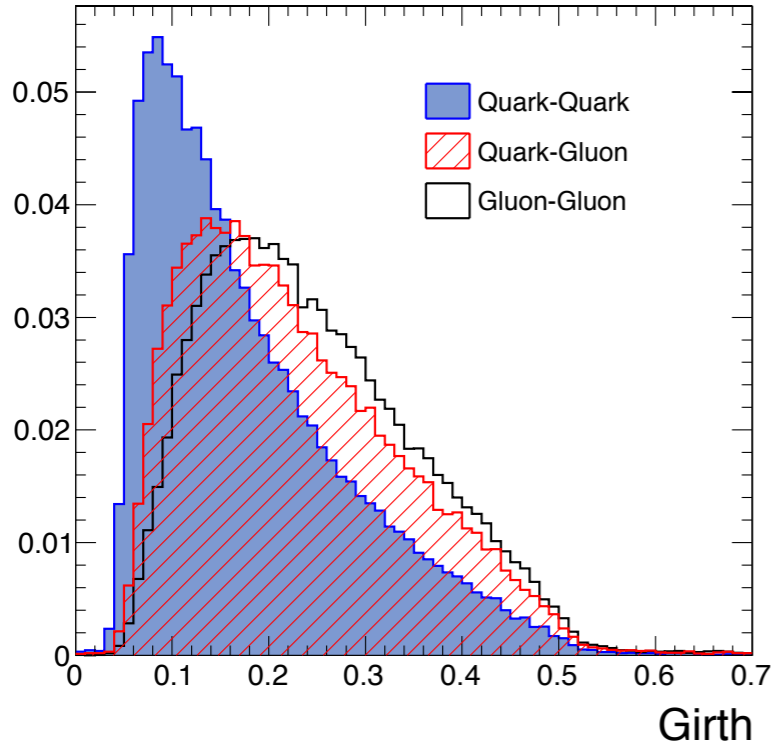


- ☑ Kuarlar tek renk yükü taşırken, gluonlar iki renk yükü taşır.
- ☑ Gluonlar daha fazla QCD radyasyon yayımlar.
 - ✓ Belli bir türdeki parçacık sayıları farklılıklar gösterir.
 - ▶ Jet içerisindeki yüklü parçacık sayısı farklılık gösterir.
- ☑ Bir jetin kütlesi renk yükü faktörü ile orantılıdır.
- ☑ Jet Kütlesi/Dik Momentum oranı dağılımları farklılıklar gösterir.
 - ✓ $R=0.3$ değeri en iyi sonucu vermektedir.

$$\frac{C_A}{C_F} = \frac{9}{4}$$

$$\langle M^2 \rangle = C \frac{\alpha_s}{\pi} p_T^2 R^2$$

Jet Değişkenleri - II

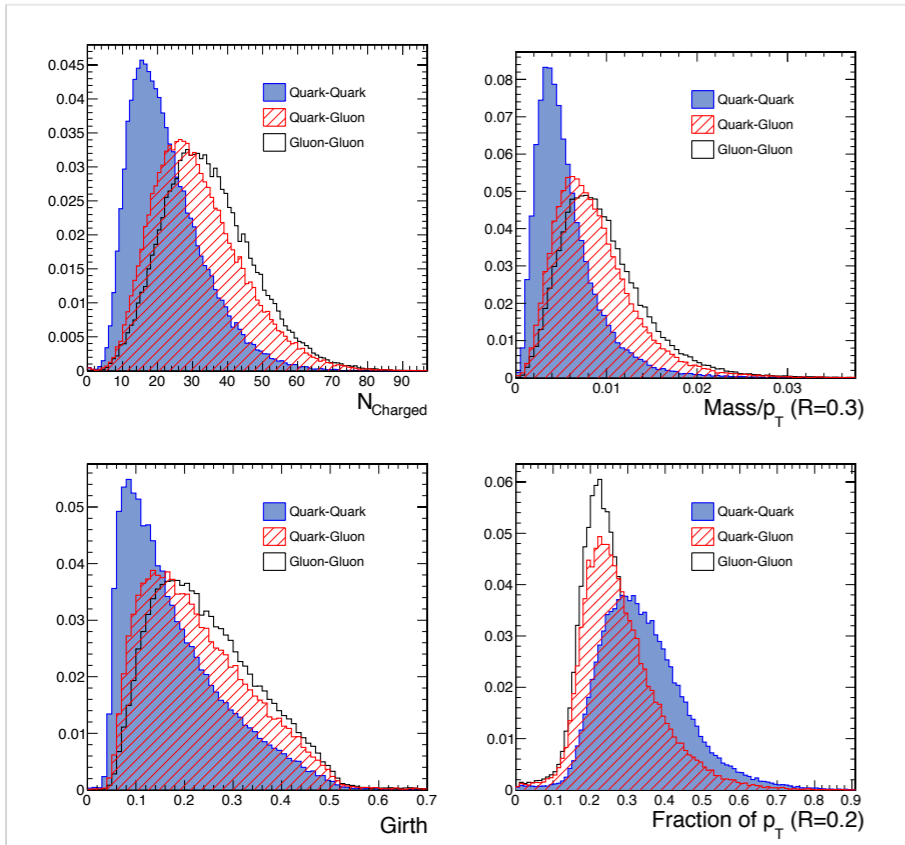


- ✓ Kuark-jet ile gluon-jetlerin şekilleri farklıdır.
- ✓ Kuark-jetler gluon-jetlere kıyasla daha dardır.

