

*pp Çarpışması Sonucu R_{32} Oranı ve α_s
Parametresinin Hesaplanması*

Durmuş YILMAZ

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. İpek ŞAHİN

Proje Danışmanı:

Arş. Gör. Dr. Nasuf SÖNMEZ

Lisans Bitirme Tezi



Ege Üniversitesi
Fizik Bölümü

İçindekiler

Teşekkür	iii
Semboller	iv
Şekil Listesi	vii
Tablo Listesi	ix
1 Giriş	1
2 KRD(Kuantum Renk Dinamiği)	3
2.1 Zayıf Etkileşmeler	6
2.1.1 Yüksüz Zayıf Etkileşim	6
2.1.2 Yüklü Zayıf Etkileşim	7
2.1.2.1 Leptonların Yüklü Zayıf Etkileşimi	7
2.1.3 Kuarkların Etkileşimi	8
2.1.4 Bozunumlar ve Korunum Yasaları	8
3 Deneysel Düzenek	11
3.1 Büyük Hadron Çarpıştırıcısı	12
3.2 ATLAS	14
3.3 ALICE	14
3.4 LHCb	15
3.5 CMS	15
3.5.1 CMS Koordinat Sistemi	17
3.5.2 CMS'in Alt Dedektörleri	17
4 Monte Carlo Simülasyonu ve Data Üretilimi	19
4.1 Monte Carlo Simülasyonu	19
4.2 Olay Üretilimi	22
4.2.1 MadGraph	22
4.3 Jet'lerin Yeniden Yapılandırılması ve Algoritmalar	30
4.3.1 Jet Algoritmaları	31
5 Datanın Doğrulanması	35
6 Sonuçlar	41

7 Ekler	43
7.1 Bir Oyuncak Kuram Icin Feynman Kurallari	43
7.2 MadGraph5 Kurulumu	44
7.3 Olay Uretimi	45
7.3.1 Server Uzerinde Olay Uretimi	45
7.4 Olay Uretiminde kullanicilar Kartlar	47
7.5 Collinear ve Infrared Güvenilirlik	59

Teşekkür

Bu araştırmada yer alan kısmi nümerik hesaplamalar TÜBİTAK ULAKBİM, Yüksek Başarım ve Grid Hesaplama Merkezi’nde (TRUBA kaynaklarında) gerçekleştirilmiştir.

Semboller

SM	:	Standart Model
CERN	:	Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
BHÇ	:	Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
CMS	:	Sıkı Müon Solenoidi
ECAL	:	Elektromanyetik Kalorimetre
HCAL	:	Hadronik Kalorimetre
RF	:	Radyofrekans
eV	:	Elektron Volt
MeV	:	Milyon Elektron Volt
GeV	:	Milyar Elektron Volt
TeV	:	Trilyon Elektron Volt
\mathcal{L}	:	Işıklılık (Liminosite)
\sqrt{s}	:	Kütle-Merkezi Enerjisi
φ	:	Azimutal Açı
η	:	Psüdorapidite
s	:	Tesir Kesit
MC	:	Monte Carlo
MG	:	MadGraph
BSM (Beyond Standard Model)	:	Standart Model Ötesinde
PDF (parton distribution functions)	:	Parton Dağılım Fonksiyonu

Şekil Listesi

2.1	quark quark gluon etkileşimi	4
2.2	iki kuark arasındaki en düşük mertebeli etkileşim	4
2.3	iki çeşit gluon etkileşmesi; 3 gluon kösesi ve dörk gluon kösesi	4
2.4	dielektrik bir ortamda bir q yükünün perdelenmesi	5
2.5	elektron pozitron çiftleri	6
2.6	Gluon loop a sahip bir feynman diyagramı	6
2.7	yüksüz etkileşim örneği olarak feynman diyagramı	7
2.8	Leptonik bozunum	7
2.9	Kuark etkileşmesi	8
2.10	üç bozunum türü için Feynman diyagramları	9
3.1	Doğrusal Hızlandırıcı	11
3.2	Dairesel hızlandırıcı	11
3.3	Büyük Hadron Çarpıştırıcısı	12
3.4	CMS dedektöründe bir çarpisma ve bu çarpisma sonucu parçacıkların dedektör üzerinde bırakıldığı izler	13
3.5	Cern Integrated Liminosite	14
3.6	CMS üzerindeki dedektörler	15
3.7	CMS Dedektörü	16
3.8	CMS Dedektörü koordinat sistemi	17
3.9	CMS alt dedektörleri	18
4.1	Monte Carlo Yontemleri	20
4.2	MadGraph programının çalışma şeması	22
4.3	MadGraph programının teminal üzerinde görüntüsü	22
4.4	MadGraph programının analiz sonucu HTML çıktısı	23
4.5	Parton dağılım fonksiyonu ve diğer adımlar	26
4.6	Proton - Proton Çarpışması adımları	27
4.7	$p p \rightarrow j j$ olayında SM e göre çıkarılan feynman diyagramları	28
4.8	MadEvent çıktı dosyası. İlk satırda çıkan parçacıkların PDG kodları 2. satır başlangıç (-1) son (1) araparçacık (2) bilgisini verir. Ayrıca dört-momument ve spin bilgilerinde bu dosyanın içinde mevcuttur.	28
4.9	Delphes Simülasyonundan çıkan bir olayın görüntülenmesi	29
4.10	2 jet çıkan bir olayın CMS dedektörü üzerindeki izleri	30
4.11	Koni algoritması ile gösterilmiş bir Jet	31
4.12	Tekrarlayan koni algoritması en yüksek enerjiye sahip parçacığı seçerek R yarıçapı çemerin içinde kalan bütün parçacıkları toplar	32
4.13	4 farklı Jet algoritmasının parçacıkları sınıflandırması	33

5.1	Sol tarafta ağırlıklandırma yapılarak birleştirilmiş GenJet p_T leri ve Ca- loJet p_T leri. Sağ tarafta hadd kullanımı sonucu	37
5.2	İlk üç Jetin p_T η ve ϕ dağılımları	38
5.3	farklı pt aralıkları için eta resolution	39
7.1	Dış çizgilerin etiketlendiği bir Feynman diagramı	43
7.2	Infrared ve eş yönlü güvenlilik	59

Tablo Listesi

2.1	Doğada bulunan Kuvvetler, Şiddetleri ve Taşıyıcı Araçları	3
2.2	bazı parçacıkların kararlılıklarını ve sebepleri	8
2.3	Bozunumlar ve Bozunum Türleri	9
4.1	Standart Model deki parçacıkları için PDG kodları	26
4.2	Koni algoritmaları; 2 parçacığın arasındaki mesafe hesabı ve kimin tara- findan hangi tarihte yazıldığı	33
5.1	Üretilen olaylar	35

Bölüm 1

Giriş

Cern'de yapılan proton-proton çarpışması sonucu elde edilen verilerin fiziksel anlamları, CMS dedektörünün çalışma prensibini ve özellikleri incelenmiştir. Teorik olarak proton çarpışması ve altındaki fiziksel süreç hakkında bilgi verilmiştir. Çıkan gözlemlerin analizinin ne anlama geldiği ve bunun analizinin nasıl yapıldığı anlatılmıştır.

Bölüm 2

KRD(Kuantum Renk Dinamiği)

Proton-Proton çarpışmasın da aslında çarpışma kuarklar ve gluonlar arasında gerçekleşir. Kuark ve gluonların özellikleri ve aralarındaki etkileşimleri KRD¹ ile belirlenir. Bu bölümde kuarkların yapısı, asymptotik özgürlük, yükün perdelenmesi, korunum yasaları gibi konuların üzerinde durulacaktır. CMS deneyinde çıkan jetlerin² tanımlanması temelinde KRD önemli olduğu için bu konu üzerinde durulacaktır.

Bildiğimiz kadariyla doğada dört temel kuvvet bulunmaktadır. Bunlar;

Kuvvet	Şiddeti	Kuram	Aracı
Güçlü	10	Renk Dinamiği	Gluon
Elektromanyetik	10^{-2}	Elektrodinamik	Foton
Zayıf	10^{-13}	Çeşni dinamiği	W ve Z
Kütleçekim	10^{-42}	Geometrodinamik	Graviton

TABLO 2.1: Doğada bulunan Kuvvetler, Şiddetleri ve Taşıyıcı Araçları

Bu kuvvetlerin her birine bir parçacık değişim tokusu aracılık etmektedir. Bu araçlar bir kuark veya bir lepton arasında kuvvet iletimini sağlarlar. Bu etkileşmeler belirli kurallar altında olmak zorundadırlar. Bunlardan birisi kuantum renk dinamiğidir.

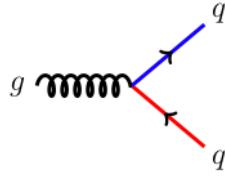
Kuantum renk dinamiğinde, *renk* yükün rolünü üstlenir ve temel süreç ($e \rightarrow e + \gamma$ sürecine benzeyen) kuark \rightarrow kuark + gluon ($q \rightarrow q + g$)³ etkileşmesidir. İki kuark arasındaki kuvvet en düşük mertebede şekil^{2.2} ile belirlenir. İki kuark arasındaki kuvvetin gluonların değişim-tokuşu ile taşındığı söylenebilir.

Bu düzeyde KRD, KED'e çok benzemektedir. Ancak önemli farklar da vardır. KED de tek bir elektrik yükü varken KRD'de 3 çeşit rengin bulunmasıdır. $q \rightarrow q + g$ temel süreçinde

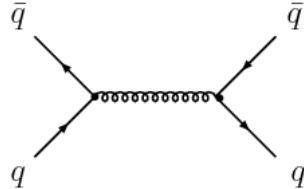
¹Quantum chromodynamics

²Bölüm 4.2 de anlatılacaktır

³Leptonlar renk taşımadıkları için, güçlü etkileşmelere katılmazlar.



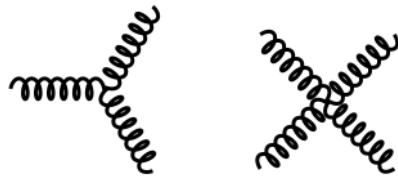
ŞEKİL 2.1: Quark quark gluon etkileşimi



ŞEKİL 2.2: İki kuark arasındaki en düşük mertebeli etkileşim

kuarkin rengi değişebilir(fakat çeşnileri değişmez). Örneğin bir mavi yukarı-kuark, bir kırmızı yukarı-kuarka dönüşebilir. Renk Yükü her zaman korunur; bu, aradaki farklı gluonun taşıdığı anlamına gelir. Şekil 2.1 da görüldüğü üzere kuarkların reklerinin biri mavi diğerini kırmızı olabilir bu durumda gluonun rengi m, \bar{k} dir ve renk yükü korunmuş olur. Böylece gluonun iki renkli olduğu anlaşılmaktadır.

Gluonların kendileri renk taşıdıkları için doğrudan diğer gluonlarla etkileşmeye girerler, dolayısıyla ilkel kuark-gluon köşesinde ilaveten ilkel gluon-gluon köşesi vardır. Bu doğru-



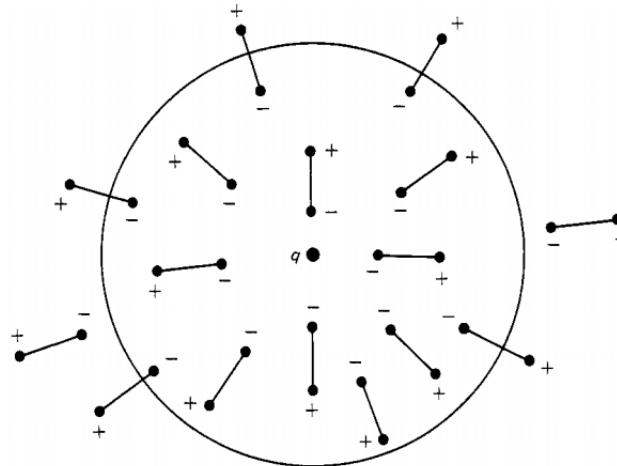
ŞEKİL 2.3: İki çeşit gluon etkileşmesi; 3 gluon köşesi ve dörk gluon köşesi

dan gluon-gluon çiftlenimi, KRD’ni KED’e göre daha karmaşık fakat aynı zamanda çok daha zengin kılار.

Renk dinamigi ile elektrodinamigi arasında diğer bir fark da çiftlenim sabitinin büyüklüğüdür. KED’inde her köşe, hesaba $\alpha = 1/137$ faktörü katar. Bu sayının küçük olmasının anlamı, sadece az sayıda köşeye sahip Feynman diyagramlarını göz önüne almamızın yeterli olmasıdır. Güçlü kuvvetler için karşılık gelen çiftlein sabiti α_s 1 den büyük olduğu deneysel olarak gösterilmiştir.

Daha karmaşık diyagramlar daha çok katkıda bulunmaktadırlar ve KED için çok iyi çalışan Feynman diyagramları bu durumda işe yaramamaktadırlar. Kuantum renk dinamığının büyük zaferlerinin birisi, bu kuramda çiftlenim sabiti rolü oynayan sayının aslında bir

sabit olmayıp etkileşen parçacıklar arasındaki uzaklığa bağlı olduğunun keşfidir.⁴ Nükleer fiziğin karakteristiği olan nispeten uzun mesafelerde büyük iken, çok kısa mesafelerde çok küçük değerler alır. Bu olaya Asimptotik özgürlük olarak bilinir. Asimptotik özgürlük daha net bir deyişle bir proton veya bir pionun içinde kuarkların birbirleriyle fazla etkileşmeden bir arada durmasıdır. Bu davranış deneyel olarak derin esnek olmaya sağlaması deneylerinde gözlenmiştir. Kuramsal bakış açısından, asimptotik özgürlüğün keşfedilmesi, yüksek enerjide Feynman cebrinin KRD için geçerli hesaplama aracı olmasını sağlamıştır.



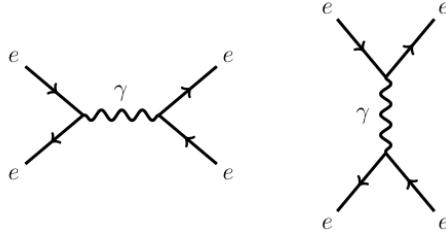
ŞEKİL 2.4: dielektrik bir ortamda bir q yükünün perdelenmesi

Elektrodinamikte etkin çiftlenim sabiti, kaynaktan olan uzaklığımıza bağlıdır. Bu, niceł olarak şu şekilde anlaşılabılır. İlk olarak bir dielektrik ortam içinde gömülü bir pozitif noktasal q yükünü göz önüne alalım. Şekil 2.4'de gösterildiği gibi, her moleküler dipolun negatif ucu q 'ya doğru çekilir ve pozitif ucu uzağa itilir. Sonuç olarak parçacık etrafında, alanı kısmen iptal eden negatif yüklerden oluşan bir kaplama oluşur. Dolayısı ile dielektrik ortamın varlığında, herhangi bir parçacığın etkin yükü bir miktar indirgenir. Tabii ki en yakın molekülden daha yakınlaysınız perdelenme yoktur ve q yükünün tümünü görürsünüz. Etkin yük çok küçük uzaklıklarda artmış olur.

Kuantum elektrodinamiginde vakının kendisi tipki bir dielektrik madde gibi davranır. Şekil 2.5 da gösterildiği gibi pozitron-elektron çiftleri oluşturur.

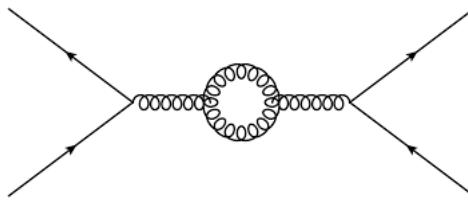
Halka sanal elektron q 'ya doğru çekilir ve sana pozitron uzağa itilir bu şekilde ortaya çıkan vakum kutuplanması yükü kısmen perdeler ve alanı azaltır. Bir kez daha q yüküne çok yaklaşılırsa perdelenme kaybolur. Her zaman elektron yükü olarak adlandırdığımız büyüklük asılta tümüyle perdelenmiş etkin yükür. KED'gindeki durum böyledir. Aynı durum KRD'de de söz konusudur. kuark-kuark-gluon köşesinin yanı sıra şimdiden doğrudan

⁴kayan çiftlenim sabiti.



ŞEKİL 2.5: elektron pozitron çiftleri

gluon-gluon köşeleride vardır.KED'deki vakum kutuplanabilirliğine benzeyen diyagramlara ek olarak şimdi gluon halkalarının da hesaba katmalıyız. kuark kutuplanma diyag-



ŞEKİL 2.6: Gluon loop a sahip bir feynman diyagramı

ramları (bunlar kısa mesafelerde α_s 'yi yukarıya çeker) ile gluon kutuplanması (bunlar ise aşağıya çeker) arasında bir çeşit yarış vardır.

$$a \equiv 2f - 11n \quad (2.0.0.1)$$

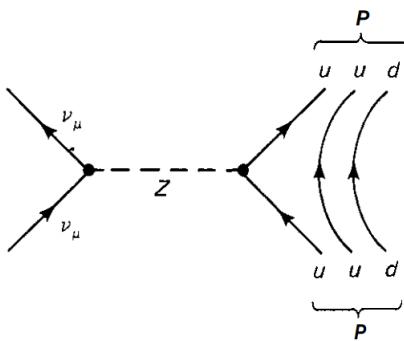
Bu sayı pozitif ise, KED'de olduğu gibi etkin çiftlenim kısa mesafelerde artar; negatif ise azalır. Standart Model'de $f = 6$ ve $n = 3$ ve $a = -21$ 'dir ve KRD çiftlenimi kısamesafelerde azalır. Asimptotik özgürlüğün kaynağı budur.

