



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ILC'DE, STANDART MODEL VE ÖTESİNDE, CKM-
BASTIRILMIŞ TOP KUARK BOZUNUMLARI**

Zeynep TAVUKOĞLU

Fizik Anabilim Dalı

Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Programı

Danışman

Doç. Dr. Sehban KARTAL

II.Danışman

Doç. Dr. Carmine Elvezio PAGLIARONE

Mayıs, 2009



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ILC'DE, STANDART MODEL VE ÖTESİNDE, CKM-
BASTIRILMIŞ TOP KUARK BOZUNUMLARI**

Zeynep TAVUKOĞLU

Fizik Anabilim Dalı

Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Programı

Danışman

Doç. Dr. Sehban KARTAL

II.Danışman

Doç. Dr. Carmine Elvezio PAGLIARONE

Mayıs, 2009

Bu çalışma 19/06/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi


Doç. Dr. Sehban KARTAL (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi


Prof. Dr. Ali TUTAY
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi


Prof. Dr. Nurten ÖNCAN
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi


Prof. Dr. Hasan TATLIPINAR
Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi


Prof. Dr. Sefa ERTÜRK
Niğde Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi

Bu çalışma 19/06/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı Yüksek Enerji ve Plazma Fiziğı programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. Sehban KARTAL (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Ali TUTAY
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Nurten ÖNCAN
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Hasan TATLIPINAR
Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi

Prof. Dr. Sefa ERTÜRK
Niğde Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi

ÖNSÖZ

Bilginin dünyadaki en değerli şeylerden biri olduğunu ve bu bilgiye ulaşmanın temel yolunun da ancak planlı bir şekilde çalışmaktan geçtiğini söyleyen, yardımlarını, desteğini, sabrını ve bilgisini esirgemeyen çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Sehan KARTAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Aramızda mesafeler olmasına rağmen, her türlü iletişim araçları ile destek olmaya çalışan saygı değer hocam Doç. Dr. Carmine Elvezio PAGLIARONE'e çok teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca maddi manevi her türlü desteklerini benden esirgemeyen, burda olmayı onlara borçlu olduğum aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Lisans ve yüksek lisans öğrenim dönemim boyunca beraber okuduğum, sevgili dostum Asiye Tuğba OLGUN'a her daim yardımlarını, dostluğunu esirgemediği için minnetarım.

Ayrıca burada adını sayamadığım değerli hocalarıma, sevgili dostlarım ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

Mayıs, 2009

Zeynep TAVUKOĞLU

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------|
| ÖNSÖZ..... | I |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | IV |
| TABLO LİSTESİ..... | V |
| SEMBOL LİSTESİ..... | VI |
| ÖZET..... | VII |
| SUMMARY..... | VIII |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. GENEL KISIMLAR..... | 4 |
| 2.1. STANDART MODEL..... | 4 |
| 2.1.1. Temel Parçacıklar..... | 4 |
| 2.1.1.1. Fermiyonlar..... | 4 |
| 2.1.1.2. Bozonlar..... | 7 |
| 2.1.2. Temel Etkileşmeler..... | 8 |
| 2.1.3. Grup Simetrileri..... | 11 |
| 2.1.4. CKM (Cabibbo – Kobayashi – Maskawa) Karışım Matrisi..... | 14 |
| 2.1.5. Standart Modelin Başarısızlıkları..... | 17 |
| 2.2. STANDART MODEL ÖTESİ ÇALIŞMALAR..... | 19 |
| 2.2.1. Büyük Birleşim Teorisi (Grand Unified Theory, GUT)..... | 19 |
| 2.2.2. Ekstra Boyutlar..... | 21 |
| 2.2.3. Süpersimetri (SUSY) ve Minimal Süpersimetrik Standart Model (MSSM)..... | 22 |
| 2.2.4. Teknirenk..... | 24 |
| 2.2.5. Kompozitlik..... | 25 |
| 2.3. PARÇACIK ÜRETİMİ..... | 25 |
| 2.4. HIZLANDIRICI FİZİĞİ..... | 26 |
| 2.4.1. Doğrusal (Linear) Hızlandırıcılar (LINAC)..... | 28 |
| 2.4.2. Dairesel Hızlandırıcılar..... | 29 |