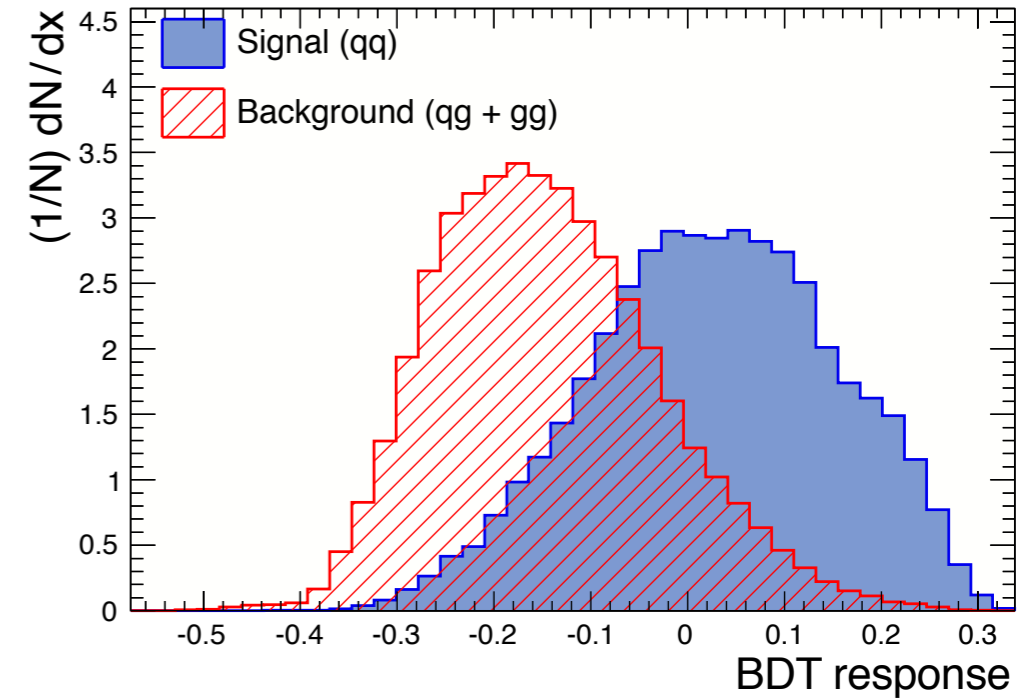
$$g = \frac{1}{p_{T, \text{jet}}} \sum_{i \in \text{jet}} p_T^i \sqrt{r_i}$$

- ✓ Kuark jetlerde enerji dağılımı gluon-jetlere göre daha simetriktir.
- ✓ Merkezi bölgedeki jet dik momentum miktarı kesri dağılımı farklılıklar gösterir.
- ✓ R=0.2 altjet yarıçapı değerinin en iyi sonucu vermektedir.