2.1 Zayıf Etkileşmeler

elektriksel yükün elektromanyetik kuvvetleri ve renk yükünün güçlü kuvveti üremesi anlamında zayıf kuvvetleri üreten şeyin özel bir adı yoktur.Tüm kuarklar ve leptonlar bu yükü taşımaktadırlar. İki tür zayıf etkileşme söz konusudur. Bunlar yüklü etkileşmeler (W ların aracılık yaptığı) ve yüksüz etkileşmelerdir(Z 'nin aracılık yaptığı).

2.1.1 Yüksüz Zayıf Etkileşim

Z bozonu nötrino-proton saçılması gibi süreçlere aracılık eder. Son durum da, d 'ye güçlü kuvvetlerle (gluon değişim tokusu) bağlı olan iki seyirci kuark aktif rol oynamadan olaya katılır. Bir fotonun aracılık ettiği herhangi bir sürece Z 'nin de aracılık edebilebilir. Coulomb



ŞEKİL 2.7: yüksüz etkileşim örneği olarak feynman diyagramı

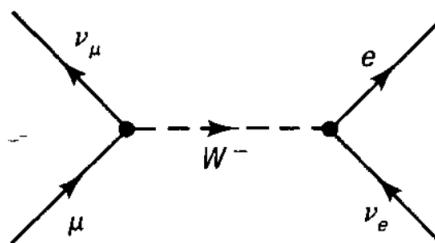
yasasına ikinci diyagramdan gelen bir düzeltme vardır fakat fotonun aracılık yaptığı süreç çok baskındır. Atom fizигinde, elektromanyetik süreçlerdeki yüksüz zayıf kirlilik zayıf etkileşmelerin taşıdığı parmak izinden yararlanılarak ayırt edilebilir. Katkının çok küçük olmasından dolayı nötrino deneyleri oldukça zordur.

2.1.2 Yüklü Zayıf Etkileşim

İlkel köşelerin güclü, elektromanyetik ve yüksüz zayıf etkileşimler için paylaşıldığı özellik, çıkan kuark veya leptonun gelen ile aynı olmasıdır. KRD'de kuarkların rengi değişebilir ama çeşni hiçbir zaman değişmez. Çeşniyi değiştiren sadece yüklü zayıf etkileşmelerdir.

2.1.2.1 Leptonların Yüklü Zayıf Etkileşimi

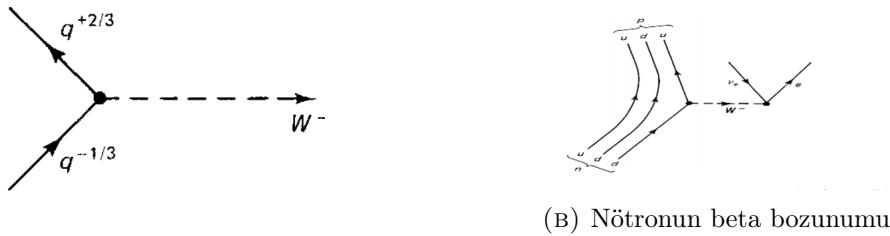
Bir negatif yüklü lepton bir W^- yayımılayarak buna karşılık gelen bir nötrinoya dönüşür.



ŞEKİL 2.8: Leptonik bozunum

2.1.3 Kuarkların Etkileşimi

Bu kuram da elektron sayısı, müon sayısı ve tau sayısının korunumu şarttır. Şekil 2.9a'de $-1/3$ yüklü bir kuark bir W^- bozonu yayımlayarak $+2/3$ yüklü bir kuarka dönüşür. Çıkan kuark gelen kuarkla ayrı rengi taşır, ama çeşnisi değişmiştir.



ŞEKİL 2.9: Kuark etkileşmesi

Bu etkileşim ile temelde nötronun beta bozunumunu da gösterebiliriz.

2.1.4 Bozunumlar ve Korunum Yasaları

Temel parçacıkların en genel özelliklerinden birisi parçalanmaya olan eğilimleridir. Bu durumu evrensel bir ilke şeklinde ifade edebiliriz. Bir korunum yasası tarafından engellenmediği sürece, her parçacık kendisinden daha hafif parçacıklara bozunur. Tablo da

foton	kararlı	kütlesiz
elektron	kararlı	en hafif yüklü parçacık
proton	kararlı	en hafif baryon

TABLO 2.2: bazı parçacıkların kararlılıklarını ve sebepleri

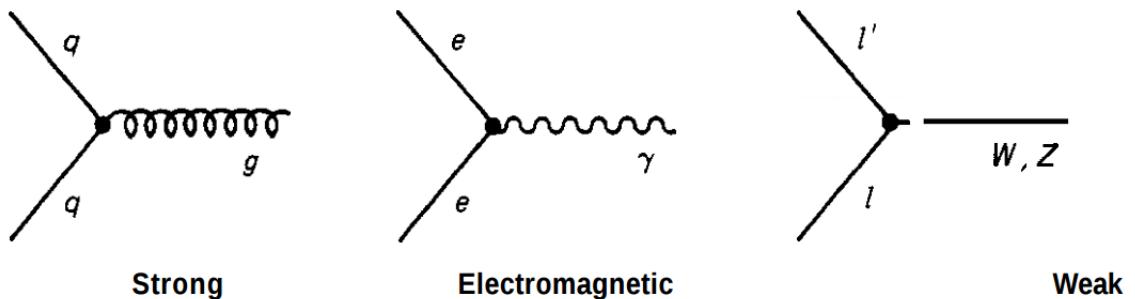
önceden görüldüğü üzere yük korunumu ve baryon korunumu için bu temel parçacıklar için kararlı diyebiliyoruz. Fakat çoğu parçacık (birçok atom çekirdeğinin koruyucu ortamında kararlı olmakla birlikte nötron bile) kendiliğinden bozunur. Çevremizde esas olarak protonlar, nötronlar, elektronlar, fotonlar ve nötrinolar bulunmaktadır. Daha egzotik parçacıklar zaman zaman çarpışmalarda üretilirler ama fazla yaşamazlar. Her kararsız türün bir karakteristik ömrü τ vardır. Parçacıkların çoğu birkaç farklı bozunum moduna sahiptir, örneğin K^+ ların %64'ü ($\mu^+ + v_\mu$) şeklinde bozunurken, %21'i ($\pi^+ + \pi^0$)'a %6'sı ($\pi^+ + \pi^+ + \pi^-$)'ye ve %5'i ise ($e^+ + v_e + \pi^0$)'a bozunmaktadır. Temel parçacık kuramının hedeflerinden birisi de bu ömür ve dallanma oranlarının hesaplanmasıdır.

Verilen bir bozunum üç temel kuvvetten birisi tarafından meydana getirilir. Bunlar güçlü, elektromanyetik ve ya zayıf bozunumlardır.

Bozunum	Bozunum Türü
$\Delta^{++} \rightarrow p^+ + \pi^+$	Güçlü
$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$	Elektromanyetik
$\Sigma^- \rightarrow n + e^- + \bar{v}_e$	Zayıf

TABLO 2.3: Bozunumlar ve Bozunum Türleri

Eğer bozunumda bir foton çıkıyorsa süreç mutlaka elektromanyetik, nötrino çıkıyorsa mutlaka zayıftır. Ancak bunlar çıkmadığında ne olduğunu söylemek oldukça zordur. Güçlü bozunumun ömrü $10^{-23}s$ civarında, elektromanyetik bozunum $10^{-16}s$ ve zayıf bozunum $10^{-13}s$ 'den 15 dakikaya kadar değişebilir. Bozunum genellikle ana parçacık ile ürün parçacık arasındaki kütle farkıyla ters orantılıdır.



ŞEKİL 2.10: üç bozunum türü için Feynman diyagramları

Tüm fizikselli süreçleri temel diyagramları karmaşık kombinasyonlar halinde bir araya getirerek elde etmek mümkün olduğundan dolayı, her köşe için tepkimenin tamamında korunmalıdır. Korunma yasaları;

1. *Yük :*

Her üç etkileşmedede elektrik yükünü korur. Zayıf etkileşmelerde yük farklı olabilir ve bu farklı W taşırlar.

2. *Renk :*

Elektromanyetik ve zayıf etkileşmelerde renk etkilenmez. Bir güçlü etkileşim köşesinde kuark rengi değişir, farklı gluon taşırlar. Doğada bulunan parçacıklar renksiz olduğundan korunumun gözlenmesi çok kaydır. Tepkimeye giren renk sıfır ve tepkimeden çıkan renk sıfır olmalıdır.

3. *Baryon Sayısı :*

Bütün ilkel köşelerde, eğer bir kuark girerse, bir kuark da çıkar ve dolayısı ile mevcut kuark sayısı sabittir. Bu işlem de antikuarklar negatif sayılr.

4. *Lepton Sayısı :*

Güçlü kuvvetler hiç bir şekilde leptonlara dokunmaz; bir elektromanyetik etkileşmede giren lepton aynen çıkar.

5. *Çeşni :*

Çeşni güçlü ve elektromanyetik köşelerde korunur ancak zayıf etkileşim köşelerinde korunmaz.Yani bir yukarı kuark bir aşağı-kuark veya acayıp kuarka dönüşebilir.Kaybedilen yukarılığı taşıyan veya kazanılan aşağılığı veya acayıplığı sağlayan birşey yoktur. Zayıf kuvvetler çok zayıf olduğundan değişik çeşitlerin yaklaşık olarak korunduğunu söyleriz.

Bölüm 3

Deneysel Düzenek

İnsanlık bu zamana kendini ve çevresini anlamak istemiştir. Çevresinde olan olayların temelde neden olduğunu merak edip altındaki sebebi açıklama isteği duymuştur. Bundan biri çevremizde gördüğümüz şey nedir ? ve bu merakın sonucu insanlığın sorduğu en güzel sorulardan biri en küçük nedir sorusudur. Bu soruya yüzyıllardır çeşitli cevaplar verilmiştir gerek felsefi gerek bilimsel. Bilimsel olarak ele aldığımda insalik en küçüğe bir isim vermiştir ve buna atom (atomus¹) demiştir. Daha sonraki tarihsel kısımda ise atomun çekirdeğinin keşfi 1911 yılında Ernest Rutherford tarafından 2 atom inceliğinde altın bir folyo üzerine gönderdiği alfa lar ile yaptı. Bilimin en küçüğü arama yöntemi zaman geçtikçe değişti. Çekirdiği oluşturan protonlar ve nötronlar keşfedildi. 1964 yılında Murray Gell-Mann ve George Zweig tarafından birbirlerinden bağımsız olarak quark modelini ortaya attılar. Böylece tarihin en küçüğü arama mücadelesi aynı kalırken, küçüğü bulma yolundaki yöntemleri değişti. Şu anda en küçükleri arama aracı olarak hızlandırıcıları kullanıyoruz.



ŞEKİL 3.1: Doğrusal Hızlandırıcı



ŞEKİL 3.2: Dairesel hızlandırıcı

¹ Atomus sözcüğünü ortaya atan ilk kişi MÖ 440'lı yıllarda yaşamış Demokritos'tur.

Hızlandırıcı, bir mikroskop olarak düşünülebilir. Hızlandırıcıların en temel amaçlarından, maddenin temel yapı taşlarını ve aralarındaki etkileşmeleri incelemektir. Yüklü parçacıklar elektrik alanlar aracılığıyla hızlandırılırlar. Hızlandırılan bu parçacıklar birbirlerine çapıştırılarak daha küçük parçacıkların ortaya çıkışmasını sağlar. Ortaya çıkan bu parçacıklar dedektörlerle yükleri kütlesi ömrlerini belirlenebilir. Hızlandırıcılar iki kısma ayrılr. Bunlar doğrusal ve dairesel hızlandırıcılardır. Doğrusal Hızlandırıcılar; yüklü parçacıklar doğrusal yörüngelerde elektrostatik alanlar ve radyofrekans (RF) alanları ile hızlandırırlar. Parçacıklar hızlandırılıp sabit hedefe çarptıktan sonra işime yapar. Sabit hedefe çarpma sonucunda yeni parçacıklar üretilir.

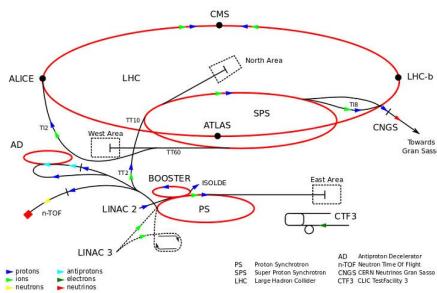
Dairesel hızlandırıcılar ; RF ile hızlandırılan ve manyetik alan ile yörüngede kalmasını sağlayan hızlandırıcılardır. Dünyadaki en büyük örneği ise Fransa-İsviçre sınırları içinde yer alan CERN'deki BHÇ'dır.

3.1 Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın çevresi 27 km olup 100 m derinliktedir. BHÇ'de protonlar ilk olarak doğrusal hızlandırıcıarda belli bir enerji seviyesine çıkartılırlar. Daha sonra 1.4 GeV'lik itici bir enerji ile Proton Sinkrotronda 25 GeV ve Süper Proton Sinkrotronda 450 GeV'e çıkartılırlar ve BHÇ halkasına aktarılırlar. Yüksek enerjili bu protonları dairesel bir yol üzerinde tutmak için 1232 adet süperiletken mıknatıs kullanılmıştır. Bu hızdaki protonları dairesel bir yol üzerinde tutmak için gerekli olan manyetik alan ;

$$B = \frac{p}{q \cdot RBHC} \quad (3.1.0.1)$$

ile hesaplanır. Burada q protonun yükü, p momentumları ve $RBHC$ dedektörün yarıçapıdır. ayrıca BHÇ'de protonlar demetler halinde gönderilirler ve 7 metre mesafe ile her

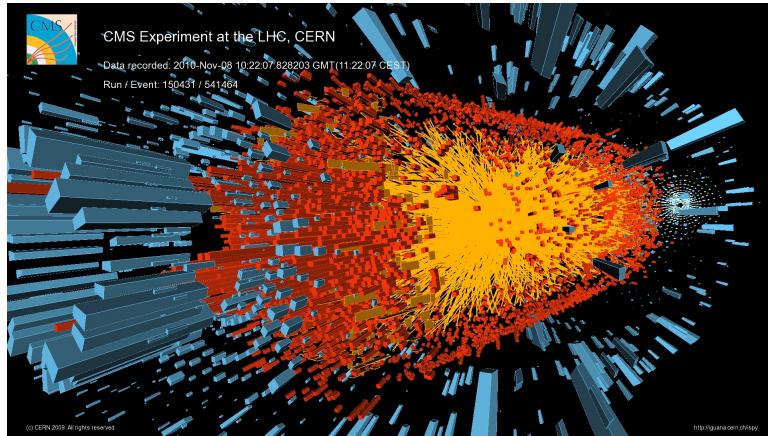


ŞEKİL 3.3: Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

demette $1.15 \cdot 10^{11}$ adet proton bulunmaktadır.

Bu deneylerde bilinmesi gereken bazı kavramlar mevcuttur. Bunlardan ikisi kütle merkezi çerçevesi ve Luminosite önemli kavramlardandır.

Kütle merkezi çerçevesi : Bir sistemin hareketini çoğu kez, referans çerçevesinin orijinini kütle merkezinde ve durgun olarak incelemek uygun olur. Bu kütle merkezi çerçevesidir. Cern bu çerçevede iki ayrı proton demetinin kütle merkezi enerjisini \sqrt{s} ile tanımlamıştır. 2009 yılının sonunda Cern $\sqrt{s} = 2.36\text{TeV}$ lik çarpışmalar gerçekleştirirken. 19 Mart 2010 tarihinde $\sqrt{s} = 3.5\text{TeV}$ lik enerji ile çarpışmalar yaptı. Şu anda Cern $\sqrt{s} = 14\text{TeV}$ lik enerji ile çarpışmalardan veri toplamaktadır.