| | |
|--|-----------|
| 2.4.3. Dedektörler | 31 |
| 2.4.4. LHC (Large Hadron Collider - Büyük Hadron Çarpıştırıcısı)..... | 33 |
| 2.4.5. ILC (International Linear Collider- Uluslararası Doğrusal Çarpıştırıcısı)..... | 37 |
| 2.5. TOP KUARK FİZİĞİ..... | 43 |
| 2.5.1. Top Kuarkın Bulunuşu | 43 |
| 2.5.2. Top Kuarkın Özellikleri | 44 |
| 2.5.3. Top Kuarkın Üretilmesi ve Bozunumu | 45 |
| 2.5.4. Etkin Lagrangian Yaklaşımı | 47 |
| 2.6. CKM-BASTIRILMIŞ TOP KUARK BOZUNUMLARI | 48 |
| 2.6.1. SM ve Ötesinde Top Kuark Bozunumları | 49 |
| 2.6.2. SM'de ve Sağ El (RH) Akımlarıyla Top Kuark Bozunumları | 50 |
| 2.6.2.1. Standart CKM ile $t \rightarrow s + W$ Bozunumu | 50 |
| 2.6.2.2. Sağ El (RH) Top Kuark Çiftlenimleri ile $t \rightarrow W+s$ Bozunumu | 51 |
| 2.6.3. MSSM'de $t \rightarrow q+W$ Top Kuark Bozunumları | 53 |
| 2.6.4. ILC'de Top Kuark Bozunumlarının Dedekte Edilmesi | 54 |
| 3. MALZEME VE YÖNTEM | 57 |
| 3.1. MONTE CARLO YÖNTEMİ..... | 57 |
| 3.2. PYTHIA..... | 60 |
| 4. BULGULAR | 65 |
| 4.1. LHC'DE $pp \rightarrow t\bar{t}$ ÜRETİMİ..... | 65 |
| 4.2. TEVATRON'DA $p\bar{p} \rightarrow t\bar{t}$ ÜRETİMİ | 69 |
| 4.3. ILC'DE $e^-e^+ \rightarrow t\bar{t}$ ÜRETİMİ | 71 |
| 5. TARTIŞMA VE SONUÇ | 74 |
| KAYNAKÇA | 75 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 79 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | | |
|------------|---|----|
| Şekil 2.1 | : Birimsel Üçgenin Taslağı | 16 |
| Şekil 2.2 | : GUT'a göre, bağlaşım sabitlerinin aynı enerjide birbirleriyle kesişmeleri | 21 |
| Şekil 2.3 | : Sicim Teosine göre, kuarkların sicimlerden meydana geldiğini gösteren bir resim..... | 22 |
| Şekil 2.4 | : Ernest O. Lawrence tarafından 1929 yılında yapılan ilk hızlandırıcı..... | 26 |
| Şekil 2.5 | : Wideröe lineer hızlandırıcısı | 29 |
| Şekil 2.6 | : Sinkrotronun temel yapısı..... | 30 |
| Şekil 2.7 | : Parçacık yollarını gösteren dedektör kesit alanı | 32 |
| Şekil 2.8 | : LHC' deki parçacıkların hızlandırıldığı borudan bir kesit | 33 |
| Şekil 2.9 | : IP1 (Atlas)'de ışınların çarpışma anından bir görünüş..... | 35 |
| Şekil 2.10 | : Parçacıkları ivmelendiren doğrusal hızlandırıcının içindeki elektrik akımının bilgisayar benzetimi | 39 |
| Şekil 2.11 | : ILC Tasarımı..... | 41 |
| Şekil 3.1 | : Bir $p\bar{p}$ çarpışmasında partonların sert saçılmasını, sağnak sürecinin gelişimini, soft taban olaylarını ve renk akışını resmeden olay yapısı..... | 60 |
| Şekil 3.2 | : PYTHIA tarihsel süreci | 61 |
| Şekil 4.1 | : LHC'de $t\bar{t}$ üretim süreçlerinin dağılımının Feynman Diyagramları..... | 65 |
| Şekil 4.2 | : pp çarpışmasında elde edilen PYTHIA olay kaydı içindeki Sert Süreç listesi..... | 67 |
| Şekil 4.3 | : pp çarpışmasında elde edilen PYTHIA olay kaydı içindeki tüm olayların listesi..... | 68 |
| Şekil 4.4 | : Olay listesinde meydana gelen elektron ve muonların sayısını ve özelliklerini gösteren kısım | 68 |
| Şekil 4.5 | : LHC'de pp çarpışmasında meydana gelen bir olaydaki örnek jet listesi | 69 |
| Şekil 4.6 | : $p\bar{p}$ çarpışmasında elde edilen PYTHIA olay kaydı içindeki Sert Süreç listesi..... | 70 |
| Şekil 4.7 | : $p\bar{p}$ çarpışmasında elde edilen PYTHIA olay kaydı içindeki tüm olayların listesi..... | 70 |
| Şekil 4.8 | : $p\bar{p}$ çarpışmasında olay listesinde çıkan elektron ve muonların sayısını ve özelliklerini gösteren kısım..... | 71 |
| Şekil 4.9 | : Tevatron'da $p\bar{p}$ çarpışmasında meydana gelen bir olaydaki örnek jet listesi..... | 71 |
| Şekil 4.10 | : e^-e^+ çarpışmasında elde edilen PYTHIA olay kaydı içindeki Sert Süreç listesi..... | 72 |
| Şekil 4.11 | : e^-e^+ çarpışmasında elde edilen PYTHIA olay kaydı içindeki tüm olayların listesi..... | 72 |
| Şekil 4.12 | : e^-e^+ çarpışmasında olay listesinde çıkan elektron ve muonların sayısını ve özelliklerini gösteren kısım..... | 73 |
| Şekil 4.13 | : ILC'de e^-e^+ çarpışmasında meydana gelen bir olaydaki örnek jet listesi..... | 73 |