Çoklu Değişken Analizi

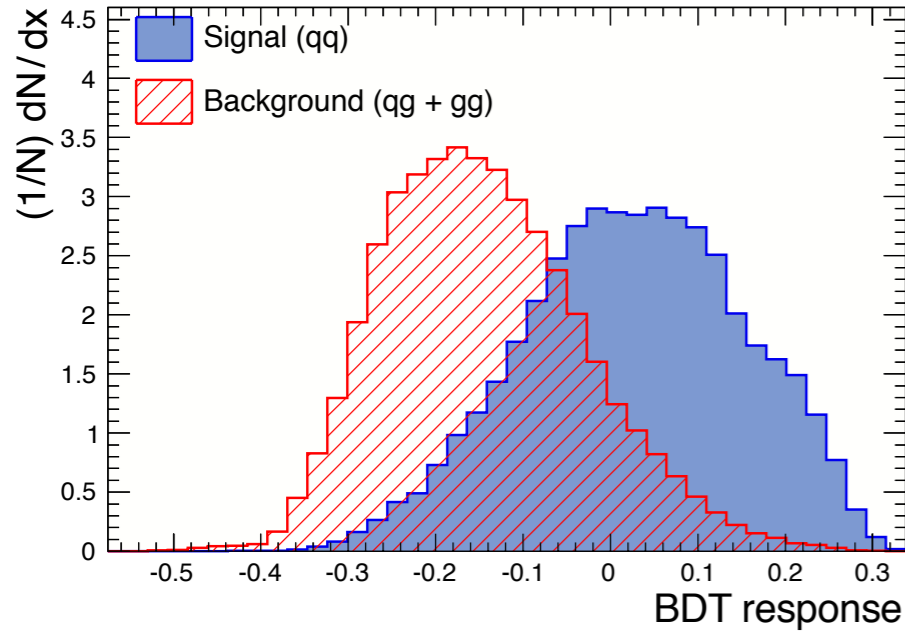


TMVA

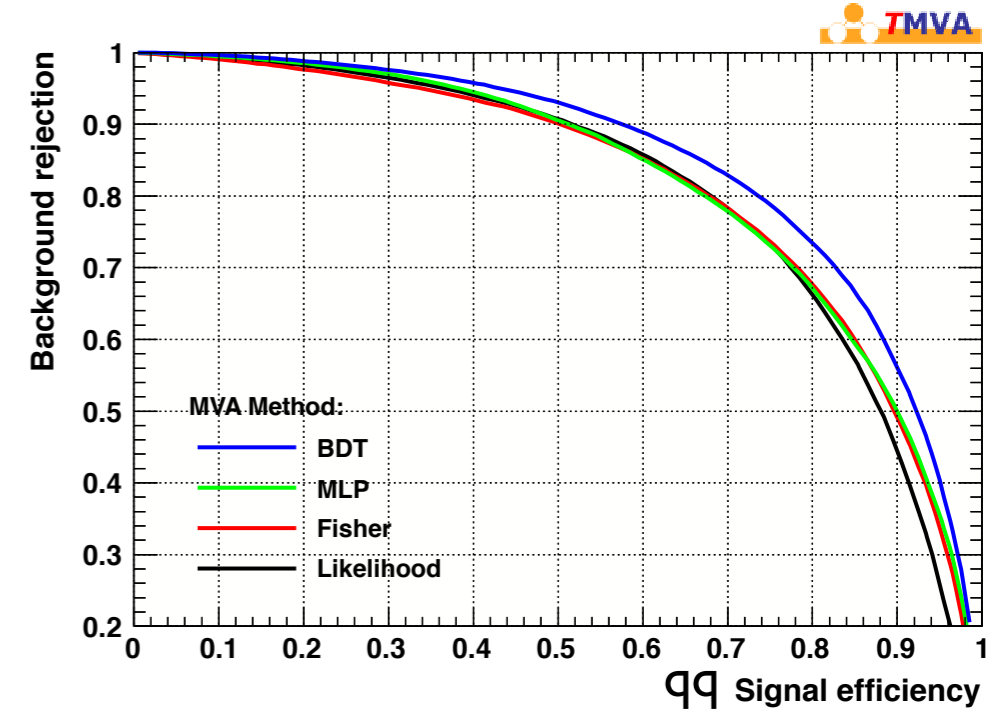


- ✓ Tek bir değişken yerine birden fazla değişken kullanmak olay ayırımını kolaylaştırabilir.
- ✓ Değişkenler jet niceliklerinden gelmektedir.
 - ✓ Birinci jetden 4 tane değişken ve ikinci jetden 4 tane değişken. Tek bir olay için toplamda 8 değişken.
- ✓ TMVA programı çoklu değişken analizi için kullanıldı