SEKİL 3.4: CMS dedektorunde bir çarpisma ve bu çarpisma sonucu parçacıkların dedektor üzerinde bıraktığı izler

Luminosite : Işıklılık anlamına gelmektedir. Çarpıştırılan iki proton demetinin karşı karşıya gelme ihtimalini söyler. Luminositenin basit yaklaşımı;

$$L = \frac{f_c n_1 n_2}{A} \quad (3.1.0.2)$$

f_c proton demetinin çarpışma ihtimali n_1 ve n_2 proton demetlerinin içerisinde bulunan proton miktarı ve A ise proton demetinin enlemsel kesitidir. Diğer bir tanımı ise;

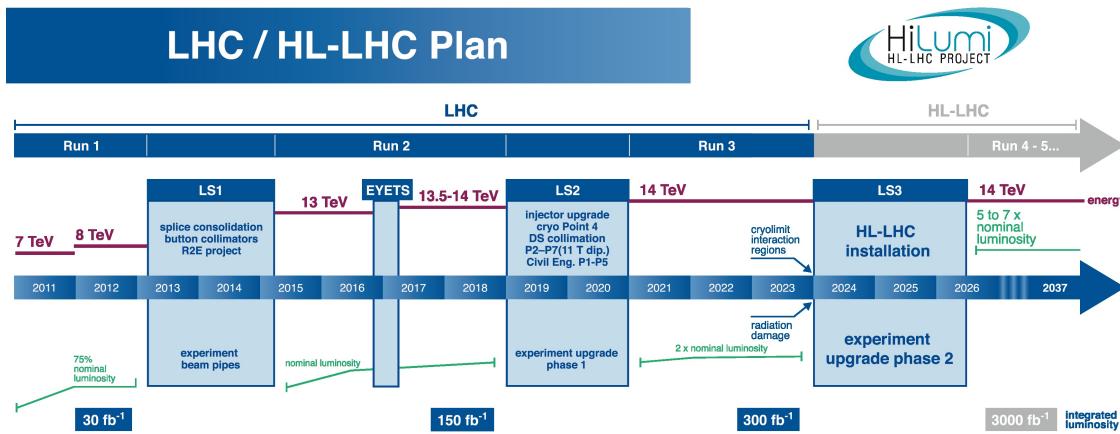
$$\mathcal{L} = \frac{1}{\sigma} \frac{dN}{dt} \quad (3.1.0.3)$$

$$\mathcal{L}_{int} = \int \mathcal{L} dt \quad (3.1.0.4)$$

3.1.0.3 denkleminden görüldüğü üzere Liminosite birim zamandaki olay sayısı ile doğru orantılı ancak etkileşim içinde bulunduğu saçılma tesir kesiti ile ters orantılıdır. Denklem 3.1.0.4 ise belirli zaman aralığındaki integralidir. 3.1.0.3 denklemi 3.1.0.4 yerine koyarsak;

$$\mathcal{L}_{int} = \frac{N}{\sigma} \quad (3.1.0.5)$$

3.1.0.5 denklemini elde ederiz. Yani bu iki kavram ile Luminosite değerinin büyük olması çarpışmanın o kadar fazla olacağı anlamına gelmektedir. Elimizde ne kadar fazla çarpışma varsa o kadar daha çok veri var demektir. Luminosite değerini artırmak için \sqrt{s} 'i artırmamız gereklidir. Böylece proton demetleri içerisindeki protonları arttırarak daha fazla veri üzerinde daha sağlıklı analizler gerçekleştirebiliriz.



ŞEKİL 3.5: Cern Integrated Liminosite

Yukarıda görüldüğü üzere Liminosite 2012 yılına kadar 30fb^{-1} iken 2023 planlarında bu değerin 10 katına çökmektedir.

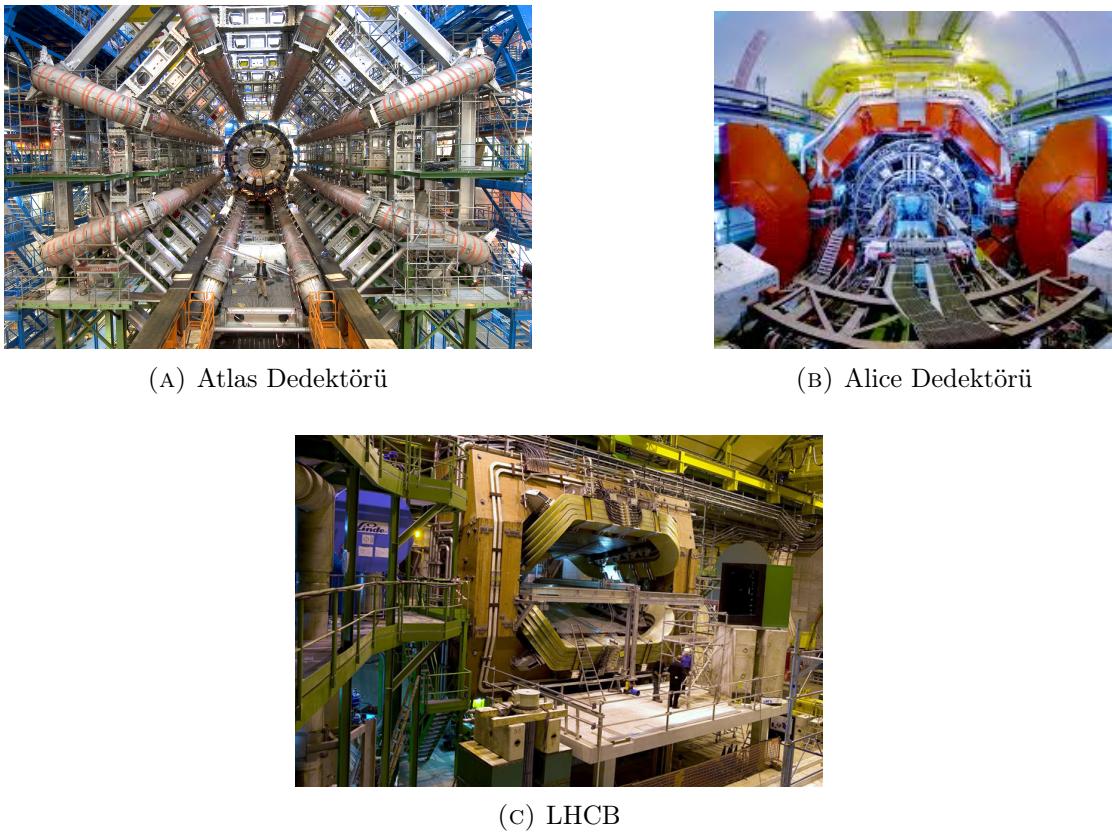
BHC üzerinde 4 büyük dedektör bulunmaktadır. Bunlar ; Büyük Toroidal Detektör (ATLAS), CMS, Büyük İyon Çarpıştırma Deneyi (ALICE) ve B fizigi araştırmaları yapan LHCb'dir.

3.2 ATLAS

ATLAS, 45 m uzunlukta, 25 m yükseklikte ve 7000 tonluk bir kütleye sahiptir. ATLAS dedektörü süpersimetrik parçacıkların ürünleri, ağır vektör bozonları, ekstra boyutlar ve Higgs bozonları gibi sınırsız çeşitlilikte fizik olaylarını incelemektedir.

3.3 ALICE

ALICE 16 m yüksekliğinde, 26 m uzunlığında ve 10000 tonluk bir kütleye sahiptir. Burada çok küçük boytlardaki maddenin fizigi araştırılmaktadır. Genel olarak bu deneyde



ŞEKİL 3.6: CMS üzerindeki dedektörler

çekirdek-çekirdek çarpışmaları ile quark-gluon plazma yapıları incelenmektedir.

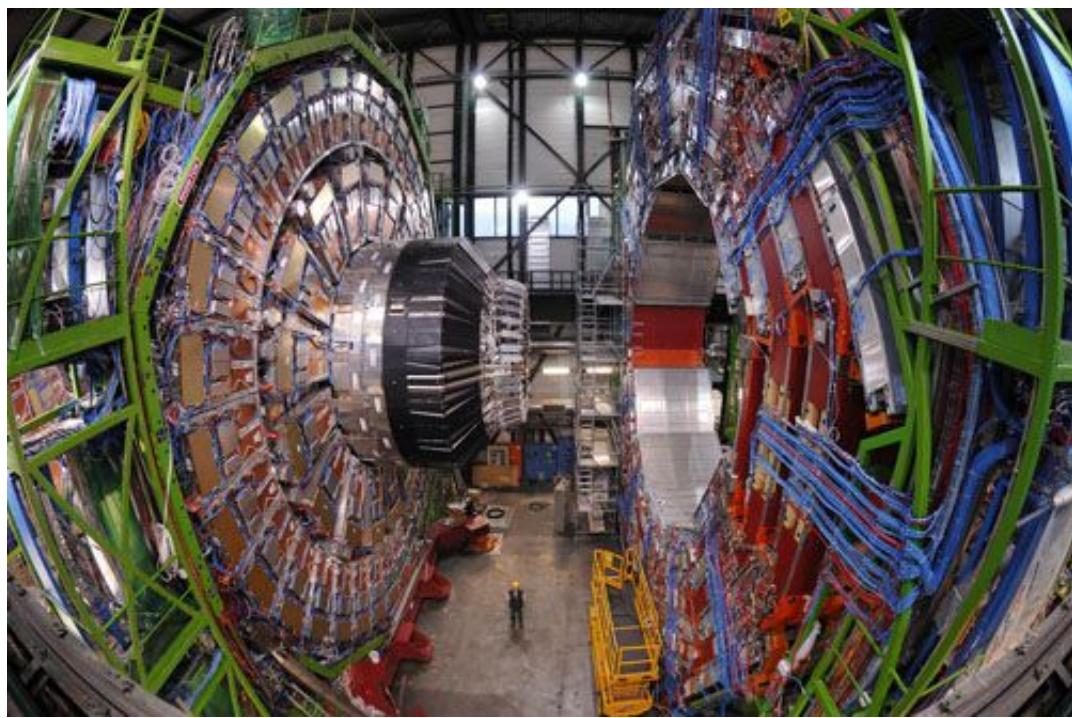
3.4 LHCb

LHCb 21 m uzunlığında, 10 m yüksekliğinde ve 5600 ton ağırlığındadır. b-quark ve B mezonlarının özelliklerini ve parite bozunmasını araştırmak için dizayn edilmiştir.

3.5 CMS

CMS 21.6 m uzunlığında 14.6 m çapında ve 12500 ton ağırlığındadır. CMS'in merkezinde, 13 m uzunlığında, 11.8 m iç çapında 4 T'lik süper iletken solenoid mıknatıslar bulunmaktadır. Çarpışmada meydana gelen yüklü parçacıkların izini belirlemek için en iç kısımda iz dedektörü bulunmaktadır. İz dedektörünün hemen arkasında elektronların ve fotonların enerjilerini ölçen elektromanyetik kalorimetre ve hemen ardından da kuvvetli etkileşen parçacıkları ölçmek için hadronik kalorimetre yer almaktadır. Son olarak en dışta muonların yük ve momentumlarını ölçmek için muon odacıkları bulunmaktadır.

CMS dedektörü Higgs arayışı dahil SUSY gibi teorileri sınamak için veriler toplamaktadır.

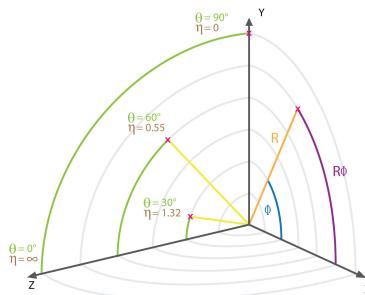


ŞEKİL 3.7: CMS Dedektörü

3.5.1 CMS Koordinat Sistemi

CMS'de kordinat sisteminin merkezi çarpışma noktası olarak seçilir; x-ekseni ; radyal olarak BHC halkasının merkezine doğru yönelmiş, z-ekseni protonların geldiği yön ve son olarak y ekseni bu 2 eksene dik olan eksendir.xy ekseninde ölçülen azimut açısı ϕ yz düzleminde ölçülen açı *theta* olmak üzere,CMS kutup açısı yerine psudorapidite η ile θ arasında 3.5.1.1'daki gibi bir eşitlik bulunmaktadır. $\theta = 0 +z$ yönünü $\theta = \pi -z$ yönünü belirtmektedir.

$$\eta = -\ln(\tan(\theta/2)) \quad (3.5.1.1)$$



ŞEKİL 3.8: CMS Dedektör koordinat sistemi

$\phi = 0 +x$ yonunde $\phi = \pi/2 +y$ yonunu göstermektedir ve ϕ , $-\pi$ ile $+\pi$ arasında değerler alabilir. Açısal uzaklık ΔR 3.5.1.2 seklinde ϕ ve η cinsinden ifade edilebilir.

$$\Delta R = \sqrt{(\Delta\phi)^2 + (\Delta\eta)^2} \quad (3.5.1.2)$$

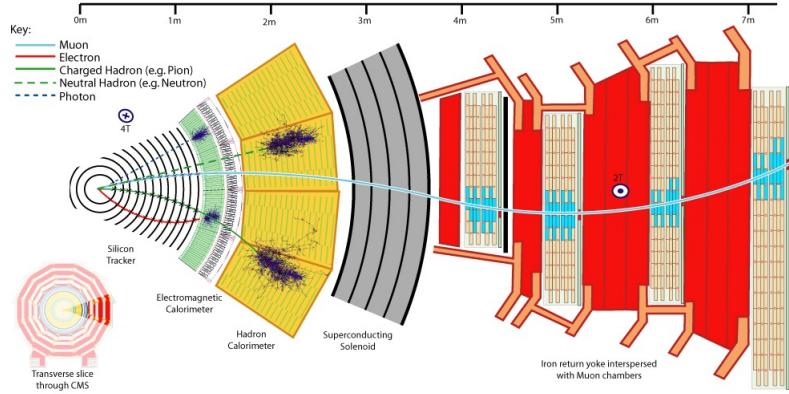
3.5.2 CMS'in Alt Dedektörleri

Silindirik bir yapıya sahip olan CMS dedektörü içten dışa doğru İz dedektörü(beam-line 1 çevreler), ECAL², HCAL³ ve Muon dedektörüne sahiptir.

- İz Dedektörü** Bu dedektörün çalışma mantığı çarpışmada oluşan yüklü parçacıkların enerjilerinin bir kısmını iyonizasyonla kaybettirerek parçacıkların mentümünün, yükünün ve törüngesinin belirlenmesini sağlar. $-2.5 < \eta < 2.5$ psudorapidite aralığında yer alır ve parçacıkların bıraktıkları izleri belirler. İz dedektörleri piksel dedektör ve iç izleyici olarak 2 sınıfa ayrılır.

²Elektromanyetik Kalorimetre

³Hadronik Kalorimetre



ŞEKİL 3.9: CMS alt dedektörleri

Piksel Dedektör Çarpışma noktasına en yakın olan elemanıdır. Bu dedektör ağır ve kısa ömürlü parçacıklar ile yapısında b-quark bulunan hadronların bozulmasıyla oluşabilecek birincil ve ikincil etkileşim noktalarının belirlenmesini sağlar. **İç İzleyici Sistem** Etkileşme noktasına yakın olan 3 katmanlı hibrit piksel dedektöre sahiptir. Bu sistem yüksek luminositede ve çaplardaki yüklü parçacıklara göre yakın orta ve dış bölge olarak ayrılır.

2. **Elektromanyetik Kalorimetre** Bu dedektör, fotonlar ve pozitronları ölçmek için tasarlanmıştır. İçerisinde 61200 adet ($PbWO_4$) kristali bulunmaktadır. Elektromanyatik kalorimetre hadronik kalorimetre ile Jet lerin ölçülmesini sağlar.
3. **Hadronik Kalorimetre** HCAL CMS'de manyetik halka içindeki son kısımda bulunan dedektördür. HCAL çarpışmadan çıkan parçacıkların kayıp enerjilerini ve en önemli jetleri ölçen dedektördür. HCAL $|\eta| \leq 5.0$ aralığını kapsamaktadır. HCAL'da odacıklar η ve ϕ 'ye göre yerleştirilirler. Bu odacıklardaki değişikliklerle çıkan Jet'lerin Enerjileri ve yönelimleri belirlenmektedir.
4. **Müon Sistemi** Muon sistemi dedektörün en dış kısmında bulunmaktadır. Amacı muonları tespit etmektir. Muon sistemindeki disklerin her biri $\phi = 30$ dereceye karşılık gelen 12 sektöre ayrılmıştır.

Bölüm 4

Monte Carlo Simülasyonu ve Data Üretimi

4.1 Monte Carlo Simülasyonu

Rastgele üretilen sayılardan daydalınlara istatistiksel simülasyonlar Monte Carlo (MC)¹ metoduyla yapılır. Deney girdileri belirli olmayan, kesin olmayan bir şekilde gelmesi bekleniyorsa ve dağılım bir fonksiyonla hesaplanabilecekse kullanılır. MC, rastgele sayıları baz alarak tahmini sistemleri modeller. MC methodunun kullanıldığı bazı alanlar, Sayısal Analiz, Atom ve Molekul Fiziği, Nükleer Fizik, Yüksek Enerji Fiziği gibi alanlarda modellerle test edilebilen simülasyonlar gerçekleştirilir.

1930 yılında İtalyan bir fizikçi olan Enrico Fermi'nin, yeni keşfedilmiş olan nötronun özelliklerinin hesaplaması sırasında Monte Carlo Yöntemi'ni kullanması ile bu yöntemin adı duyulmuş oldu. Sınırlı hesaplama kaynaklarına sahip olduğunda sıkılıkla kullanılan bir yöntemdir. Örnek olarak Monte Carlo Yöntemi İkinci Dünya Savaşı sırasında ilk atom bombasının geliştirildiği Manhattan Projesi'nde kullanılmıştır. MC yönteminde yüksek boyutlu integrallerin çözümünü daha kolaylaştırır ve hata oranı işlem yapılmadan önce yaklaşık olarak rahatlıkla kestirilebilmektedir

$$I = \int_{x_1}^{x_2} f(x)dx \equiv (x_2 - x_1) \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(x_i) \quad (4.1.0.1)$$

¹Los Alamos Bilimsel Laboratuvar'ından John Von Neumann, Stan Ulam ve Nick Metropolis adlarında üç bilim adamı tarafından ortaya çıkarılmıştır. Metropolis algoritması olarak da bilinir.