TABLO LİSTESİ

| | | |
|------------------|---|----|
| Tablo 2.1 | : Fermiyonlar | 6 |
| Tablo 2.2 | : Bozonlar | 7 |
| Tablo 2.3 | : Temel Etkileşmeler ve Özellikleri | 9 |
| Tablo 2.4 | : Simetriler ve Korunum Kanunları | 12 |
| Tablo 2.5 | : Temel Parçacıklar için En Önemli Gruplar..... | 13 |
| Tablo 2.6 | : Parçacıklar ve parçacıkların süpereşleri..... | 23 |
| Tablo 2.7 | : Elektron ve Proton Hızlandırıcıları arasındaki fark | 28 |
| Tablo 2.8 | : SM ve Ötesinde bazı CKM-bastırılmış ve FCNC top kuark bozunumları için dallanma oranları | 50 |
| Tablo 2.9 | : Deneysel $B \rightarrow X_s \gamma$ sınırlamalarını kullanmakla Sağ-Sol El (LR) modelinde $t \rightarrow sW$ için dallanma kesirleri | 53 |
| Tablo 3.1 | : Simülasyon ve data analizinde temel basamaklar..... | 58 |
| Tablo 3.2 | : PYTHIA 8.1 Yapısı | 62 |
| Tablo 3.3 | : Parçacık Data Grup'unun belirlemiş olduğu bazı parçacık kodları | 64 |

SEMBOL LİSTESİ

| | |
|----------------|--|
| m | : kütle |
| W^{\pm}, Z^0 | : zayıf etkileşmenin ayar bozonları |
| u | : up (yukarı) kuark |
| d | : down (aşağı) kuark |
| c | : charm (cazibe) kuark |
| s | : strange (acayip) kuark |
| b | : bottom (alt) kuark |
| t | : top (üst) kuark |
| \bar{t} | : anti- top kuark |
| e^{-} | : elektron |
| e^{+} | : pozitron |
| p | : proton |
| \bar{p} | : anti-proton |
| q | : kuark |
| \bar{q} | : anti-kuark |
| g | : güçlü etkileşmenin ayar bozonu |
| γ | : foton |
| α_E | : elektromanyetik bağlaşım sabiti |
| α_W | : zayıf bağlaşım sabiti |
| α_S | : güçlü bağlaşım sabiti |
| $U(1)_Y$ | : elektromanyetik etkileşme ayar grubu |
| $SU(2)_L$ | : zayıf etkileşme ayar grubu |
| $SU(3)_C$ | : güçlü etkileşme ayar grubu |
| C | : yük konjugasyonu operatörü |
| P | : parite |
| T | : zaman terslenmesi |
| B | : manyetik alan |
| V | : hız |
| c | : ışık hızı |
| \sqrt{s} | : kütle merkezi enerjisi |
| BR | : dallanma oranı |
| j | : jet |
| l | : lepton |
| $E_T^{kayıp}$ | : kayıp enerjisi |

ÖZET

ILC'DE, STANDART MODEL VE ÖTESİNDE, CKM-BASTIRILMIŞ TOP KUARK BOZUNUMLARI

Top kuarkın Fermilab Tevatron Çarpıştırıcısı'ndaki keşfinden sonra, deneysel dikkat top kuarkın yaratılma ve bozunma mekanizmaları üzerine çevrilmiş bulunmaktadır. Standart Model (SM) içerisindeki, top kuark üretim tesir kesiti \sim % 15 mertebesinde olan bir belirsizlikle değerlendirilirken, zamanın hemen hemen % 100 ünde bir b kuarkı ile bir W bozonuna bozunduğu varsayılmaktadır. Son derece ağır kütesinden dolayı top kuarkın yeni fizikle ilişkili olması beklenmektedir. Aynı zamanda top kuarkın Elektrozayıf Simetri Kırılma Mekanizması'nın doğası hakkında bazı ipuçları vereceği düşünülmektedir. Böylece top kuarkın özelliklerini ölçmek, SM ve ötesi fiziğini araştırmak için bir pencere olarak hizmet verebilir. Kuarkların ve leptonların ayar bozonları ile etkileşmeleri, çok sayıda deneysel verinin gösterdiği gibi $SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y$ tarafından doğru bir şekilde tanımlanmış oldukları görülmektedir.