En Uygun Ayırıcın Seçilmesi

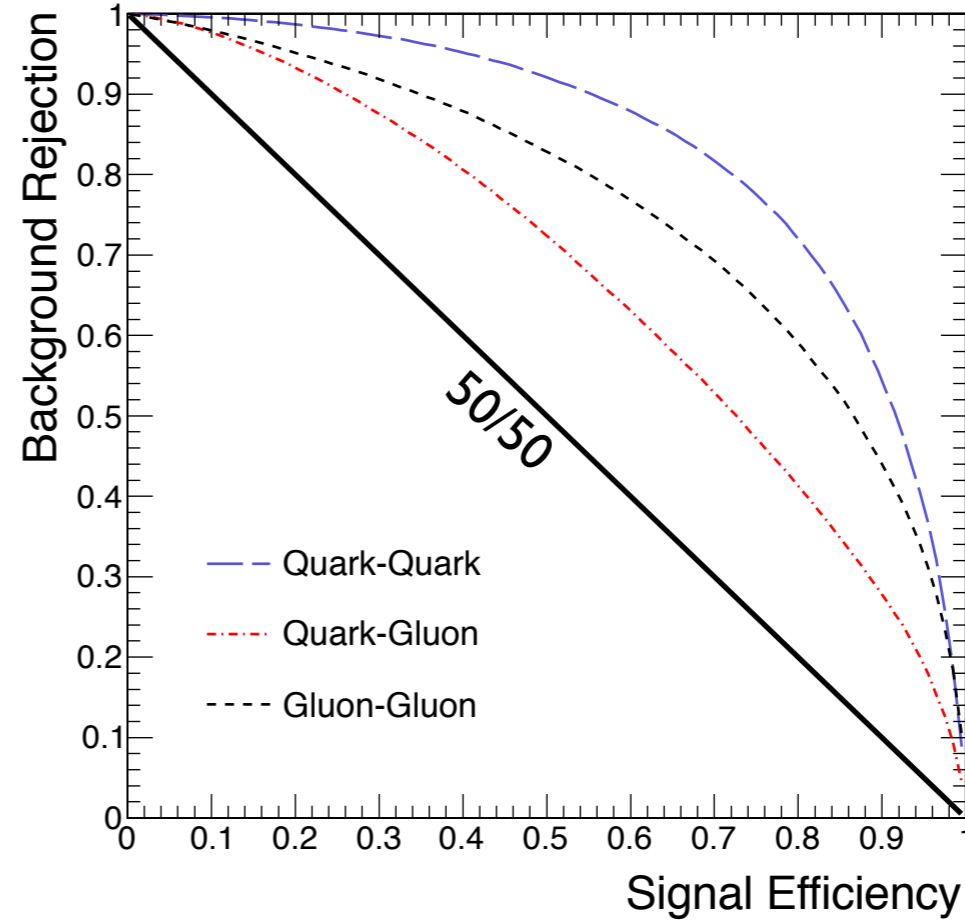
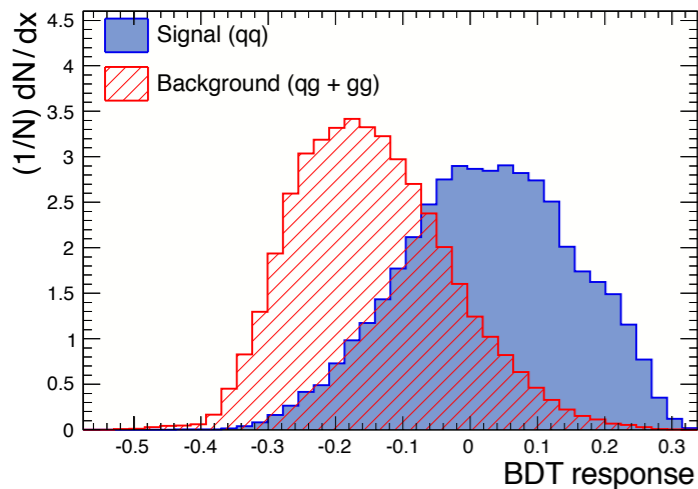
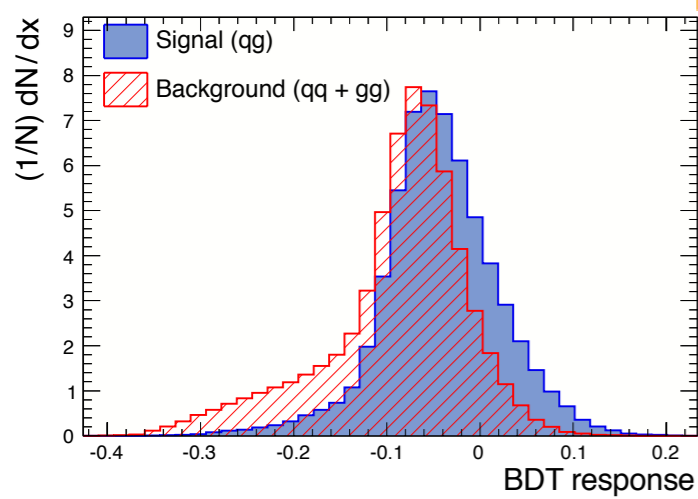
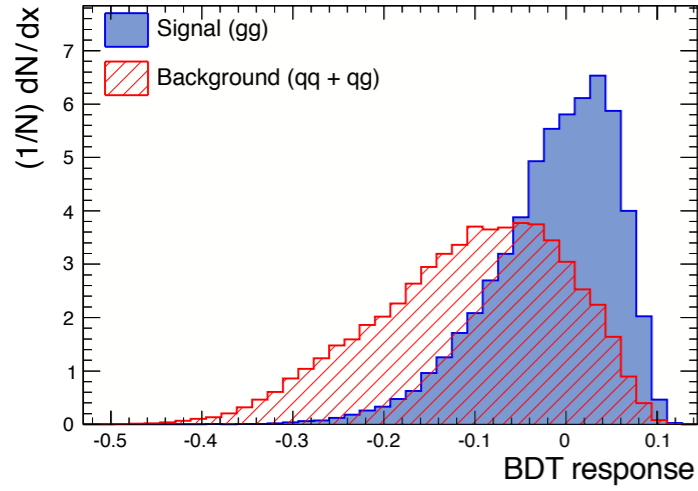


ROC eğrisi



- ✓ Sinyal ayrıştırılmak istenen parton çifti olup (qq) , Ardalan ise diğer parton çiftlerinden (qg+gg) gelmektedir.
- ✓ Farklı ayrıştırma methodları denendi.
- ✓ Her bir sinyal durumu için en iyi olay ayrıştırma ötelenmiş karar ağacı (Boosted Decision Tree) metodu ile elde edildi.