$x = (x^1, x^2, \dots, x^d)$, d integral boyutunu göstermek üzere, integrali toplam şeklinde gösterimi:

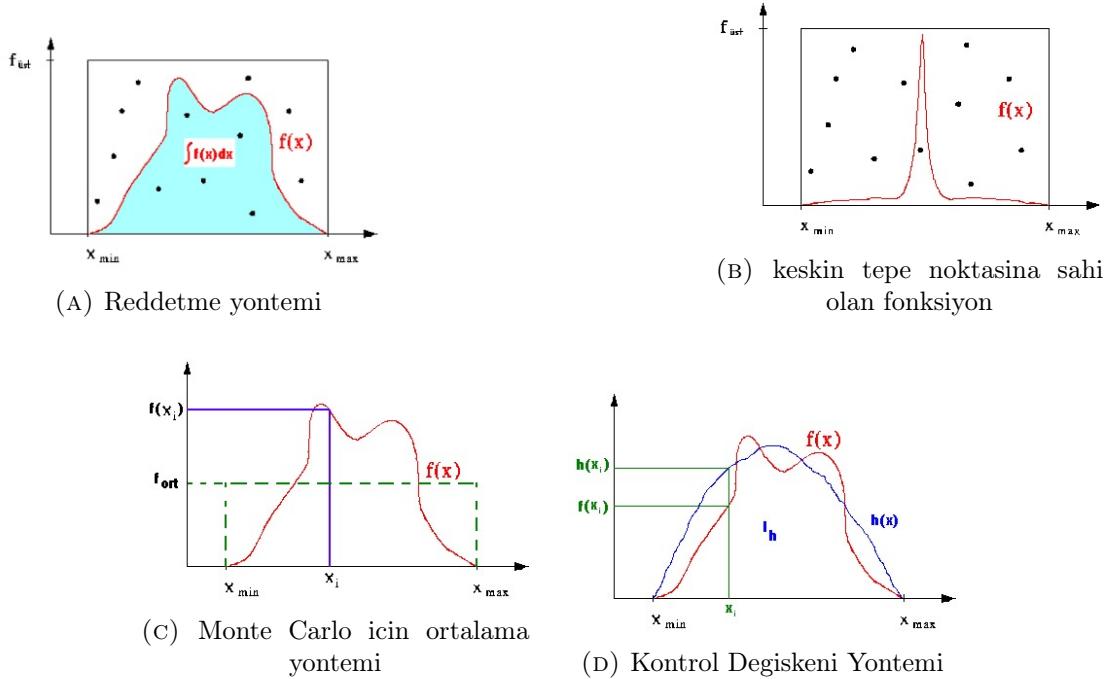
$$I = \int_R f(x) dx = \Delta x^d \sum_{i_1=1}^N \sum_{i_2=1}^N \cdots \sum_{i_d=1}^N f(x_{i_1}^1, \dots, x_{i_d}^d) \quad (4.1.0.2)$$

şeklinde ifade edebiliriz. Her bir boyut için 10 adet örnek eleman kullandığımızda yapmamız gereken işlem sayısı $N^d = 10^5 = 100000$ dir. MC için hata oranı $\left(\frac{1}{\sqrt{N}} = \frac{1}{\sqrt{100000}} = 0.00316\right)$ dir.

MC yöntemine ait bir kaç teknik mevcuttur.

Reddetme yöntemi: ² Sekil 4.1a seçilen rastgele noktalar eğer $f(x)$ fonksiyonuna ait eğrinin altında kahiyorsa kabul, değilse reddedilerek toplam yapılan denemelerden kaç tanesinin başarılı sonuç verdiği hesaplanır. Yapılan işlemler sonucunda, toplam deneme sayısının başarılı deneme sayısına oranı, toplam alanın integrali alınarak istenilen $f(x)$ fonksiyonunun alanına oranını verir.

Bu yöntem bir veya daha fazla keskin tepe noktası olan fonksiyonlar için uygun bir yöntem değildir. Reddedilen noktalar vakıt kaybına sebeb olur sekil 4.1b



ŞEKİL 4.1: Monte Carlo Yöntemleri

Ortalama Yöntemi: ³ Şekil 4.1c görüldüğü gibi ortalama yöntemde rastgele seçilen noktalar üzerinden işlem yapar. Reddetme yönteminden farklı olarak, alan taramak yerine, seçilen noktalardaki fonksiyonun değerinden yola çıkarak sonucu bulmaya çalışır.

²Rejection Method

³Averaging Method

Kontrol Değişkeni Yöntemi: ⁴ Bu yöntemde, integrali alınmak istenen $f(x)$ fonksiyonuna oldukça yakın bir $h(x)$ yardımcı fonksiyonu kullanılır. Bu yardımcı fonksiyonun integral değeri, $f(x)$ fonksiyonumuzdan daha kolay hesaplanabilir veya çözümü bilinen bir fonksiyon olmalıdır. Böylelikle seçilen her rastgele noktada iki fonksiyonun farkından, integral değerleri arasındaki fark bulunmaya çalışılır. Elde edilen fark değeri $h(x)$ fonksiyonunun integral değerine eklenerek $f(x)$ fonksiyonuna ulaşılmasına çalışılır. [4.1d](#)

$$\begin{aligned} \text{Monte Carlo} &\propto \frac{1}{\sqrt{N}} \\ \text{Trapezium} &\propto \frac{1}{N^{\frac{2}{d}}} \\ \text{Simpson's} &\propto \frac{1}{N^{\frac{4}{d}}} \end{aligned} \quad (4.1.0.3)$$

Yukarıda görüldüğü üzere Monte Carlo metodu diğer yöntemlere göre integralin boyutuna bağlı değildir. Bu yüzden MC yönteminde eğer tek katlı integral çözümü yapılmaksa zaman alabilir ancak çok katlı integrallerde MC yöntemi integralin boyutundan bağımsız olduğu için açık ara bir avantaj sağlayacaktır.

Matematikte ve fizikte bir faz uzayı içinde bir sistemin tüm olası durumlarının temsil edildiği bir uzaydır. Sistemin her olası durumuna karşılık faz uzayında bir tek nokta vardır. Parçacık çarşıma işleminde teorik olarak çok katlı integrallerin çözümleri gerekmektedir. Eğer son durumda n adet parçacık varsa $d = 3n - 4$ adet faz uzayı mevcuttur. 2 parçacığın çarpışıp 3,4,...,n parçacıklarını ürettiğimizi varsayıyalım:

$$1 + 2 \rightarrow 3 + 4 + \dots + n \quad (4.1.0.4)$$

Sacılma tesir kesiti,

$$\sigma = \frac{S\hbar^2}{4\sqrt{(p_1 \cdot p_2)^2 - (m_1 m_2 c^2)^2}} \int |\mathcal{M}|^2 (2\pi)^4 \delta^4(p_1 + p_2 - p_3 - \dots - p_n) \times \prod_{j=3}^n \frac{1}{2\sqrt{\mathbf{p}_j^2 + m_j^2 c^2}} \frac{d^3 \mathbf{p}_j}{(2\pi)^3} \quad (4.1.0.5)$$

dormülü ile verilir. Burada p_i i . parçacığın 4-vektör momentumudur (kütleleri m_i) ve S istatistiksel düzeltme faktörüdür. Örnek olarak, $a \rightarrow b + b + c + c + c$ gibi bir süreç için $S = (1/2!)(1/3!) = 1/12$ olur. \mathcal{M} ise genliği belirtmektedir⁵.

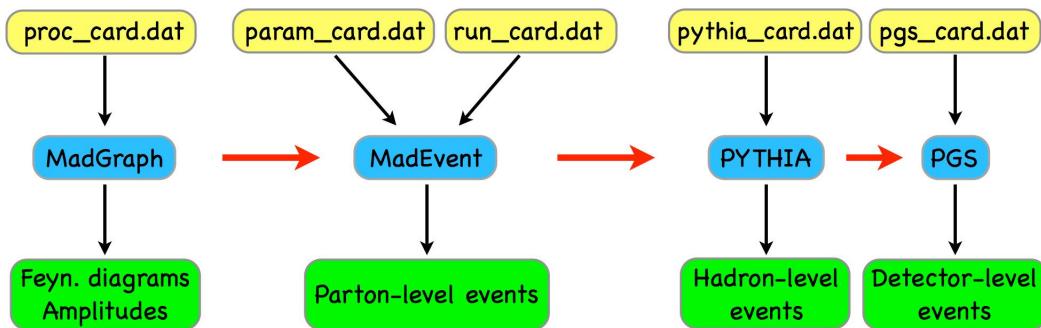
⁴Control Variates Method

⁵ \mathcal{M} nin nasıl elde edileceği Ekler Kısmında Bir Oyuncak Kuram İçin Feynman kurallarında anlatılmıştır

4.2 Olay Üretimi

4.2.1 MadGraph

MadGraph⁶ programı yüksek enerji fizигinde parçacık çarpıştırmasında parçacıkların son durumlarını veren ve MC metodunu kullanan bir simülasyon yazılımıdır. Ağaç seviyesinde matrix elemanı hesaplayıcısı, tesir kesiti hesabı ve olay üretimi yapan MG uzun süre C++/Fortran ile hazırlanan MG4, 2010 yılından bu yana Python dilinde hazırlanan MG5 i kullanmaktadır. MG5 Grid üzerinde, çok çekirdekli ya da küme bilgisayarlarında başarılı hesaplamlar yapabilmektedir.



ŞEKİL 4.2: MadGraph programının çalışma şeması

Şekil 4.3 de görüldüğü üzere kullanıcı arayüzü yoktur. Terminal üzerinden çalıştırılır. Sonuçları HTML olarak verir.

```

File Edit View Search Terminal Help
WELCOME to
MADGRAPH5_aMC@NLO
VERSION 2.9.3          2015-10-25
The MadGraph5_aMC@NLO Development Team - Find us at
https://server06.fynu.ucl.ac.be/projects/madgraph
and
http://amcatnlo.web.cern.ch/amcatnlo/
Type 'help' for in-line help,
Type 'tutorial' to learn how MG5 works
Type 'tutorial amCatNLO' to learn how aMC@NLO works
Type 'tutorial MadLoop' to learn how MadLoop works
*****
load MG5 configuration from input/mg5_configuration.txt
set fastjet to fastjet-config
lhapdf-config does not seem to correspond to a valid lhapdf-config executable.
Please set the 'lhapdf' variable to the absolute path /PATH/TO/lhapdf-config (including lhapdf-config).
Note that you will need to load aMC@NLO with the built-in PDFs
MG5_aMC set lhapdf /PATH/TO/lhapdf-config

Using default text editor 'vi'. Set another one in ./input/mg5_configuration.txt
Using default eps viewer "evince". Set another one in ./input/mg5_configuration.txt
Using default browser "firefox". Set another one in ./input/mg5_configuration.txt
Loading default model 'sm'
INFO: Restrict model sm with file models/sm/restrict_default.dat .
INFO: Run "set stdout_level DEBUG" before import for more information.
INFO: Change particles name to pass to MG convention
Defining multiparticle j = g u c d s u- c- d- s-
Defined multiparticle l+ = e+ mu+
Defined multiparticle l- = e- mu-
Defined multiparticle v+ = ve vm vt-
Defined multiparticle vL- = ve- VM- vt-
Defined multiparticle all = g u c d s u- c- d- s- a ve vm vt- e- mu- ve- VM- vt- e+ mu+ t b t- b- z w+ h w- ta+ t
MG5_aMC>
  
```

ŞEKİL 4.3: MadGraph programının teminal üzerinde görüntüsü

⁶MadGraph'in ilk versiyonu Fortran'da 1994 yılında Tim Stelzer tarafından yazılmıştır.

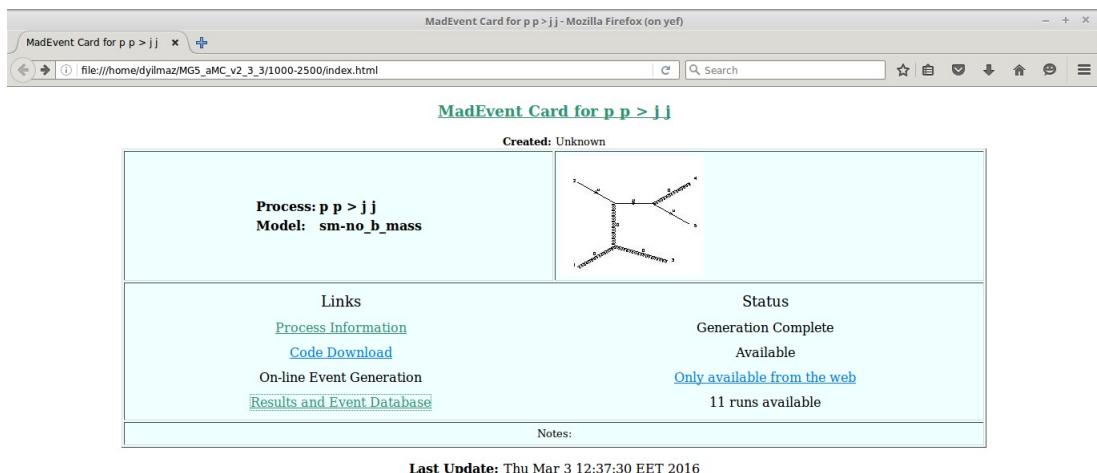
MadGraph programı açık kaynak koddur ve kurulumu bir kaç basit adımda gerçekleştirebilir⁷. MG çalışma prensibi ve çalışma adımları.

MadGraph:

MadGraph da olay üretimi için *proc_card.dat* dosyasını kullanır.

```
import model sm-no_b_mass
define p = g u c d u~ c~ d~ s~
generate p p > j j
output 100-250
```

`import model` satırında kullanmak istediğimiz modelimizi tanımlıyoruz. Daha sonra parçacıkların ne içerdigini `define` ile belirtiyoruz. `generate` komutu ile istediğimiz olayı tanımlayıp olay üretimimizi başlatabiliriz. Olay üretimi başladıkten sonra MG ilk olarak istenilen Feynman diyagramlarını çıkartıyor.



ŞEKİL 4.4: MadGraph programının analiz sonucu HTML çıktısı

MadGraph Feynman Diyagramları Üretimi⁸ MG içerisinde *proc_card.dat* dosyasında kullandığımız model `models` adlı klasörde kullandığımız model⁹ klasöründe; parçacık bilgilerini, köşegen bilgilerini ve diğer bilgileri kullanarak Feynman kurallarına uygun Feynman diyagramlarını çıkartıyor. Birkaç örnek olarak;

Kuplaj parametreleri `couplings.py` dosyasıyla;

```
GC_1 = Coupling(name = 'GC_1',
                  value = '-(ee*complex(0,1))/3.',
```

⁷Ekler kısmında MadGraph kurulumu anlatılmıştır.

⁸Anlatılan kartların içeriği Ekler kısmında mevcuttur.

⁹Biz olay üretimimizde `sm-no_b_mass` kullandık

```

order = {'QED':1})

GC_44 = Coupling(name = 'GC_44',
                  value = '(CKM2x1*ee*complex(0,1))/(sw*cmath.sqrt(2))',
                  order = {'QED':1})

```

Kuplaj sabitlerini belirliyor. Ayrıca köşegenler için ise vertices.py;

```

V_1 = Vertex(name = 'V_1',
              particles = [ P.G0, P.G0, P.G0, P.G0 ],
              color = [ '1' ],
              lorentz = [ L.SSSS1 ],
              couplings = {(0,0):C.GC_33})

```

```

V_46 = Vertex(name = 'V_46',
               particles = [ P.a, P.W__plus__, P.G__minus__ ],
               color = [ '1' ],
               lorentz = [ L.VVS1 ],
               couplings = {(0,0):C.GC_75})

```

ayrıca decays.py;

```

Decay_e__minus__ = Decay(name = 'Decay_e__minus__',
                         particle = P.e__minus__,
                         partial_widths = {(P.W__minus__,P.ve):'((Me**2 - MW**2)**2/(4.*pi*Me*EW**2)),(P.W__minus__,P.vt):'((MTA**2 - MW**2)**2/(4.*pi*MTA*EW**2))}

Decay_ta__minus__ = Decay(name = 'Decay_ta__minus__',
                           particle = P.ta__minus__,
                           partial_widths = {(P.W__minus__,P.vt):'((MTA**2 - MW**2)**2/(4.*pi*MTA*EW**2))})

```

elektron anti tau gibi parçacıkların decay bilgilerini tanımlıyor.