Top kuark bozunumları, hem baskın ($t \rightarrow b + W$) ve hem de nadir ($t \rightarrow q + W, cV, cVV, c\phi^0, BW Z$) bozunum tipleri için, Standart Model'in tahminlerini test etmek açısından, bir araç olarak özel bir ilgiye sahiptir. Nadir bozunumlar oldukça çok bastırılmış olduğundan, SM ve ötesi teorilerin tahminlerini incelemek için mükemmel bir pencere olmaktadır. Özellikle, yeni fizikten, $t \rightarrow q + W$ ($q = d, s$) CKM – bastırılmış SM top kuark bozunumuna düzeltmeleri, hem sağ – el akımı kullanılan etkin modeller içerisinde hem de Minimal Süpersimetrik Standart Model (MSSM)'de değerlendirilmektedir. Aynı zamanda bu tahminleri ILC'de (Uluslararası Doğrusal Çarpıştırıcısı) araştırmak için bakış açıları ele alınmaktadır.

SUMMARY

CKM-SUPPRESSED TOP QUARK DECAYS IN STANDARD MODEL (SM) AND BEYOND AT ILC

After the discovery of the top quark at Fermilab Tevatron Collider, experimental attention has been on the creation of quark and decay mechanisms. While the top quark production cross section in Standard Model (SM), has been evaluated as $\sim 15\%$ uncertainty, it is assumed that a b quark and a W boson decaying in the 100% of the time. Because of its extremely heavy mass, it is expected that top quark will have a relationship with new physics. It is also thought that it will provide some clues about the nature of top quark's electroweak symmetry breaking mechanisms. In this way, it can serve as a window to measure top quark's properties SM and beyond physics. As a lot of experimental data shows, the interaction between quarks and leptons gauge bosons was defined correctly by $SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y$.

Top quark decays, for both dominant ($t \rightarrow b + W$) and rare ($t \rightarrow q + W, cV, cVV, c\phi^0, BW Z$) decay types has a special attention as a tool to test the Standard Model predictions. Since rare decays has fairly suppressed, they are perfect windows in order to analyze SM and beyond predictions. Especially from new physics, corrections to $t \rightarrow q + W$ ($q = d, s$) CKM-suppressed SM top quark decay and both among the effective models using right-hand currents and Minimal Supersymmetric Standard Model (MSSM) are evaluated. At the same time, new point of views are handled in order to research the predictions at ILC (International Linear Collider).

1. GİRİŞ

İnsanoğlu bütün tarih boyunca, evreni tanımaya, onu gözlemlemeye ve evrenin hangi maddelerden oluştuğunu bulmaya çalışmıştır. Bir yandan, çok uzaktaki gök cisimlerini anlamak için gökyüzünü gözlemlerken, bir yandan da sürekli olarak çevresinde gördüğü nesnelere incelemiştir. İlk maddenin bulunması ya da belirlenmesi fikri *Thales* ile başlamıştır. Thales'e göre ana madde *su*'dur. Thales'i takip eden düşünceler *Anaximandros*, *Anaximenes* gibi doğa filozoflarınca gelmiştir. Anaximandros'a göre su nitelik ve nicelik bakımından sınırlıdır. Her şeyin geldiği kaynağın sonsuz olması gerektiğini söylemiştir. Anaximandros bu soyut varlık ilkesini *apeiron* olarak belirtmiştir. Daha sonra Anaximenes, Thales'e yakın bir düşünce geliştirmiştir ve temel maddenin *hava* olduğunu söylemiştir. Maddeyi anlamayla ilgili çabalar uzun süre devam etmiş ve *Empedocles* tarafından, çok basit bir düşünce olan dört element fikri ortaya atılmıştır. Bu fikre göre, evrende dört element vardır ve bunlar *hava*, *su*, *ateş* ve *toprak*tır. Maddenin bu dört elementten meydana geldiğini kabul etmiştir. Ayrıca, bu dört ana maddenin sonsuz küçük birimlerden oluştuğu fikrini benimsemiştir [1,2].