Parton Çiftinin Belirlenmesi

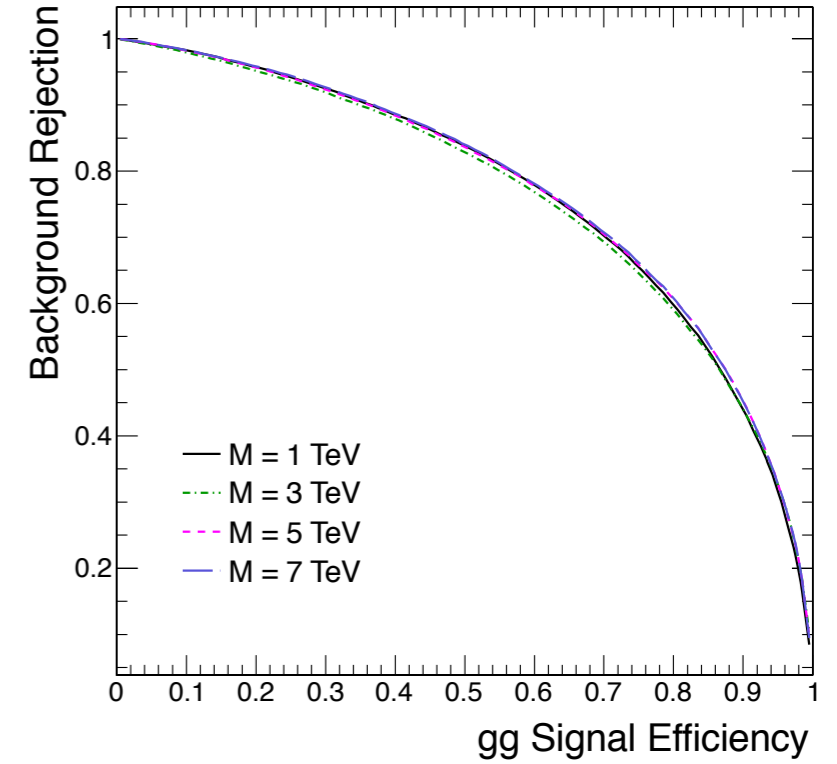
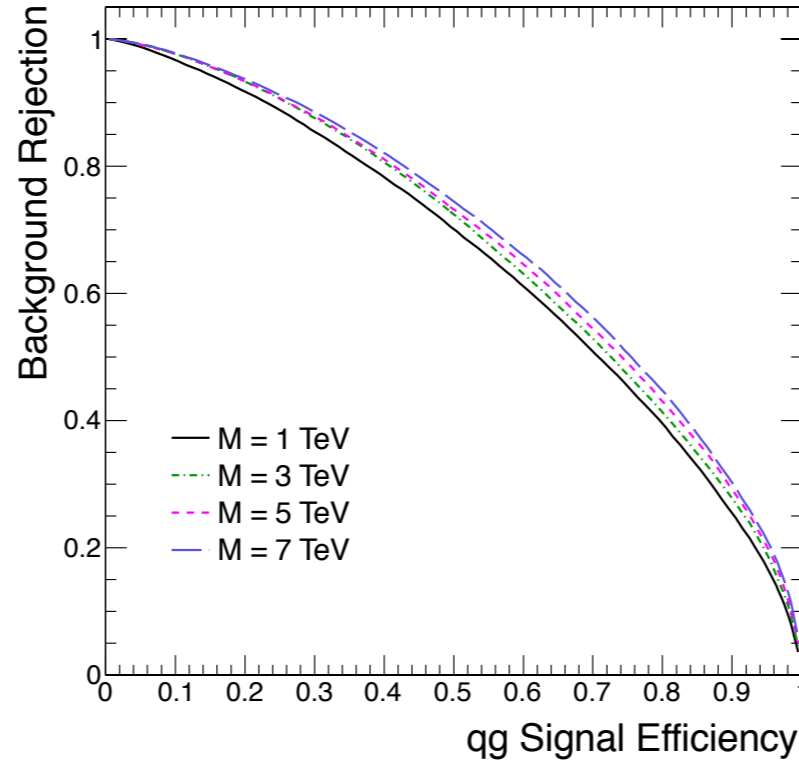
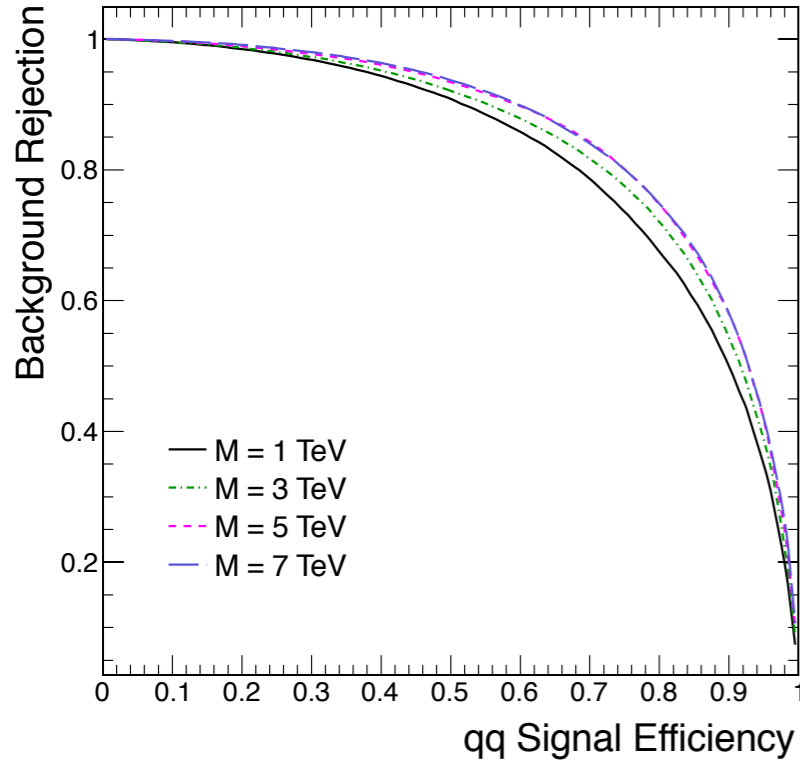