MadEvent

MadEvent kısmında MG programı *param_card.dat* ve *run_card.dat* dosyaları kullanılarak çıkışmış olan Feynman diyagramlarının genlikleri (\mathcal{M}), saçılma tesir kesiti gibi hesaplamalar yapılmaktadır.

```

*****
100000 = nevents ! Number of unweighted events requested
*****
```

```

0      = iseed    ! rnd seed (0=assigned automatically=default))
*****
# Collider type and energy *
# lpp: 0=No PDF, 1=proton, -1=antiproton, 2=photon from proton, *
#                                         3=photon from electron *
*****
1      = lpp1    ! beam 1 type
1      = lpp2    ! beam 2 type
6500.0 = ebeam1 ! beam 1 total energy in GeV
6500.0 = ebeam2 ! beam 2 total energy in GeV
*****

```

run_card.dat dosyasından kaç tane olay üreteceğimiz, çarpıştıracağımız parçacıkların neler ve hangi enerjide olduklarını ayarlayabiliyoruz.

```

*****
# Minimum and maximum pt's (for max, -1 means no cut) *
*****
20.0  = ptj       ! minimum pt for the jets
-1.0  = ptjmax   ! maximum pt for the jets
0.0   = drjj     ! min distance between jets
-1.0  = drjjmax ! max distance between jets
30.0  = xqcut    ! minimum kt jet measure between partons

```

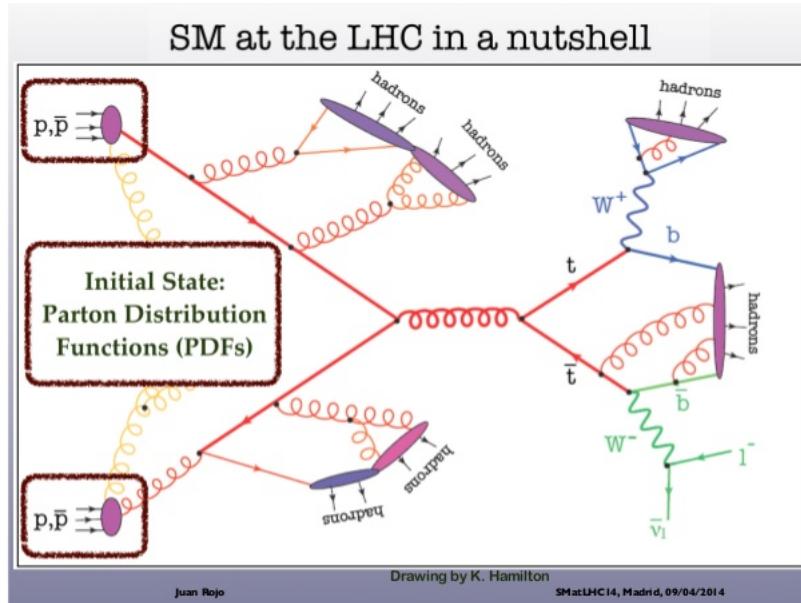
Arica çıkacak olan Jet lerin minimum enerjisi maksimum enerjisi aralarındaki minimum ve maximum uzaklık gibi son durumda elde etmek istediğimiz parçıkların veya Jetlerin özelliklerini belirleyebiliyoruz. Bu ayarlamaları yaptıktan sonra MadEvent kısmında saçılma tesir kesiti ve genlik hesabı yapılmaktadır ve yapılan bu hesaplamalara göre istediğimiz son durumlar MC yöntemi kullanılarak simüle edilmektedir.

Hadron çarpıştırıcısında bir tesir kesiti hesabı ;

$$\sigma = \frac{1}{F} \sum_a b \int dP S^{(n)} dx_a dx_b f_{(a/p)}(x_a) f_{(b/p)}(x_b) \overline{|M_{fi}|^2} \quad (4.2.1.1)$$

tüm partonlar üzerinden toplam alınır. Burada f parton dağılım fonksiyonudur (PDF). a ve b protondan gelen birer parton ve x parton fraksiyonları olmak üzere $f(x)$ partonların protonlardan gelme olasılığını gösterir.

Hangi PDF setini kullanacağımızı bu kart içerisinde girebiliriz. Bizim olay üretiminde kullandığımız PDF seti nn23lo1.



ŞEKİL 4.5: Parton dağılım fonksiyonu ve diğer adımlar

Yüksek Enerji Fiziğinde simulasyon için PDG¹⁰(parçacık numaralandırma şeması) 'nın önemli bir yerı vardır. Tablo 4.1 bazı önemli parçacıkların PDG leri mevcuttur.¹¹

Kuarklar		Leptonlar		Bozonlar	
d	1				
u	2	e^-	11	g	21
s	3	ν_e	12	γ	22
c	4	μ^-	13	Z	23
b	5	ν_μ	14	W	24
t	6	τ^-	15	h^0/H^0	25
\bar{b}	7	ν^τ	16	H^+	37
\bar{t}	8				

TABLO 4.1: Standart Model deki parçacıkları için PDG kodları

Pythia

Bu adımda sert saçılma sonrasında parton-duşu¹² ve hadronizayson yapılmaktadır.Olay üretimimiz sırasında *pythia_card.dat* dosyasını kullanmaktadır. Pythia gerekli işlemleri yaptıktan sonra bize .HEP¹³ uzantılı dosyayı verir. Artık dedektor simulasyonuna sokmadan önce elimizde istediğimiz olaya ait verileri almış oluyoruz.

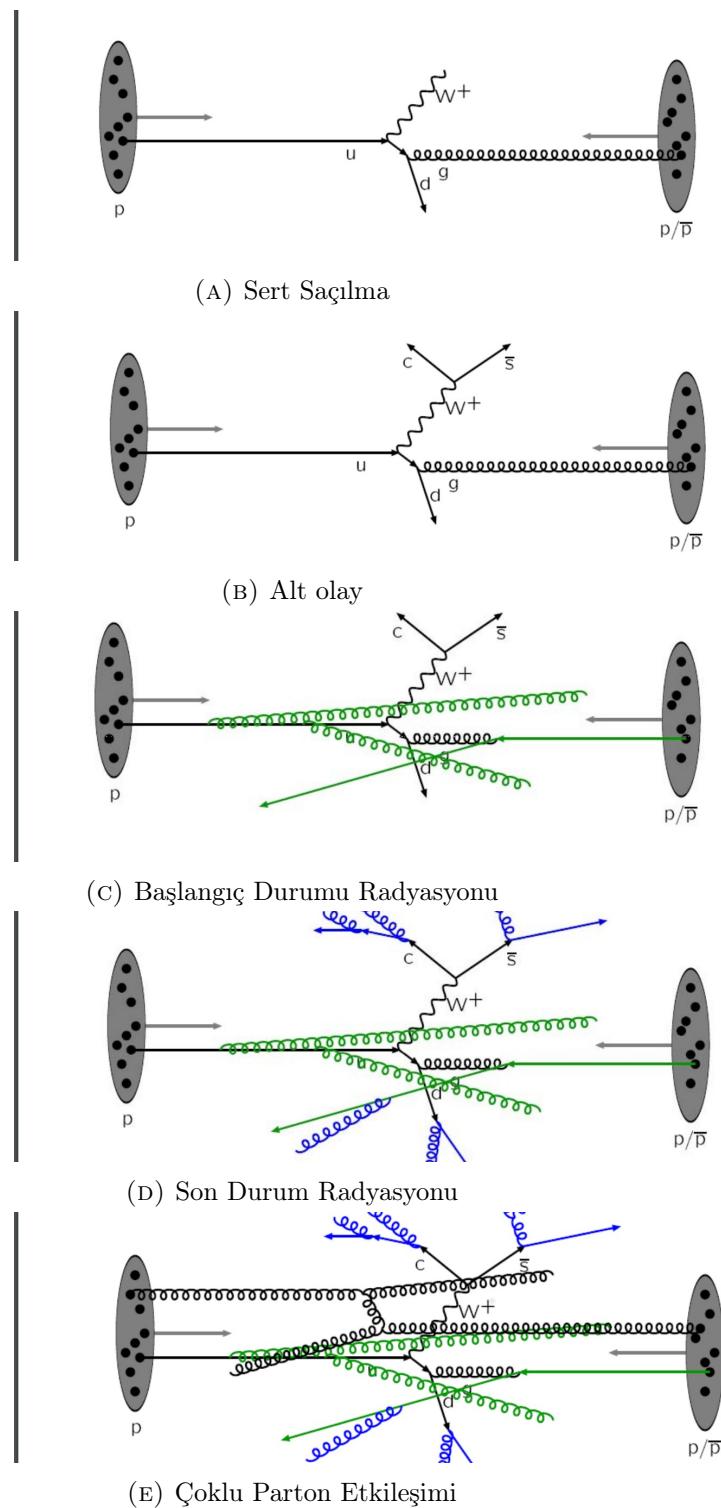
Eklerde bulunan *pythia_card.dat* dosyasında parton duşunu, hadronisasyonu, çoklu etkileşimi ve kullanacağımız PDF setini seçebiliyoruz. Örnek olarak bizim kullandığımız

¹⁰PARTICLE NUMBERING SCHEME

¹¹<http://pdg.lbl.gov/2007/reviews/montecarlo.pdf>

¹²Parton-Shower

¹³High Energy Physics



ŞEKİL 4.6: Proton - Proton Çarpışması adımları

ŞEKİL 4.7: $p \ p > j \ j$ olayında SM e göre çıkarılan feynman diyagramları

4.8: MadEvent çıktı dosyası. İlk satırda çıkan parçacıkların PDG kodları 2. satır
giriş (-1) son (1) araparçacık (2) bilgisini verir. Ayrıca dört-momumentum ve spin
bilgilerinde bu dosyanın içinde mevcuttur.

PDF seti;

!...PDFset if MG set not supported by pythia-pgs package (set in lhapdf5 or higher)

LHAID= 10041

Delphes Similasyonu

Delphes simulasyonu ürettiğimiz olaylar üzerinden tipki bir dedektör simulasyonuna sokulmuş gibi bize dedektör çıktılarını vermektedir. Dedektör simulasyonunda ürettiğimiz olayları algıçlar ile etkileşmesi sonucu bizim elimize simulasyon verilerini root olarak alırız. Delphes simulasyonu *delphes_card_CMS.tcl* kartını kullanmaktadır.

```
# magnetic field  
set Bz 3.8
```

kod satırı ile silindirdeki manyetik alanı ayarlayabiliyoruz.

```
# algorithm: 1 CDFJetClu, 2 MidPoint, 3 SIScone, 4 kt, 5 Cambridge/Aachen, 6
```

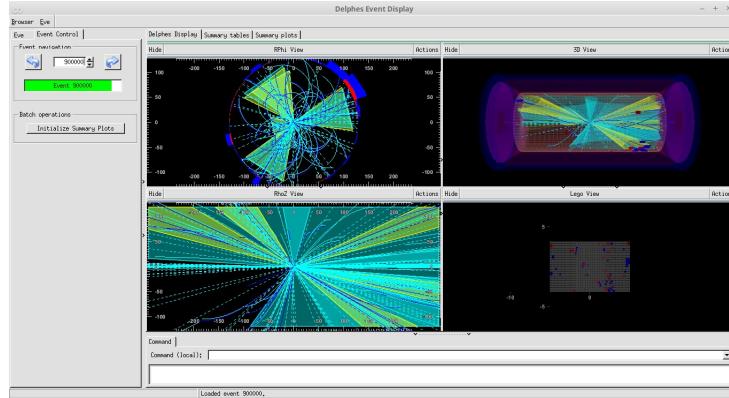
```

set JetAlgorithm 6
set ParameterR 0.5

set JetPTMin 20.0

```

ile Jet algoritmalarımızı jet lerin yarıçapları ve minimum jet enerjisini ayarlayarak, simülasyonumuzu yönledirebiliyoruz. Şekil 4.9 da görüldüğü gibi üretilen bir olayda jetler



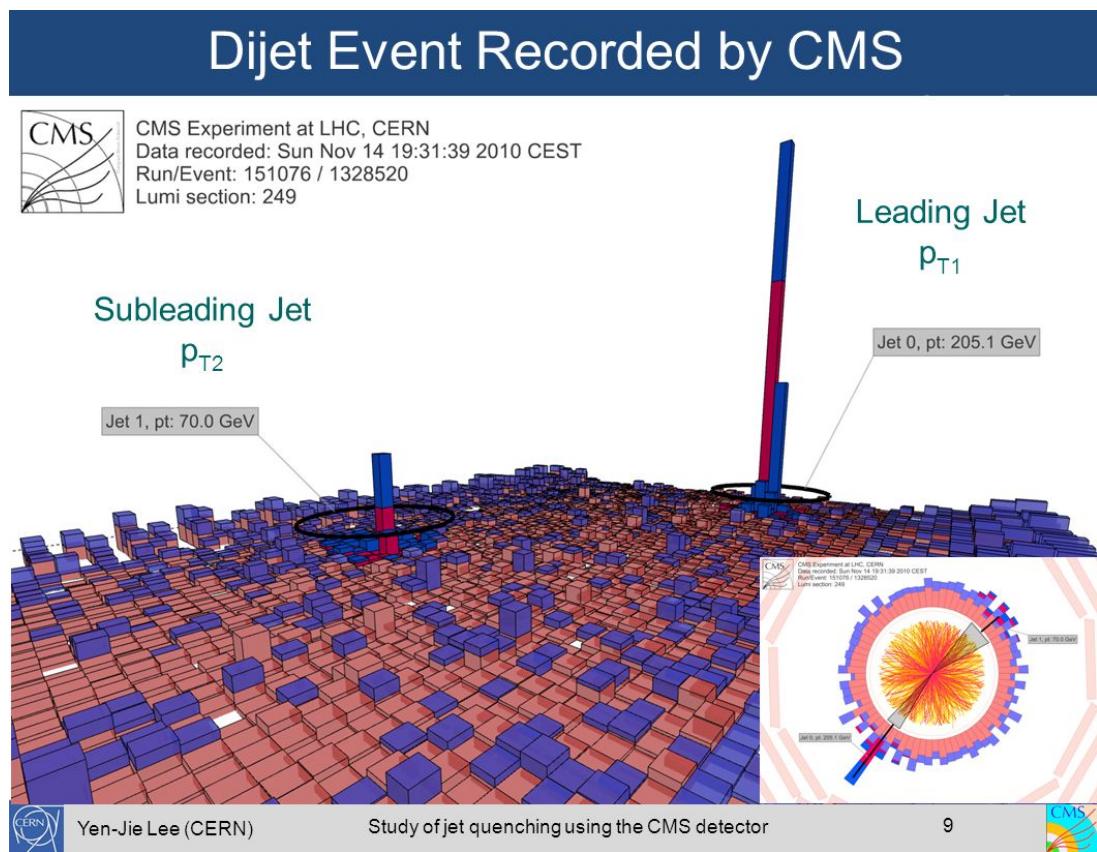
ŞEKİL 4.9: Delphes Simülasyonundan çıkan bir olayın görüntülenmesi

sınıflandırılmış parçacıklar tanımlanmış ve dedektörün üzerinde hangi parçacığın hangi konumda olduğu hesaplanarak tipki gerçek bir olay gibi simüle edilmiş.

Deneysel olarak Proton çarpışmasında dedektör üzerine düşen izle hard-disc lere kaylanıyor. Daha sonra bu veriler yeniden yapılandırılarak her bir izin fiziksel karşılığı bulunuyor. Analiz kısmında elde etmiş olduğumuz verilerin histogramları çıkartılıyor. Simülasyon kısmında ise MC yöntemş ile yukarıda bahsedilen programlar yardımıyla olaylar simüle ediliyor. Pythia ile dedektör simülasyonundan sonra dedektör üzerindeki izler yeniden yapılandırılıp fiziksel karşılıkları bulunuyor. Analiz kısmında ROOT veya başka bir program ile histogramlar elde ediliyor. Simülasyon kısmında teorideki bir model e göre çıkan histogramlar ile deney verisinden elde edilen veriler karşılaştırılıyor. Eğer deney verisi ile simülasyonda farklı sonuçlar verirse teorinin eksik kısımları vardır demek ve düzeltme yapıp tekrardan simülasyon ile deney verileri karşılaştırılıyor. Buna en güzel örnek Standart Model deki Higgs parçacığıdır. Simülasyon dan elde edilen veriler ile deneysel veriler karşılaştırıldığında böyle bir parçacığın varlığını ve bu parçacığın özelliklerini tespit edebiliyoruz.

4.3 Jet'lerin Yeniden Yapılandırılması ve Algoritmalar

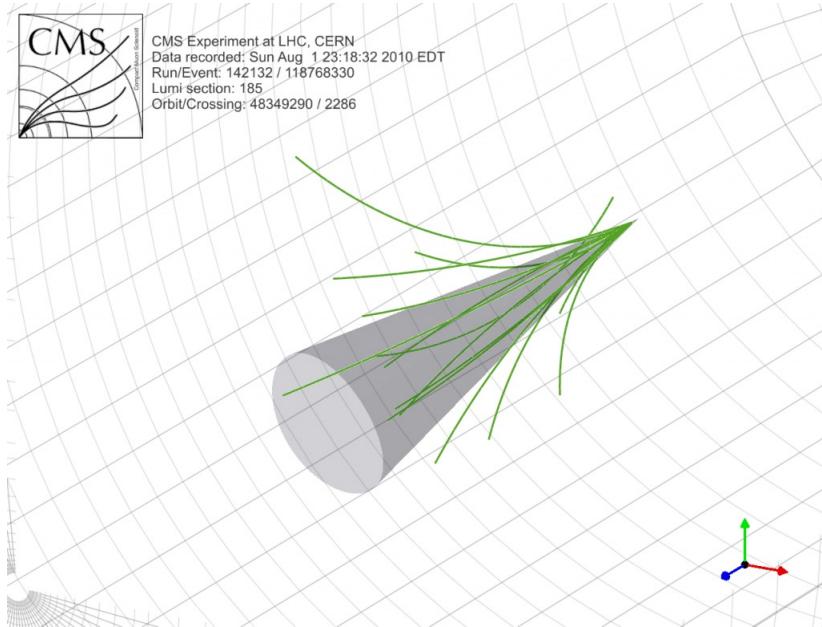
Kuarklar ve gluon lar renk yüküne sahiptirler(**r,g,b**). Kuantum renk dinamiğinin getirdiği kurallardan biri serbest haldeki bir parçacığın renk yükü nötr olmalıdır. Bu yüzden proton-proton çarpışmasında aslında gluon ve kuarkların etkileşmesi incelenirken, serbest halde bulunamayacak olan gluonlar QCD nin izin verdiği müddetçe hadronize olarak kuark antikuark çiftlerine bozulurlar. Böylece bütün renk yükü barındıran parçacıklar hadronizasyon sonucu renksiz parçacıklar oluştururlar. Jet'ler yüksek enerjili çarpışmalarda açığa çıkan parçacık püskürtüleridir. Kuark ve gluonların dedektörün kalorimetrelerde bıraktıkları enerjilerle tespit edebiliriz. Kısaca parçacık gruplarının oluşturduğu yapıya Jet diyebiliriz. Daha sade bir dil ile söyleyecek olursak jetler yüksek enerji fizигinde aynı yönde saçılan hadronları tek bir hızaya getirilmiş halleridir. CMS'in yayınladığı araştırmaların 60ında Jetler kullanılmıştır. Jetlerin en temel amacı son durumda oluşan karmaşıklığı en aza indirerek basit objeler halinde analiz yapmaktadır. Jet algoritmaları için 3 krite vardır. Bunlar collinear güvenilirlik , infrared güvenilirlik ve hız.