Daha sonraları, maddenin parçalanamayan en küçük yapıtaşının atomlar olduğu ileri sürülmüştür. 1900'lü yıllardan başlayarak, deney tekniklerindeki ve teknolojideki gelişmeler atomun düşünöldüğu gibi basit bir kürecik olmadığını, madde bombardımanına tutularak atomun parçalanabileceği fikri kabul edilmeye başlanmıştır. Günümüzde maddenin temel yapı taşları, hassas teknolojiler ile birlikte molekülden atoma, atomdan çekirdeğe ve elektrona, oradan nötron ve protona, oradan kuark, lepton, nötrino ve bozonlara kadar gelmiştir [2].

Maddenin bölünemeyen en küçük yapı taşlarına ulaşma çabası yeni deneyler ve yöntemler kullanılarak, günümüzde hala devam etmektedir. Çok yüksek hızlardaki parçacıkları kafa-kafaya çarpıştırarak daha küçük parçalara bölmek ve elde edilen parçacıkların maddenin temel yapı taşı olup olmadığını araştırmak, maddeyi anlama çabalarının günümüzdeki aşamasıdır. Bu amaçla oluşturulan parçacık hızlandırıcısı

denilen dev düzeneklerde, yüksek elektrik alan etkisi ile hızlandırılmış parçacıkların manyetik alan etkisi ile odaklanarak çarpıştırılması ile ortaya çıkan farklı parçacıklar incelenebilir hale getirilmeye çalışılmaktadır. Çünkü atom altı parçacıklar bağımsız olarak ömürleri çok kısa olduğu için normal şartlar altında gözlemlenememektedirler. Bu işlemlerin yapılmasında ve yaratılan çarpışmalarda ortaya çıkan enerji miktarları çok büyük olduğundan parçacık fiziği yüksek enerji fiziği olarak da adlandırılmaktadır. Bu küçük parçacıkları incelemek, ancak parçacık hızlandırıcı düzenekleriyle gerçekleştirilir [2]. Günümüzdeki en önemli hızlandırıcı merkezleri CERN (Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi), FNAL (Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuvarı), DESY (Alman Elektron Sinkrotronu), KEK (Japonya Hızlandırıcı Merkezi), ILC (Uluslararası Doğrusal Çarpıştırıcısı - henüz hangi ülkede kurulacağına karar verilmemiştir)'dir.

Maddenin bölünemeyen küçük yapı taşlarını bulmak için gerek deneysel, gerekse teorik olarak yapılan çabalar, sonunda Standart Model'e (SM) ulaşmıştır. Standart Model için, kuarkien ($\sim 10^{-18}$ m) boyutlarda maddeyi tanımlayabilen 21. Yüz yılın *Mendeleev cetveli*dir denilebilir. Bu modelin özelliği, yüzlerce parçacığı ve karmaşık etkileşimleri birkaç temel parçacık ve etkileşme ile açıklayabilmesidir. Evreni anlamının yolu, onu meydana getiren kütle ve bu kütleyi bir arada tutan kuvveti anlamaktan geçmektedir. Standart Model, bu kapsamlı soruya yanıt arayan çalışmaların bir ürünüdür. SM'de temel parçacıklar, *fermionlar* ve *bozonlar* olarak sınıflandırılırlar [2].

Doğada, temel etkileşmeleri doğuran dört temel kuvvet vardır. Bunlar, *Güçlü Kuvvet*, *Elektromanyetik Kuvvet*, *Zayıf Kuvvet* ve *Kütle Çekim Kuvvet*'leridir. SM, bu doğa kuvvetlerinden üçünü açıklayabilen bir kuramdır. SM'de yalnızca kütle çekim kuvveti açıklanamamaktadır. Doğanın yapısı ve işlevini anlamak en temel düzeyde temel parçacıkların birbirleriyle nasıl etkileştiğini anlamayı gerektirir. Maddeyi oluşturan temel yapı taşları, etkileşim parçacıkları aracılığıyla birbirleriyle etkileşebilmektedir. Dolayısıyla SM, bu etkileşim ve değişimleri açıklayan bir kuramdır [3].

SM, her ne kadar bütün hızlandırıcılardan elde edilen verileri açıklayabilse de, bilim insanlarını tatmin etmeyen pek çok eksikliği de vardır. Bu eksikliklerin bir kısmı kavramsal eksiklikler (Temel doğa kuvvetlerinin güçleri, erimleri ve simetrisi arasındaki fark gibi...) olarak düşünülebilir. Modelin bir temel eksikliği de, madde