✓ Her bir parton çifti için ROC eğrileri gösterilmektedir.

✓ En iyi ayırıştırma kuark-kuark parton çifti için elde edildi.

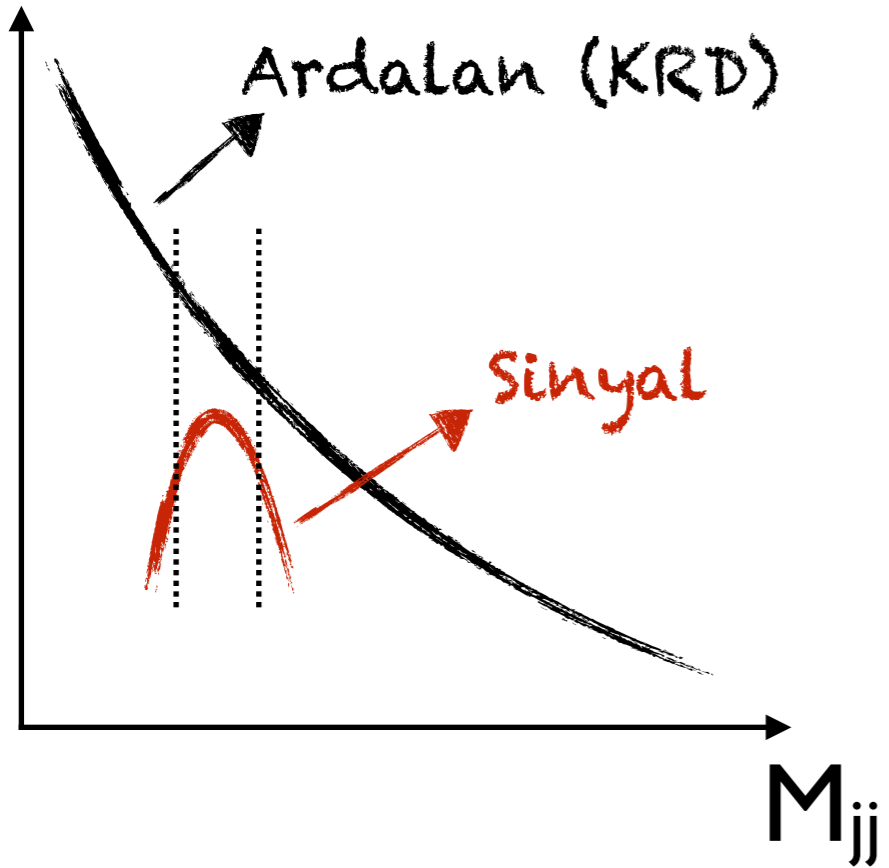
✓ Bir iki-jet olay dağılımında kuark-kuark parton çiftinin meydana getirdiği olayların %60 lık kısmı tutulurken, kuark-gluon ve gluon-gluon parton çiftlerinin meydana getirdiği olayların %90 lık bir kısmı dışarlanabilir.