ŞEKİL 4.10: 2 jet çıkan bir olayın CMS dedektörü üzerindeki izleri

Şekil 4.11 de gösterildiği gibi belirlenen bir jet için Jet'in parametreleri;

$$\begin{aligned} E_{T_{jet}} &= \sum_{i \in jet} E_{T_{jet}} \\ \eta_{jet} &= \frac{1}{E_{T_{jet}}} \sum_{i \in jet} E_{T_{jet}} \eta_i \\ \phi_{jet} &= \frac{1}{E_{T_{jet}}} \sum_{i \in jet} E_{T_{jet}} \phi_i \end{aligned} \quad (4.3.0.2)$$



ŞEKİL 4.11: Koni algoritması ile gösterilmiş bir Jet

4.3.1 Jet Algoritmaları

Temelde iki tip jet algoritma türü vardır. Bunlardan biri koni diğeri kümeleme algoritmasıdır.

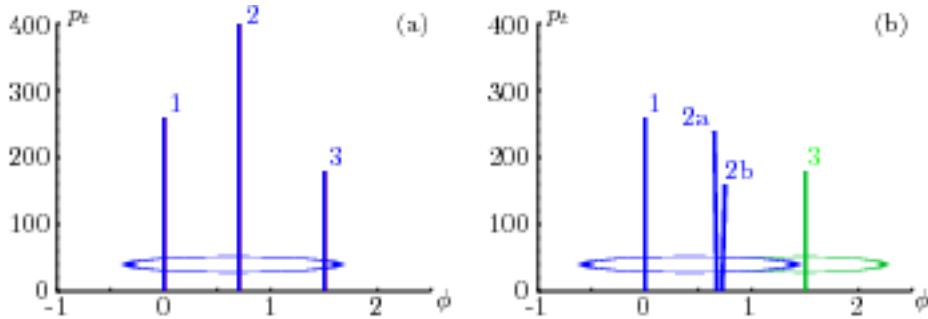
Koni tipi algoritması kendi içinde 3 e ayrılr. bunlar tekrarlayan koni¹⁴ algoritması, orta nokta¹⁵ koni algoritması ve SIS-Cone¹⁶ dur.

Tekrarlayan koni algoritması çıkan bütün parçacıkların p_T lerini listeler. Rastgele bir parçacık seçildikten sonra seçtiğin parçacığın R yarıçaplı bir daire çizerek bu dairenin içinde kalan parçacıkların momentumuna göre tekrar daire çizerek toplar. R yarıçaplı bir dairenin içindeki bütün parçacıkların momentumlarına göre yeniden R yarıçapı çizilerek jet belirlenir.

¹⁴Iterative Cone

¹⁵Midpoint Cone

¹⁶Seedless Infrared-Safe Cone Algorithm



ŞEKİL 4.12: Tekrarlayan koni algoritması en yüksek enerjiye sahip parçacığı seçerek R yarıçapı çemberin içinde kalan bütün parçacıkları toplar

Orta nokta algoritması Bu algoritmda rastgele ilk jetler belirlenir. Daha sonra her biri için R yarıçaplı daierel çizilir. Eğer iki ilk-jet üst üste geldiyse ve birinin enerjisi diğerinin enerjisinde %50 daha az ise bu bir Jet olarak alınır.

SISCONE

Oldukça hızlı olan bu algoritma CMS tetiklemeye kullanılmaktadır. Ancak collinear ve infrared güvenilir değildir.¹⁷

Kümeleme Algoritması

Bütün objeler için beam line a olan uzaklık hesaplanır.

$$d_i = (E_{T,i})^2 \cdot D^2 \quad (4.3.1.1)$$

daha sonra diğer parçacıklarla aralarındaki uzaklık hesaplanır.

$$d_{i,j} = \min(p_{Ti}^{2p}, p_{Tj}^{2p}) \frac{\Delta R_{ij}^2}{R^2} \quad (4.3.1.2)$$

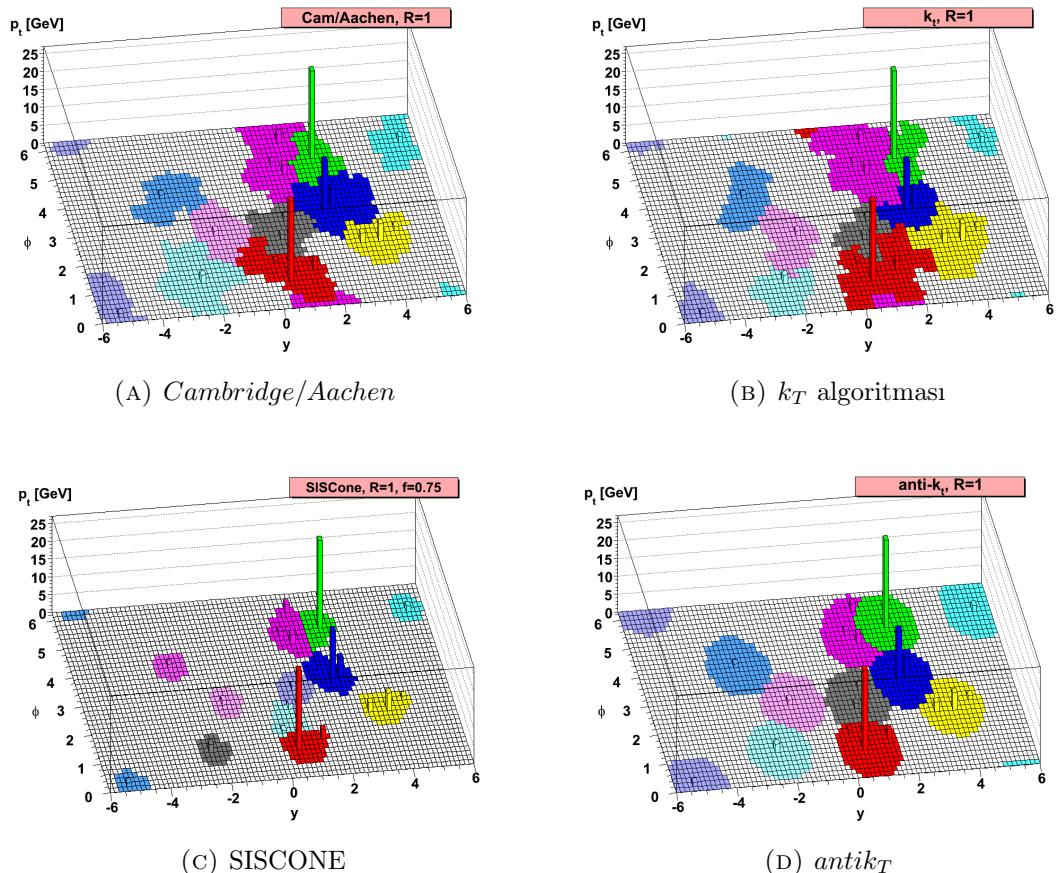
$$\Delta R_{ij} = \sqrt{(y_i - y_j)^2 + (\phi_i - \phi_j)^2} < R \quad (4.3.1.3)$$

$p = 1 k_T$, $p = 0 Cambridge - Aachen$, $p = -1 anti - k_T$ algoritmalarını verir. Tüm parçacıkların birbirinden ve beam-line ndan uzaklıkları belirlenir. Eğer d_{ij} en küçük ise, i ve j parçacıkları birleştirilir ve başa dönülür. Eğer d_{ib} en küçük ise, son durumda Jet olarak belirlenir. Bu işlem hiç bir parçacık kalmayıncaya kadar devam eder.

¹⁷collinear ve infrared güvenilirlik Ekler bölümünde anlatılmıştır.

k_T	$d_{i,j} = \min(p_{Ti}^{2p}, p_{Tj}^{2p}) \frac{\Delta R_{ij}^2}{R^2}$	Catani et al '91 Ellis, Soper '93
Cambridge/Aachen	$\frac{\Delta R_{ij}^2}{R^2}$	Dokshitzer et al '97 Wengler, Wobish '98
anti- k_T	$d_{i,j} = \min(p_{Ti}^{2p}, p_{Tj}^{2p}) \frac{\Delta R_{ij}^2}{R^2}$	MC, Salam, Soyez '08

TABLO 4.2: Koni algoritmaları; 2 parçacığın arasındaki mesafe hesabı ve kimin tarafindan hangi tarihte yazıldığı



ŞEKİL 4.13: 4 farklı Jet algoritmasının parçacıkları sınıflandırması

Bölüm 5

Datanın Doğrulanması

Olay üretimimizde çeşitli aralıktaki H_t lere göre üretim yapmış bulunmaktayız. Bu üretilen olaylar Tablo ?? da verilmiştir. Bir olayda toplam H_t hesabı için;

H_t bin(GeV)	$Event_{nonmatch}$	$\sigma_{nonmatch}$	$Event_{match}$	σ_{match}
100-250	500000	3.48×10^7	234162	1.634×10^7
250-500	500000	2.487×10^6	121332	6.065×10^4
500-1000	500000	1.827×10^5	85325	3.098×10^4
1000-2500	500000	8101	65388	1070
2500-4000	500000	37.64	53737	4.048
4000-6000	500000	0.8119	53212	0.08667
6000-inf	500000	0.00721×10^{-6}	58455	0.0008565

TABLO 5.1: Üretilen olaylar

$$H_t = \sum_{i=1}^N p_{T_i} \quad (5.0.1.1)$$

formülünü kullanmaktadır.

Yukarıda tabloda verilen olayların üzerinde analiz yapmak için bu üretilen dosyaların hepsini birleştirmemiz gereklidir. Bu birleştirme işlemi için 2 yol mevcut. 1. yol **root** programının kodu olan **hadd** ile birleştirmek. Bu kodun kullanımı terminal üzerinden;

```
hadd target.root source1.root source2.root ... sourceN.root
```

şeklinde yapılmaktadır. Bu birleştirme işlemi gerçekleştiriliyorken birleştirilecek olan grafikteki değerler herhangi bir ağırlıklandırılma yapılmadan birleştiriliyor. Şekil 5.1 de görüldüğü gibi sağ taraftaki grafikle peakler mevcut ve analizimiz doğru sonuç vermeyecek. Çünkü üretilen olayların olay sayıları ve saçılma tesir kesitleri farklı ve herbiri toplam olaya farklı katkıda bulunacak. Bunun için elde ettiğimiz ayrı ayrı verileri ağırlandırarak

birleştirdik. Böylece ürettiğimiz her data parçası toplam olaya aynı katkıda bulundu. Ağırhıklandırma yaparak birleştirme işleminde **C** programla diliyle;

```
.
.
.

void MergeRootfile( TDirectory *target , TList *sourcelist , double crossArray[])
// List of Cross-sections divided by num of events produced
double crossSections [7] = {
    16340000.0/234162.,
    606500.0/121332.,
    30980.0/85325.,
    1070.0/65388.,
    4.048/53737.,
    0.08667/53212.,
    0.0008565/58455.};

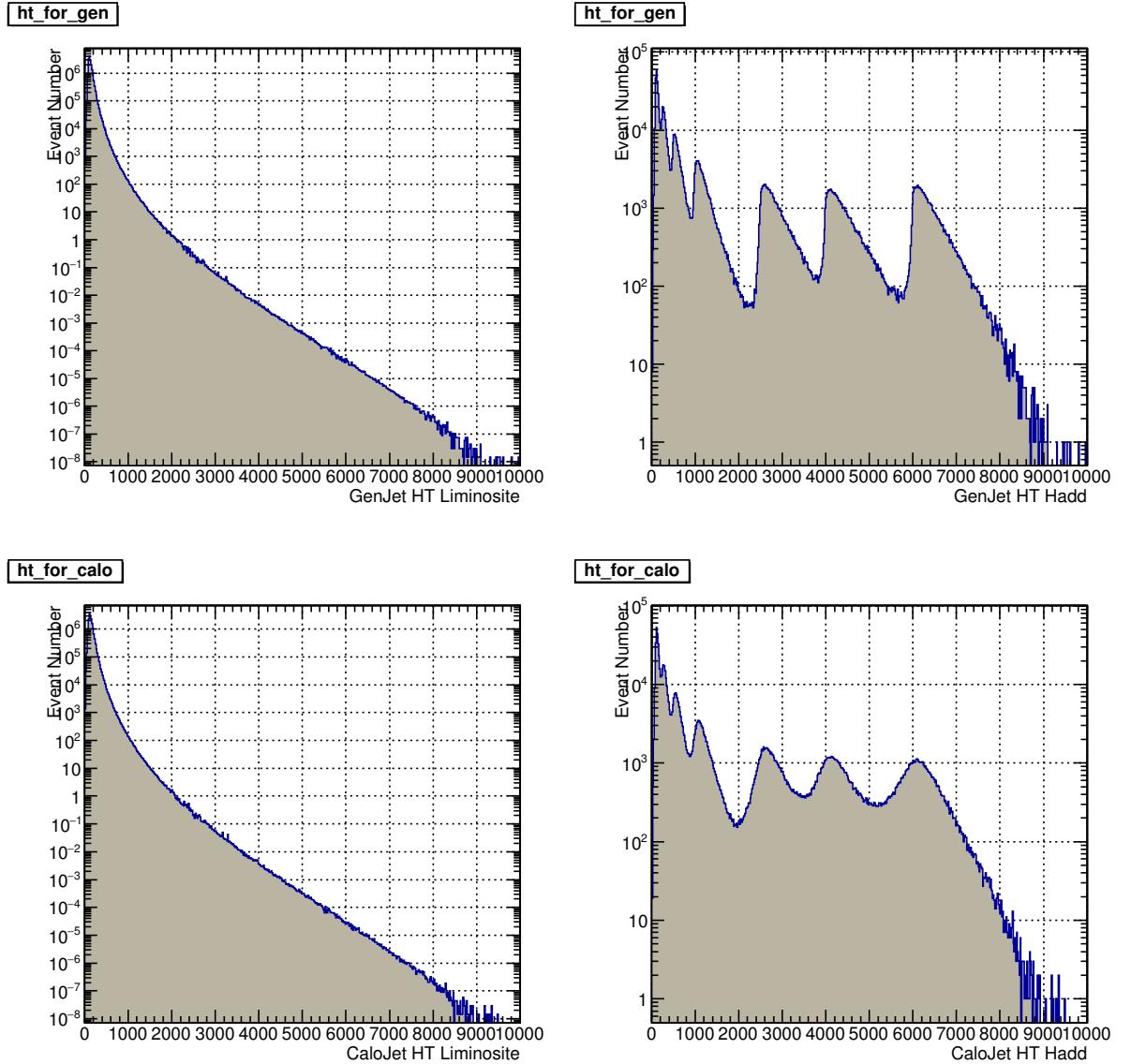
void hadd(){
    // in an interactive ROOT session, edit the file names
    // Target and fileList, then
    // root > .L hadd.C
    // root > hadd()

Target = TFile::Open( "result_last.root" , "RECREATE" );
FileList = new TList();
// ****
// List of Files
FileList->Add( TFile::Open("analysis_100-250.root") ); // 3
FileList->Add( TFile::Open("analysis_250-500.root") ); // 4
FileList->Add( TFile::Open("analysis_500-1000.root") ); // 5
FileList->Add( TFile::Open("analysis_1000-2500.root") ); // 6
FileList->Add( TFile::Open("analysis_2500-4000.root") ); // 7
FileList->Add( TFile::Open("analysis_4000-6000.root") ); // 8
FileList->Add( TFile::Open("analysis_6000-Inf.root") ); // 9
// ****
MergeRootfile( Target , fileList , crossSections );
}

.
```