parçacıklarının ve bu parçacıklar arasındaki etkileşmeyi sağlayan *bozon* denilen ara parçacıkların SM tarafından öngörülen ve deneylerce doğrulanan kütlelerini nereden aldığı sorusudur. Bu sorunun cevabı, SM'in ortaya çıkardığı ve varlığı henüz daha kanıtlanmamış olan *Higgs* bozonunun keşfine bağlıdır. Maddenin en küçük yapıtaşları ile bu yapıtaşlarını bir arada tutarak evreni oluşturan kuvvetin doğası, Higgs bozonu ile açıklığa kavuşacaktır. Neden evrende madde anti maddeden daha fazla bulunduğu gibi doğanın olağanüstü simetrik ve basit yapısına ait soruların yanıtları da Higgs bozonunun keşfine bağlıdır. Higgs bozonu keşfedilirse, yani SM bir gerçeği yansıtıyorsa, bu keşif 21.Yüz yılın bilim, teknoloji, politika, sosyal yaşam gibi tüm alanları etkileyecek bir bilgi değerine sahip olacaktır.

Şu anda yanıtlarını bilemediğimiz bu olayların açıklaması yine SM'le başlatılan yeni arayışlarla mümkün olacaktır. SM'in sorunlarını çözmek için yüksek enerjilerde geçerli olacak ve düşük enerji değerlerinde SM'e dönüşecek yeni modeller ortaya atılmıştır. Standart Model Ötesi Modeller diye adlandırılan bu modeller; *Büyük Birleşim Teorisi (GUT)*, *Ekstra Boyutlar*, *Süpersimetri ve Minimal Süpersimetrik Standart Model (MSSM)*, *Teknirenk*, *Kompozitlik* olarak sıralandırılabilirler [2].

Standart Model Ötesi olarak bilinen bu modellerin sınanması, yüksek hızlarda meydana gelen çarpışmalar sonucu ortaya çıkan büyük kütleli paracıkların incelenmesi ile mümkün olmaktadır. 1995 yılında Fermilab'da keşfedilen ve bütün kuarklar arasında en büyük kütleyle sahip olan top kuark, SM ve ötesi teorilerinin tahminlerini araştırmak için mükemmel bir pencere olmaktadır. Bilim adamları arasında top kuarkın hem baskın ($t \rightarrow b + W$) hem de nadir ($t \rightarrow q + W, cV, cVV, c\phi^0, bWZ$) bozunumları SM'in tahminlerini test etmek için bir araç olarak özel bir ilgiye sahiptir. Özellikle, yeni fizikten, $t \rightarrow q + W$ ($q = d, s$) CKM–bastırılmış SM top kuark bozunumuna düzeltmeleri, hem sağ – elli akımlarla etkin bir model içerisinde hem de Minimal Süpersimetrik Model (MSSM)'de değerlendirilmektedir [4].

Bu tezde, top kuarkın CKM-bastırılmış bozunumlarının incelenmesinden ve onları ILC'de dedekte etmek için bakış açılarından bahsedilecektir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. STANDART MODEL

1900'da *Max Planck*'ın ilk kuantum makalesi ile başlayan serüven, 1930 ve 1940'larda parçacık hızlandırıcılarının geliştirilmesi ile ivme kazanmıştır. Kazanılan bu teknolojik yetkinlikle maddenin derinliklerine ulaşılması ve içyapısının daha derinden anlaşılması mümkün olmuştur. 1970'li yıllarda formüle edilen ve 1980'li yıllarda geniş bir araştırmacı grubunca benimsenen ve teorik eksiklikleri bu süre içinde giderilen Standart Model, tüm canlı ve cansız varlıkların daha küçük parçalara bölünemeyen temel parçacıklardan ve onların birbiriyle olan etkileşimlerinden meydana geldiğini ileri sürmektedir. Standart Model, gözlemlenen maddeyi oluşturan, şimdiye dek bulunmuş temel parçacıkları ve bunların etkileşmesinde önemli olan 3 temel kuvveti açıklayan kuramdır. SM olarak kısaltılır [2].

2.1.1. Temel Parçacıklar

Ölçülebilir bir içyapıları olmayan, yani daha başka parçacıklardan meydana gelmeyen parçacıklara temel parçacıklar denir. Standart Model'de temel parçacıklar, spin denen kuantum mekaniksel özelliklerine göre *fermionlar* ve *bozonlar* olarak sınıflandırılmaktadır.