Farklı Rezonans Kütlelerinde ROC Eğrileri



- ✓ Farklı rezonans kütleleri için ROC eğrileri gösterilmektedir.
- ✓ Rezonans kütle değeri arttıkça (jetlerin pt değerleri arttıkça) daha iyi ROC eğrileri elde edildi.
 - ✓ Daha iyi kuark/gluon jet ayrımı
- ✓ Verilen bir sinyal verimliliği için ardalardan dışarıdaki değişim
 - ✓ qq için %7 , gg için %2.

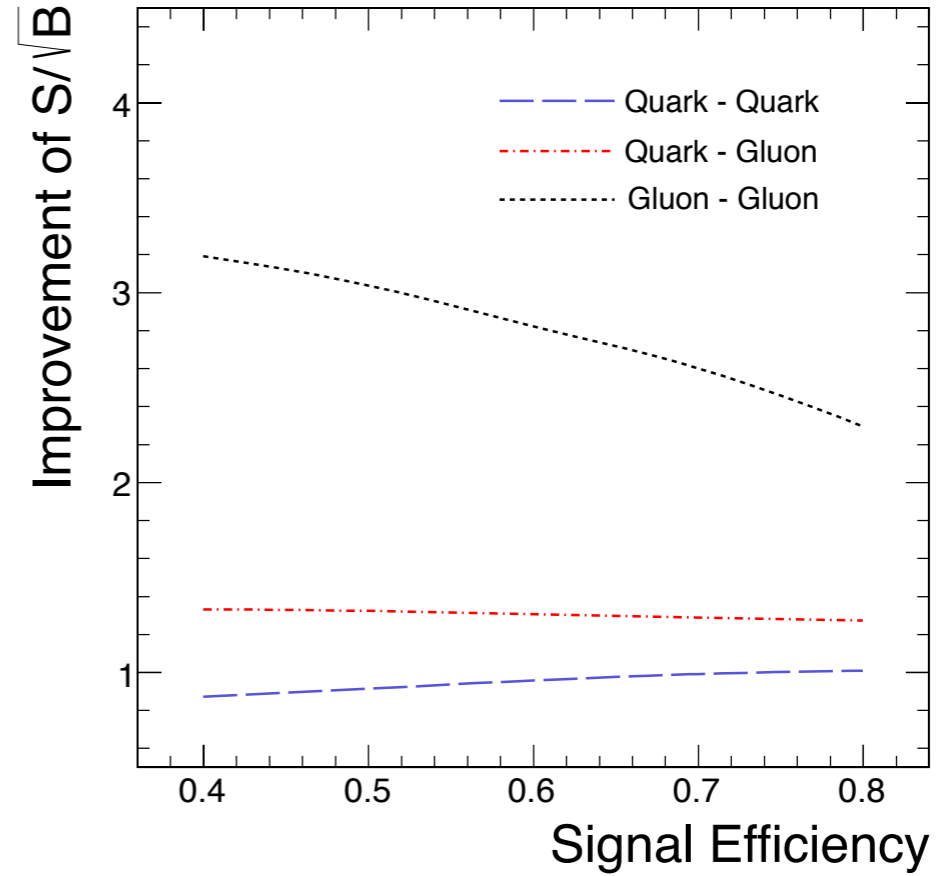
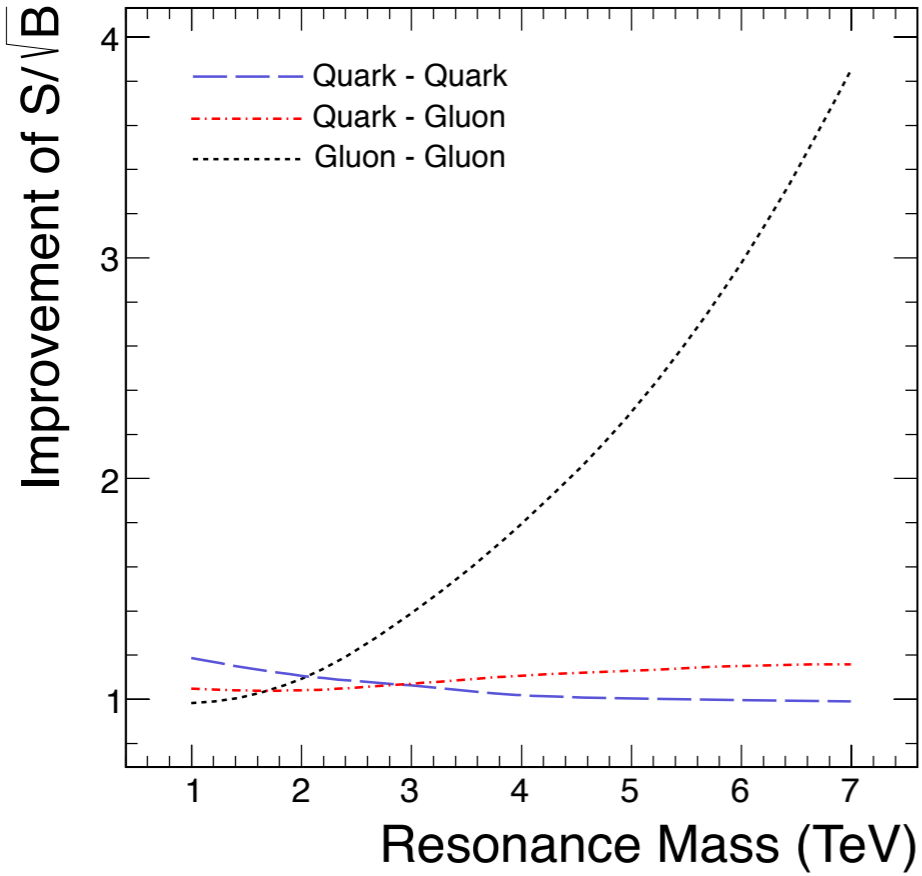
İki-Jet Rezonansına Etkisi - I