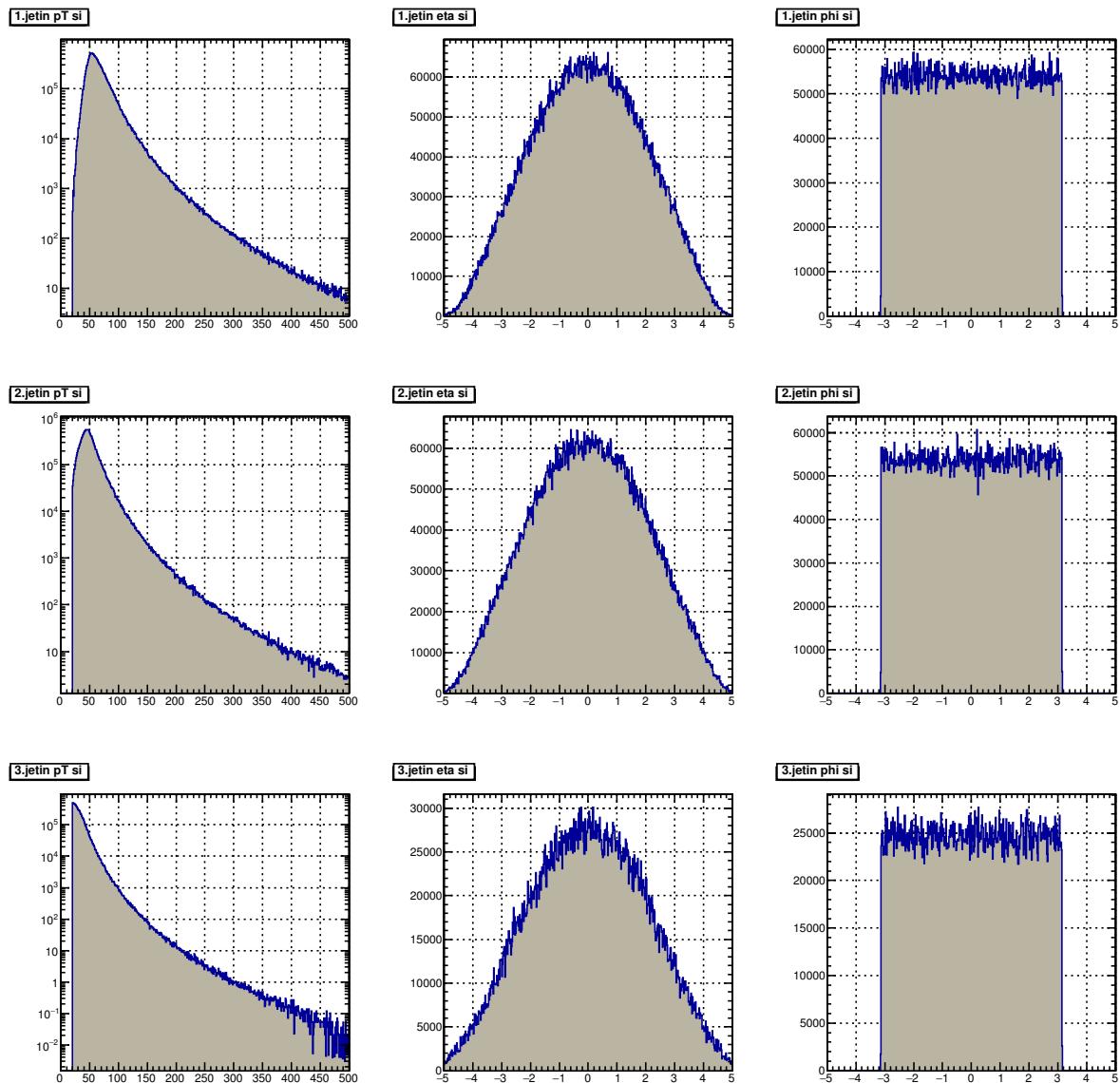
şeklinde birleştirme işlemini gerçekleştirdik.

Ürettigimiz olayların içinden sadece bazı olayları aldık. Bu olayları seçerken, bir olaydan 2 veya daha fazla Jet çıkması, $H_t > 0.2TeV$, $p_T > 50GeV$ ve son olarak $|y| < 2.5$ koşuluna uyan olayları alıp bunun üzerinden analizimizi yaptık.

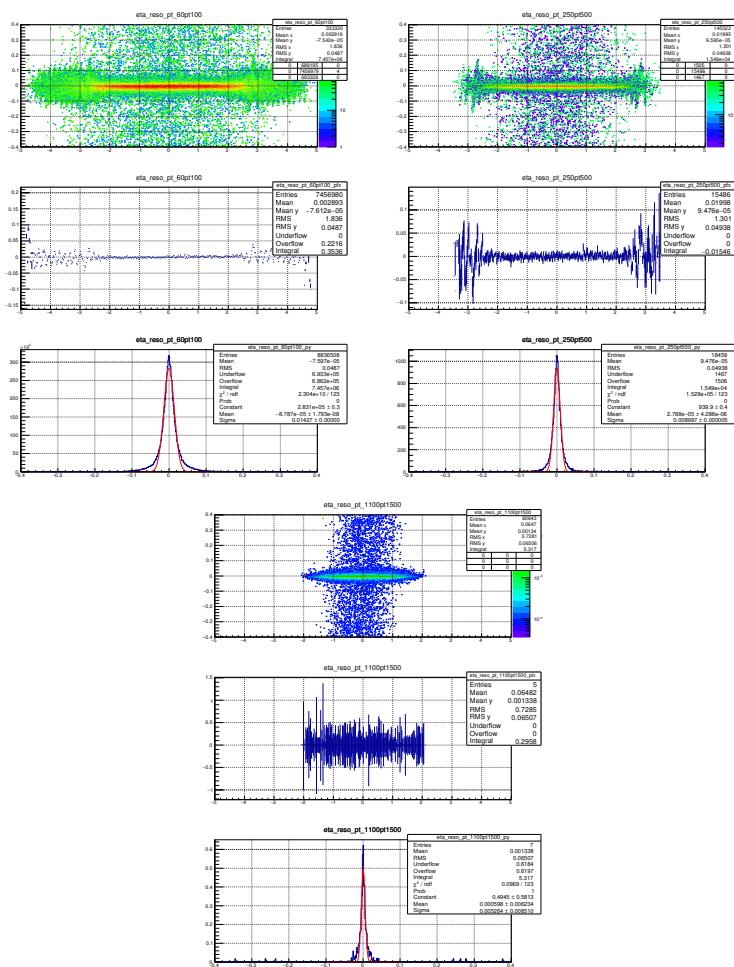


ŞEKİL 5.1: Sol tarafta ağırlıklandırma yapılarak birleştirilmiş GenJet p_T leri ve CaloJet p_T leri. Sağ tarafta **hadd** kullanımı sonucu

Şekil 5.2 ilk satırda en yüksek p_T ye sahip olan ikinci satırdaki ikinci en yüksek ve son olrak üçüncü en yüksek p_T ye sahip olan Jetlerin enerji dağılımları ve dedektör sistemine göre ta



ŞEKİL 5.2: İlk üç Jetin p_T , η ve ϕ dağılımları



ŞEKİL 5.3: farklı pt aralıkları için eta resolution

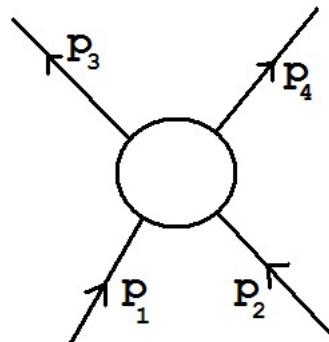
Bölüm 6

Sonuçlar

Bölüm 7

Ekler

7.1 Bir Oyuncak Kuram Icin Feynman Kurallari



ŞEKİL 7.1: Dış çizgilerin etiketlendiği bir Feynman diagramı

Feynman diyagramına ait \mathcal{M} genliğini bulmak için Feynman kuralları.

1. **Notasyon :** Gelen ve çıkan dört-momentumları, p_1, p_2, \dots, p_n şeklinde iç momentumları, q_1, q_2, \dots şeklinde etiketleyin. Herbir çizginin yanında 'pozitif' yönü takip etmek için bir ok çizin (dış çizgiler için zamanda ileriye doğru, iç çizgiler için keyfi yönde).
2. **Köşe Faktörleri :** Her köşe için, bir

$$-ig \quad (7.1.0.1)$$

faktörü yazın. g çiftlenim sabiti olarak adlandırılır. A, B, C arasındaki etkileşme şiddetini belirtir. Bu oyuncak kuramda g momentum boyutundadır.

3. **Propagator :** Her bir çizgi için, bir

$$\frac{i}{q_j^2 - m_j^2 c^2} \quad (7.1.0.2)$$

faktörü yazın. Burada q_j , çizginin dört-momentumunu ve m_j , çizgisinin betimlediği parçacığın kütlesidir. ($q_j \neq m_j^2 c^2$ olduğuna dikkat edilmeli, çünkü sanal parçacık kütle kabuğu üzerinde değildir.)

4. **Enerji ve momentumun korunumu :** Her köşe için, aşağıdaki formda bir delta fonksiyonu yazın.

$$(2\pi)^2 \delta^4(k_1 + k_2 + k_3) \quad (7.1.0.3)$$

burada k 'lar köseye giren üç adet dört-momentumdur. (ok dışa doğru yönelmiş ise k o çizginin dört-momentumunun eksi işaretlidir). Bu faktör her köşede enerji ve momentum korunumunu zorunlu kılar, çünkü giren momentumların toplamı çıkan momentumlarının toplamına eşit değilse delta fonksiyonu sıfırdır.

5. **İç momentumlar üzerinde integral alma :** Her bir çizgi için aşağıdaki faktör yazılır.

$$\frac{1}{(2\pi)^4} d^4 q_j \quad (7.1.0.4)$$

ve tüm iç momentumlar üzerinden integral alınır.

6. **Delta fonksiyonunun iptali :** Sonuç ,

$$(2\pi)^4 \delta^4(p_1 + p_2 + \dots + p_n) \quad (7.1.0.5)$$

şeklinde toplam enerji ve momentumun korunumunu yansitan bir delta fonksiyonu içerir. Bu faktörü silip ve i ile çarparsa, sonuç.. \mathcal{M} yi verir.

7.2 MadGraph5 Kurulumu

MadGraph¹ indirildikten sonra;

1. Sıkıştırılmıştır durumdan çıkartılır.
2. Çıkarılan dosyanın içerişine terminalden girilir;
cd MG5_ v_****

¹<http://madgraph.phys.ucl.ac.be/>

3. Gerekli programlar kurulur

```
MG5_aMC > install pythia-pgs
MG5_aMC > install ExRootAnalysis
MG5_aMC > install MadAnalysis
MG5_aMC > install Delphes
```

4. Kurulumlar bittikten sonra MadGraph ile olay üretimine baslayabilirsiniz.

7.3 Olay Uretimi

7.3.1 Server Uzerinde Olay Uretimi

Olayalarımızı server üzerinde gerçekleştirirken Shell Script kullandık. Bu bizim için kolaylık sağlamaşının yanında zaman kazandırdı. İlgili Shell-script dosyası;

```
#!/bin/bash
echo "=====
echo "Start time : `date`"
echo "=====

mg5=~/MG5_aMC_v2_3_3
myfilename="100-250 250-500 500-1000 1000-2500 2500-4000 4000-6000 6000-
min=(100 250 500 1000 2500 4000 6000)
max=(250 500 1000 2500 4000 6000 100000)
counter=0
for say in $myfilename
do
    cd ${mg5}
    sed -i '/output [a-z]*c\output "/$say"/' ${mg5}/proc_card.dat
    cd ${mg5}
    ./bin/mg5_aMC proc_card.dat
    sed -i '/ 0.0 = htjmin ! minimum jet HT=Sum(jet pt)/c\ '$min[[
    sed -i '/ -1.0 = htjmax ! maximum jet HT=Sum(jet pt)/c\ '$max[[
    sed -i '/ 0.0 = htjmin ! minimum jet HT=Sum(jet pt)/c\ '$min[[
    sed -i '/ -1.0 = htjmax ! maximum jet HT=Sum(jet pt)/c\ '$max[[
    counter=$((counter+1))

done
cd ${mg5}
./subrun1.sh
```

LISTING 7.1: Feynman diyagramları çiziliyor

Burada olay Feynman diyagramlarını çizdiriyoruz. HT², sini istediğimiz aralıklarda tanımlayarak output dosyalarımızı HT aralıklarına göre alıyoruz.

```
#!/bin/bash

echo "=====
echo "Start time : `date`"
echo "=====

#####"

mg5=~/v2_3_0/MG5_aMC_v2_3_3
myfilename="100-250 250-500 500-1000 1000-2500 2500-4000 4000-6000 6000-Inf"
for say in $myfilename
do
sed -i '/ 10000 = nevents ! Number of unweighted events requested/c\ 100000
sed -i '/ 10000 = nevents ! Number of unweighted events requested/c\ 100000
done
cd $mg5
./subrun2.sh
exit 0
```

LISTING 7.2: olay sayisi ayarlanıyor

Burada olay sayısını 10000 den 100000 e ayarlıyoruz.

```
#!/bin/bash

mg5=~/MG5_aMC_v2_3_3
myfilename="100-250 250-500 500-1000 1000-2500 2500-4000 4000-6000 6000-Inf"
num_event=5
for say in $myfilename
do
cd ${mg5}/$say
./bin/madevent multi_run $num_event -f --laststep=pythia
done
exit 0
```

LISTING 7.3: olaylar uretiliyor

Artık son olarak Feynman diyagramlarını verdığımız olaya göre hesaplandırılması yapıyor.

²Enerjisi

```

#!/bin/bash
durmusmg5=/home/dyilmaz/tezAnaliz/analiz_1_pp_jj_jjj_jjjj/data
delphes=/home/dyilmaz/v2_3_0/MG5_aMC_v2_3_3/Delphes
HTbins="100-250 250-500 500-1000 1000-2500 2500-4000 4000-6000 6000-Inf"
for ht in $HTbins # loop over all HTbin directories
do
    mkdir $delphes/roots_for_$ht
    cd $durmusmg5/$ht/Events
    for (( i=0 ; i < 5 ; ++i)) ;
    do
        cd run_01_$i
        gunzip tag_1_pythia_events.hep.gz # unzipping the file
        cd ..
    done
    cd $delphes
    for (( i=0 ; i < 5 ; ++i)) ;
    do
        ./DelphesSTDHEP \
            $delphes/cards/delphes_card_CMS.tcl \
            $delphes/roots_for_$ht/run_01_$i.root \
            $durmusmg5/$ht/Events/run_01_$i/tag_1_pythia_events.hep
        cd $delphes/roots_for_$ht
        hadd combined_$ht.root run_01_*.root
    done
done
exit 0

```

LISTING 7.4: dedektor similasyonu yapılıyor

Burada hesaplanan Feynman diyagramları ve elde etmiş olduğumuz .hep³ uzantılı dosyaları sıkıştırılmış halden çıkartıp delphes_card_CMS.tcl kartını kullanarak dedektor simulasyonuna sokuyoruz. Bu işlemin sonucunda ürettiğimiz olaylar ROOT programında analiz etmek için hazır hale geliyor.