2.1.1.1. Fermiyonlar

Fermiyonlar, parçacık fiziğinde, spin kuantum sayısı buçuklu tamsayı ($1/2\hbar$, $3/2\hbar$, ...) olan ve *Fermi-Dirac* istatistiğine uyan parçacıklardır. Aynı enerji düzeylerinde sınırlı sayıda bulunabilen parçacıklardır. Aynı durumu işgal edemeyen fermiyonlar, doğada bir asimetri yaratırlar ve maddesel çeşitliliğin ortaya çıkmasını sağlarlar. Maddenin temel yapı taşlarını oluşturduğundan maddesel parçacıklar olarak isimlendirilirler. Fermiyonlar da kendi aralarında kuarklar ve leptonlar olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

1963 yılında *Murray Gell-mann*'ın proton (p) hedefler üzerinde gerçekleştirilen derin saçılma deney sonuçlarını açıklamak için ortaya attığı modelle kuarkın macerası

başlamıştır. Gell-mann'a göre, nötron (n) ve proton (p), daha küçük parçacıklara bölünmeyen üç temel parçacıktan meydana gelmiştir. Deneysel bir protonun içinde, bir metrenin 10^{18} 'de biri büyüklüğünde nokta saçılma merkezleri olduğunu göstermiştir. Gell-Mann, bu nokta saçılma merkezlerinin birer parçacık olduğunu ileri sürmüştü ve onlara *James Joyce*'un ünlü "*Finnegan's Wake*" adlı romanındaki örneklerden etkilenerek "*kuark*" adını vermiştir. SM'e göre kuarkların 6 çeşni bulunmaktadı. Bunlar; *up* (yukarı), *down* (aşağı), *strange* (acayıp), *charm* (cazibe), *bottom* (alt), *top* (üst) kuarktır. Kuarklara çeşitli gruplar tarafından İngilizce olarak çeşitli isimler verilmiş olmakla birlikte sembollerini hep aynı kalmıştır (u, d, c, s, b, t). Bunların her birinin bir de zıt elektrik yüklü karşıt parçacığı (anti-kuark) vardır. Proton ve elektron (e^-) gibi, kuarklar da elektrik yüküne sahiptir. Bununla beraber elektrik yükleri kesirlidir (kuarklar için $Q=2/3e^-$ ve $-1/3e^-$, anti kuarklar için $Q= - 2/3e^-$ ve $1/3e^-$) ve parçacıkları oluştururken yük daima tamsayı olarak karşımıza çıkar.

Kuarklar tek başlarına yalnız olarak asla gözlemlenemezler. Kuarklar için "*hadron*" olarak bilinen parçacıklar içerisinde hapis olmuştur denilebilir. Kuarklar parçacıklarının yükü tamsayı olacak biçimde bir araya geldiğinden, kuarkların her türlü kombinasyonu mümkün değildir. *Hadronlar*; *baryonlar* ve *mezonların* ortak adı olarak kullanılırlar. Üç kuarkın bir araya gelmesi ile baryonlar, bir kuark ve bir anti-kuarkın bir araya gelmesi ile mezonlar oluşur. Baryonların kuarklardan oluştuğu fikriyle ilgili ciddi bir problem, bir parçacıkta aynı cinsten iki veya üç kuarkın bulunmasının (örneğin; *kuark yapısı uud* olan protonda iki up kuarkının bulunması) *Pauli Dışarlama İlkesi*'ne aykırı olmasıdır. Kuarklar $1/2\hbar$ spinleriyle fermiyon olduklarından bu ilkeye uymak zorundadırlar. Bu problemi ortadan kaldırmak için kuarkların (ve anti-kuarkların) altı farklı şekilde ortaya çıkabildiği, elektrik yüküne benzer bir kuantum sayısı olan *renk yükü* şeklinde ek bir özelliklerinin olduğu ileri sürüldü. Kuarklardaki bu renk yükü, *Kırmızı*, *Mavi* ve *Yeşil*'dir. Anti-kuarkların renkleri için ise bu renklerin anti olanları atandı (Anti-Kırmızı, Anti-Yeşil, Anti-Mavi). Renk hipotezine göre, üç renkten de eşit miktarda katıldığında veya bir birim renk yüküne bir birim anti-renk yükü katıldığında ortaya renksiz durum çıkmaktadır. Bu ise doğada baryonların ve mezonların neden renksiz görüldüğünü açıklamaktadır. Böylece bir baryondaki üç kuarkın hepsi farklı renklerde alınırsa Pauli Dışarlama İlkesi ihlal edilmemiş olur [2]. Böylelikle SM'de anti-

parçacıklar ile beraber 12 kuark vardır. Bir de her birinin renk yükü taşıdığı düşünülürse, toplam 36 kuark çeşni vardır.

Fermiyonların bir diğer maddesel parçacık grubu ise leptonlardır. SM'e göre leptonlar kendilerine eşlik eden nötrinoları ile birlikte 6 adettir. Bunlar; elektron(e^-), elektron nötrinosu(ν_e), muon (μ^-), muon nötrinosu(ν_μ), tau (τ^-), tau nötrinosudur(ν_τ). Kuarklarda olduğu gibi leptonların da her birinin zıt elektrik yüklü karşit parçacığı (anti-lepton) bulunur. Dolayısıyla SM'de toplam 12 lepton çeşni bulunmaktadır. Fermiyonların kütle, spin ve elektrik yükleri Tablo 2.1'de gösterildiği gibi olmaktadır.