Sinyal bölgesi: $M_{\pm\sigma}$

- ✓ Parton çifti etiketlemenin iki-jet rezonansı çalışmalarına etkisi araştırıldı.
- ✓ KRD ardalın dağılımı Pythia8 ile üretildi.
 - ✓ Farklı p_T değerleri.
- ✓ Ardalan parton çifti etiketlenmesi metodu ile 3 kısma ayrıldı. (qq, qg, gg)
- ✓ Sinyal/ $\sqrt{\text{Ardalan}}$ oranına bakıldı.

İki-Jet Rezonansına Etkisi - II



- ✓ Parton çifti etiketleme metodu kullanıldıktan sonra S/\sqrt{B} oranındaki iyileştirme gösterilmektedir.
- ✓ Yüksek kütlelerde en iyi iyileştirme gluon-gluon rezonansı için elde edildi.
- ✓ Düşük kütlelerde en iyi iyileştirme kuark-kuark rezonansında gözlemlendi.
- ✓ Sinyal verimliliğinin değiştirilmesi S/\sqrt{B} oranındaki iyileştirmeyi biraz değiştirmektedir.

Özet

- ☑ İki-jet olaylarını oluşturan parton çiftlerini ayırtırmak için en uygun değişkenler ve method seçilerek bir olay ayırıcı geliştirildi.
- ☑ Bu olay ayırıcı ile en iyi verimli parton çifti etiketlemenin kuark-kuark için olduğu gözlemlenirken, en verimsiz etiketlemenin kuark-gluon parton çifti için olduğu belirlendi.
- ☑ Parton çifti etiketleme methodu ile sinyal büyüklüğü değeri gluon-gluon rezonansı için ~4 kat artmaktadır.
- ☑ LHC bu yaz 13 TeV lik kütle merkezi enerjisinde veri alımına tekrar başlayacak. İki-jet rezonansı analizi CMS deneyinin en öncelikli araştırma konusu olarak seçilmiştir.
- ✓ Sunulan sonuçlar çerçevesinde CMS deneyinde parton çifti etiketleme metodu ile iki-jet rezonansı analizi geliştirilmeye başlanmış ve ilk sonuçların bu yıl sonuna kadar sunulması beklenmektedir.

Hindawi Publishing Corporation
Advances in High Energy Physics
Volume 2014, Article ID 719216, 7 pages
<http://dx.doi.org/10.1155/2014/719216>



Research Article

Identification of Parton Pairs in a Dijet Event and Investigation of Its Effects on Dijet Resonance Search

Sertac Ozturk^{1,2}

¹ *Department of Physics, Gaziosmanpasa University, 60150 Tokat, Turkey*

² *Department of Physics and Astronomy, The University of Iowa, Iowa City, IA 52242, USA*

Correspondence should be addressed to Sertac Ozturk; sertac.ozturk@cern.ch

Received 3 July 2014; Revised 8 October 2014; Accepted 8 October 2014; Published 21 October 2014

Academic Editor: Sally Seidel

Copyright © 2014 Sertac Ozturk. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. The publication of this article was funded by SCOAP³.

Being able to distinguish parton pair type in a dijet event could significantly improve the search for new particles that are predicted by the theories beyond the Standard Model at the Large Hadron Collider. To explore whether parton pair types manifesting themselves as a dijet event could be distinguished on an event-by-event basis, I performed a simulation based study considering observable jet variables. I found that using a multivariate approach can filter out about 80% of the other parton pairs while keeping more than half of the quark-quark or gluon-gluon parton pairs in an inclusive QCD dijet distribution. The effects of event-by-event parton pair tagging for dijet resonance searches were also investigated and I found that improvement on signal significance after applying parton pair tagging can reach up to 4 times for gluon-gluon resonances.