7.4 Olay Uretiminde kullanilan Kartlar

1. proc_card.dat

³High Energy Physics

```
*****
#*                               MadGraph5_aMC@NLO *
#*
#*                               *
#*                               *   *   *
#*                               *   *   *   5   *   *   *
#*                               *   *   *   *
#*                               *
#*                               *   *
#*
#*
#*                               VERSION 2.2.2           2014-11-06 *
#*
#*      The MadGraph5_aMC@NLO Development Team - Find us at   *
#*      https://server06.fynu.ucl.ac.be/projects/madgraph   *
#*
*****
```

```
#*
#*                               Command File for MadGraph5_aMC@NLO *
#*
#*      run as ./bin/mg5_aMC  filename
#*
*****
```

```
set group_subprocesses Auto
set ignore_six_quark_processes False
set gauge unitary
set complex_mass_scheme False
import model sm-no_b_mass
define p = g u c d s u~ c~ d~ s~
define j = g u c d s u~ c~ d~ s~
define l+ = e+ mu+
define l- = e- mu-
define vl = ve vm vt
define vl~ = ve~ vm~ vt~
define p = u c s d b u~ c~ s~ d~ b~ g
define j = u c s d b u~ c~ s~ d~ b~ g
define l = e+ e- mu+ mu- ta+ ta-
generate p p > j j @0
add process p p > j j j @1
```

```
add process p p > j j j j @2
output 6000-Inf
```

2. param_card.dat

```
#####
## PARAM_CARD AUTOMATICALLY GENERATED BY MG5 FOLLOWING UFO MODEL ##
#####
## Width set on Auto will be computed following the information
## present in the decay.py files of the model.
## See arXiv:1402.1178 for more details.
##
#####
##### INFORMATION FOR MASS #####
## INFORMATION FOR MASS
#####
Block mass
 6 1.730000e+02 # MT
 15 1.777000e+00 # MTA
 23 9.118800e+01 # MZ
 25 1.250000e+02 # MH
## Dependent parameters, given by model restrictions.
## Those values should be edited following the
## analytical expression. MG5 ignores those values
## but they are important for interfacing the output of MG5
## to external program such as Pythia.
 1 0.000000 # d : 0.0
 2 0.000000 # u : 0.0
 3 0.000000 # s : 0.0
 4 0.000000 # c : 0.0
 5 0.000000 # b : 0.0
 11 0.000000 # e- : 0.0
 12 0.000000 # ve : 0.0
 13 0.000000 # mu- : 0.0
 14 0.000000 # vm : 0.0
 16 0.000000 # vt : 0.0
 21 0.000000 # g : 0.0
```

```

22 0.000000 # a : 0.0
24 80.419002 # w+ : cmath.sqrt(MZ__exp__2/2. + cmath.sqrt(MZ__exp__4/4.

#####
## INFORMATION FOR SMINPUTS
#####
Block sminputs
1 1.325070e+02 # aEWM1
2 1.166390e-05 # Gf
3 1.180000e-01 # aS

#####
## INFORMATION FOR YUKAWA
#####
Block yukawa
6 1.730000e+02 # ymt
15 1.777000e+00 # ymtau

#####
## INFORMATION FOR DECAY
#####
DECAY 6 1.491500e+00 # WT
DECAY 23 2.441404e+00 # WZ
DECAY 24 2.047600e+00 # WW
DECAY 25 6.382339e-03 # WH
## Dependent parameters, given by model restrictions.
## Those values should be edited following the
## analytical expression. MG5 ignores those values
## but they are important for interfacing the output of MG5
## to external program such as Pythia.
DECAY 1 0.000000 # d : 0.0
DECAY 2 0.000000 # u : 0.0
DECAY 3 0.000000 # s : 0.0
DECAY 4 0.000000 # c : 0.0
DECAY 5 0.000000 # b : 0.0
DECAY 11 0.000000 # e- : 0.0
DECAY 12 0.000000 # ve : 0.0
DECAY 13 0.000000 # mu- : 0.0
DECAY 14 0.000000 # vm : 0.0

```

```

DECAY 15 0.000000 # ta- : 0.0
DECAY 16 0.000000 # vt : 0.0
DECAY 21 0.000000 # g : 0.0
DECAY 22 0.000000 # a : 0.0

```

3. run_card.dat

```

*****#
#                               MadGraph5_aMC@NLO
#
#                               run_card.dat MadEvent
#
# This file is used to set the parameters of the run.
#
# Some notation/conventions:
#
# Lines starting with a '#' are info or comments
#
# mind the format:    value      = variable      ! comment
*****#
#
*****#
# Running parameters
*****#
#
*****#
# Tag name for the run (one word)
*****#
tag_1      = run_tag ! name of the run
*****#
# Run to generate the grid pack
*****#
False      = gridpack !True = setting up the grid pack
*****#
# Number of events and rnd seed
# Warning: Do not generate more than 1M events in a single run
# If you want to run Pythia, avoid more than 50k events in a run.
*****#
100000 = nevents ! Number of unweighted events requested

```

```

0 = iseed ! rnd seed (0=assigned automatically=default))
*****
# Collider type and energy *
# lpp: 0=No PDF, 1=proton, -1=antiproton, 2=photon from proton, *
#                                     3=photon from electron *
*****
1 = lpp1 ! beam 1 type
1 = lpp2 ! beam 2 type
6500.0 = ebeam1 ! beam 1 total energy in GeV
6500.0 = ebeam2 ! beam 2 total energy in GeV
*****
# Beam polarization from -100 (left-handed) to 100 (right-handed) *
*****
0.0 = polbeam1 ! beam polarization for beam 1
0.0 = polbeam2 ! beam polarization for beam 2
*****
# PDF CHOICE: this automatically fixes also alpha_s and its evol. *
*****
nn23l01 = pdlabel ! PDF set
230000 = lhaid ! if pdlabel=lhapdf, this is the lhapdf number
*****
# Renormalization and factorization scales *
*****
False = fixed_ren_scale ! if .true. use fixed ren scale
False = fixed_fac_scale ! if .true. use fixed fac scale
91.188 = scale ! fixed ren scale
91.188 = dsqrt_q2fact1 ! fixed fact scale for pdf1
91.188 = dsqrt_q2fact2 ! fixed fact scale for pdf2
-1 = dynamical_scale_choice ! Choose one of the preselected dynamical cho
1.0 = scalefact ! scale factor for event-by-event scales
*****
# Time of flight information. (-1 means not run)
*****
-1.0 = time_of_flight ! threshold below which info is not written
*****
# Matching - Warning! ickkw > 1 is still beta
*****
1 = ickkw ! 0 no matching, 1 MLM, 2 CKKW matching
1 = highestmult ! for ickkw=2, highest mult group

```

```

1 = ktscheme           ! for ickkw=1, 1 Durham kT, 2 Pythia pTE
1.0 = alpsfact         ! scale factor for QCD emission vx
False = chcluster       ! cluster only according to channel diag
True = pdfwgt           ! for ickkw=1, perform pdf reweighting
5 = asrwgtnflavor      ! highest quark flavor for a_s reweight
True = clusinfo          ! include clustering tag in output
3.0 = lhe_version        ! Change the way clustering information pas
*****
*****
#
#*****
# Automatic ptj and mjj cuts if xqcut > 0
# (turn off for VBF and single top processes)
#*****
True = auto_ptj_mjj    ! Automatic setting of ptj and mjj
#*****
#
#*****
# BW cutoff (M+/-bwcutoff*Gamma)
#*****
15.0 = bwcutoff         ! (M+/-bwcutoff*Gamma)
#*****
# Apply pt/E/eta/dr/mij/kt_durham cuts on decay products or not
# (note that etmiss/ptll/ptheavy/ht/sorted cuts always apply)
#*****
False = cut_decays     ! Cut decay products
#*****
# Number of helicities to sum per event (0 = all helicities)
# 0 gives more stable result, but longer run time (needed for
# long decay chains e.g.).
# Use >=2 if most helicities contribute, e.g. pure QCD.
#*****
0 = nhel                ! Number of helicities used per event
#*****
# Standard Cuts
#*****
#
#*****
# Minimum and maximum pt's (for max, -1 means no cut)

```

```
*****
20.0 = ptj      ! minimum pt for the jets
0.0 = ptb      ! minimum pt for the b
10.0 = pta      ! minimum pt for the photons
10.0 = ptl      ! minimum pt for the charged leptons
0.0 = misset    ! minimum missing Et (sum of neutrino's momenta)
0.0 = ptheavy   ! minimum pt for one heavy final state
-1.0 = ptjmax   ! maximum pt for the jets
-1.0 = ptbmax   ! maximum pt for the b
-1.0 = ptamax   ! maximum pt for the photons
-1.0 = ptlmax   ! maximum pt for the charged leptons
-1.0 = missetmax ! maximum missing Et (sum of neutrino's momenta)
*****
# Minimum and maximum E's (in the center of mass frame) *
*****
0.0 = ej      ! minimum E for the jets
0.0 = eb      ! minimum E for the b
0.0 = ea      ! minimum E for the photons
0.0 = el      ! minimum E for the charged leptons
-1.0 = ejmax  ! maximum E for the jets
-1.0 = ebmax  ! maximum E for the b
-1.0 = eamax  ! maximum E for the photons
-1.0 = elmax  ! maximum E for the charged leptons
*****
# Maximum and minimum absolute rapidity (for max, -1 means no cut) *
*****
5.0 = etaj     ! max rap for the jets
-1.0 = etab     ! max rap for the b
2.5 = etaaa    ! max rap for the photons
2.5 = etal     ! max rap for the charged leptons
0.0 = etajmin  ! min rap for the jets
0.0 = etabmin  ! min rap for the b
0.0 = etaamin  ! min rap for the photons
0.0 = etalmin  ! main rap for the charged leptons
*****
# Minimum and maximum DeltaR distance *
*****
0.0 = drjj     ! min distance between jets
0.0 = drbb     ! min distance between b's
```

```

0.4 = drll      ! min distance between leptons
0.4 = draa      ! min distance between gammas
0.0  = drbj      ! min distance between b and jet
0.4 = draj      ! min distance between gamma and jet
0.0  = drjl      ! min distance between jet and lepton
0.0  = drab      ! min distance between gamma and b
0.0  = drbl      ! min distance between b and lepton
0.4 = dral      ! min distance between gamma and lepton
-1.0 = drjjmax ! max distance between jets
-1.0 = drbbmax ! max distance between b's
-1.0 = drllmax ! max distance between leptons
-1.0 = draamax ! max distance between gammas
-1.0 = drbjmax ! max distance between b and jet
-1.0 = drajmax ! max distance between gamma and jet
-1.0 = drjlmax ! max distance between jet and lepton
-1.0 = drabmax ! max distance between gamma and b
-1.0 = drblmax ! max distance between b and lepton
-1.0 = dralmax ! maxdistance between gamma and lepton
*****
# Minimum and maximum invariant mass for pairs
# WARNING: for four lepton final state mlll cut require to have
#           different lepton masses for each flavor!
*****
0.0  = mmjj      ! min invariant mass of a jet pair
0.0  = mmbb      ! min invariant mass of a b pair
0.0  = mmaa      ! min invariant mass of gamma gamma pair
0.0  = mmll      ! min invariant mass of l+l- (same flavour) lepton
-1.0 = mmjjmax ! max invariant mass of a jet pair
-1.0 = mmbbmax ! max invariant mass of a b pair
-1.0 = mmaamax ! max invariant mass of gamma gamma pair
-1.0 = mmllmax ! max invariant mass of l+l- (same flavour) lepton
*****
# Minimum and maximum invariant mass for all letpons
*****
0.0  = mnml      ! min invariant mass for all letpons (l+- and v1)
-1.0 = mnmlmax ! max invariant mass for all letpons (l+- and v1)
*****
# Minimum and maximum pt for 4-momenta sum of leptons
*****

```

```

0.0 = ptllmin ! Minimum pt for 4-momenta sum of leptons(l and v1)
-1.0 = ptllmax ! Maximum pt for 4-momenta sum of leptons(l and v1)
*****
# Inclusive cuts *
*****
0.0 = xptj ! minimum pt for at least one jet
0.0 = xptb ! minimum pt for at least one b
0.0 = xpta ! minimum pt for at least one photon
0.0 = xptl ! minimum pt for at least one charged lepton
*****
# Control the pt's of the jets sorted by pt *
*****
0.0 = ptj1min ! minimum pt for the leading jet in pt
0.0 = ptj2min ! minimum pt for the second jet in pt
0.0 = ptj3min ! minimum pt for the third jet in pt
0.0 = ptj4min ! minimum pt for the fourth jet in pt
-1.0 = ptj1max ! maximum pt for the leading jet in pt
-1.0 = ptj2max ! maximum pt for the second jet in pt
-1.0 = ptj3max ! maximum pt for the third jet in pt
-1.0 = ptj4max ! maximum pt for the fourth jet in pt
0 = cutuse ! reject event if fails any (0) / all (1) jet pt cuts
*****
# Control the pt's of leptons sorted by pt *
*****
0.0 = ptl1min ! minimum pt for the leading lepton in pt
0.0 = ptl2min ! minimum pt for the second lepton in pt
0.0 = ptl3min ! minimum pt for the third lepton in pt
0.0 = ptl4min ! minimum pt for the fourth lepton in pt
-1.0 = ptl1max ! maximum pt for the leading lepton in pt
-1.0 = ptl2max ! maximum pt for the second lepton in pt
-1.0 = ptl3max ! maximum pt for the third lepton in pt
-1.0 = ptl4max ! maximum pt for the fourth lepton in pt
*****
# Control the Ht(k)=Sum of k leading jets *
*****
100 = htjmin ! minimum jet HT=Sum(jet pt)
250 = htjmax ! maximum jet HT=Sum(jet pt)
0.0 = ihtmin !inclusive Ht for all partons (including b)
-1.0 = ihtmax !inclusive Ht for all partons (including b)

```

```

0.0 = ht2min ! minimum Ht for the two leading jets
0.0 = ht3min ! minimum Ht for the three leading jets
0.0 = ht4min ! minimum Ht for the four leading jets
-1.0 = ht2max ! maximum Ht for the two leading jets
-1.0 = ht3max ! maximum Ht for the three leading jets
-1.0 = ht4max ! maximum Ht for the four leading jets
*****#
# Photon-isolation cuts, according to hep-ph/9801442
# When ptgmin=0, all the other parameters are ignored
# When ptgmin>0, pta and draj are not going to be used
*****
0.0 = ptgmin ! Min photon transverse momentum
0.4 = R0gamma ! Radius of isolation code
1.0 = xn ! n parameter of eq.(3.4) in hep-ph/9801442
1.0 = epsgamma ! epsilon_gamma parameter of eq.(3.4) in hep-ph/9801442
True = isoEM ! isolate photons from EM energy (photons and leptons)
*****
# WBF cuts
*****
0.0 = xetamin ! minimum rapidity for two jets in the WBF case
0.0 = deltaeta ! minimum rapidity for two jets in the WBF case
*****
# KT DURHAM CUT
*****
-1.0 = ktdurham
0.4 = dparameter
*****
# maximal pdg code for quark to be considered as a light jet
# (otherwise b cuts are applied)
*****
5 = maxjetflavor ! Maximum jet pdg code
*****
# Jet measure cuts
*****
30.0 = xqcut ! minimum kt jet measure between partons
*****
#
# Store info for systematics studies

```

```

# WARNING: If use_syst is T, matched Pythia output is *
#           meaningful ONLY if plotted taking matchscale *
#           reweighting into account! *
*****
False = use_syst      ! Enable systematics studies
#
*****
# Parameter of the systematics study
# will be used by SysCalc (if installed)
*****
#
0.5 1 2 = sys_scalefact # factorization/renormalization scale factor
0.5 1 2 = sys_alpsfact # \alpha_s emission scale factors
30 50 = sys_matchscale # variation of merging scale
# PDF sets and number of members (0 or none for all members).
Ct10nlo.LHgrid = sys_pdf # matching scales
# MSTW2008nlo68cl.LHgrid 1 = sys_pdf

```

4. pythia_card.dat

```

!...Parton showering on or off
MSTP(61)=1
MSTP(71)=1

!...Fragmentation/hadronization on or off
MSTJ(1)=1

!...Multiple interactions on or off
MSTP(81)=20

!...Don't stop execution after 10 errors
MSTU(21)=1

!...PDFset if MG set not supported by pythia-pgs package (set in lhapdf5)
LHAID= 10041

```

5. pgs_card_CMS.dat

```

CMS          ! parameter set name
70          ! eta cells in calorimeter

```

```

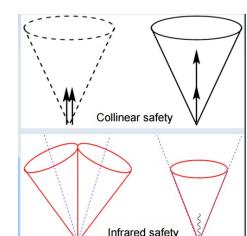
70           ! phi cells in calorimeter
0.087        ! eta width of calorimeter cells |eta| < 3
0.0897597901 ! phi width of calorimeter cells
0.01         ! electromagnetic calorimeter resolution const
0.03         ! electromagnetic calorimeter resolution * sqrt(E)
1.25         ! hadronic calorimeter resolution * sqrt(E)
0.2          ! MET resolution
0.00         ! calorimeter cell edge crack fraction
cone          ! jet finding algorithm (cone or ktjet)
0.5          ! calorimeter trigger cluster finding seed threshold
0.5          ! calorimeter trigger cluster finding shoulder threshold
0.5          ! calorimeter kt cluster finder cone size (delta R)
1.1          ! outer radius of tracker (m)
4.0          ! magnetic field (T)
0.000020     ! sagitta resolution (m)
0.98         ! track finding efficiency
0.90         ! minimum track pt (GeV/c)
2.4          ! tracking eta coverage
3.0          ! e/gamma eta coverage
2.4          ! muon eta coverage
2.0          ! tau eta coverage

```

7.5 Collinear ve Infrared Güvenilirlik

Eşyönlü güvenilirlikte çıkan bir partonun yanında neredeyse aynı yönde $\theta = 0$ olacak şekilde başkabir parçacığa bozunuyorsa orada sonsuzluk veriyor ve bu jet yapılandırma algoritmasını bozuyor. Buna eşyönlü güvenilirlik deniliyor. Infrared güvenilirlik ise enerjisi çok düşük bir parçacık çıkıyorsa bu yine sonsuzluk meydana getiriyor buna buda tekrardan Jet yapılandırma algoritmasını bozmaktadır. Bu yüzden Jet yapılandırma algoritması hem eşyönlü güvenilir hemde Infrared güvenilir olması gerekmektedir.

ŞEKİL 7.2: Infrared ve eş yönlü güvenilirlik



Kaynakça

- [1] Temel Parçacıklara Giriş - David Griffiths
- [2] Jet matching and subtraction methods for associated squark-gluino production - Jennifer Kieselmann
- [3] PYTHIA - AN EVENT GENERATOR - Dr. Hafeez Hoorani
- [4] MadGraph Tutorial - Olivier Mattelaer
- [5] Introduction to FeynRules - Claude Duhr
- [6] The VISION of MadGraph and FeynRules - Johan Alwall
- [7] MadGraph 5 - Olivier Mattelaer
- [8] FeynRules/MadGraph aMC@NLO/MadAnalysis5 tutorial - Benj, Claude, Kentarou, Fabio, Marco, Olivier
- [9] Jet matching and subtraction methods for associated squark-gluino production - Jennifer Kieselmann
- [10] Monte Carlo's: event simulation for the LHC - Fabio Maltoni
- [11] Jet quenching in heavy-ion collisions at LHC with CMS detector - Yetkin YILMAZ
- [12] Monte Carlo Methods in High Energy Physics -WIESLAW PLACZEK
- [13] Jet Yapılandırma ve FastJet Programı - Sertaç Öztürk
- [14] Performance of Jet Reconstruction at CMS - On behalf of the CMS collaboration Christian Sander (University of Hamburg)