Tablo 2.1: Fermiyonlar

| FERMİYONLAR (Spin = 1/2, 3/2, 5/2,....) | | | | | | |
|---|----------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------|
| <i>Kuarklar (spin = 1/2)</i> | | | <i>Leptonlar (spin = 1/2)</i> | | | |
| <i>Çeşni</i> | <i>Kütle (GeV/c²)</i> | <i>Elektrik yükü</i> | <i>Çeşni</i> | <i>Kütle (GeV/c²)</i> | <i>Elektrik yükü</i> | |
| 1. AİLE | u | ~0.003 | 2/3 | e⁻ | 0.000511 | -1 |
| | d | ~0.006 | -1/3 | ν_e | < 1.10⁻⁸ | 0 |
| 2. AİLE | c | ~1.3 | 2/3 | μ^- | 0.106 | -1 |
| | s | ~0.1 | -1/3 | ν_μ | <0.0002 | 0 |
| 3. AİLE | t | ~175 | 2/3 | τ^- | 1.7771 | -1 |
| | b | ~4.3 | -1/3 | ν_τ | <0.02 | 0 |

Tablo 2.1'de görüldüğü gibi, SM'e göre fermiyonlar fiziksel parametrelerine ve kuantum sayılarına göre farklı üç ayrı ailede ortaya çıkmaktadırlar. Birinci aileyi oluşturan elektron, elektron nötrinosu, yukarı (u) kuarkı, aşağı (d) kuarkı maddenin temel yapı taşlarıdır. Atom çekirdeği nötron ve protonlardan, nötron ve protonlar da birinci aile fermiyonları olan yukarı (u) ve aşağı (d) kuarklardan meydana gelir. Birinci

aile leptonları ise atomik yörünge elektronu ve elektron nötrinosudur. İkinci kuşak fermiyonlar acayıp (s) kuark, cazibe (c) kuark, muon ve muon nötrinosundan oluşmaktadır. Üçüncü aile kuarkları da ilk iki ailede olduğu gibi üst (t) ve alt (b) olmak üzere iki çeşittir. Bunlara karşılık gelen leptonlar da tau ve tau nötrinosudur.

İkinci ve üçüncü nesil fermiyonlar kısa yarı ömürlüdürler. Bunlar sadece yüksek enerji fiziği laboratuvarlarında özel hızlandırıcılarda elde edilirler ve varlıkları ancak yüksek enerji deneyleri ile kanıtlanır. Günlük yaşantımızda yer almazlar.

2.1.1.2. Bozonlar

Bozonlar, spin kuantum sayısı tam sayı ($0\hbar, 1\hbar, 2\hbar, \dots$) olan parçacıklardır. Dolayısıyla Bose-Einstein İstatistiği'ne uyarlar. Dalga fonksiyonları çift olduğu için aynı durumda birden fazla bozon bulunabilir. Bu özellik, daha büyük organizmaların (toplam spini tam sayı olan) bir araya gelmesine olanak sağlamaktadır. Bozonlar, kuvvet taşıyıcı parçacıklar olduklarından etkileşim parçacıkları veya ara parçacıklar olarak isimlendirilirler. SM'de bilinen üç çeşit kuvvet vardır. Bunlar, güçlü kuvvet, elektromanyetik kuvvet ve zayıf kuvvetlerdir. Standart Model'deki temel parçacıklar, bu kuvvetler sayesinde birbirleriyle etkileşmeye girebilirler. Bu etkileşmeleri sağlayan bozonlar, elektromanyetik etkileşmenin ara parçacığı olan foton, zayıf etkileşmenin ara parçacıkları olan W^{\pm} , Z^0 , güçlü etkileşmenin ara parçacığı olan gluon (8 gluon çeşiti vardır)'lardır.

Tablo 2.2: Bozonlar

| BOZONLAR (Spin = 0, 1, 2,.....) | | | |
|---|-------------------------------|----------------------|-------------|
| <i>Parçacık İsmi</i> | <i>Kütle</i> (GeV/c^2) | <i>Elektrik yükü</i> | <i>Spin</i> |
| Foton (γ) | 0 | 0 | 1 |
| W⁻ | 80.4 | -1 | 1 |
| W⁺ | 80.4 | +1 | 1 |
| Z⁰ | 91.187 | 0 | 1 |
| Gluon (g) | 0 | 0 | 1 |

Bozon özelliği taşıyan bir diğer parçacık da *Higgs*'dir. Higgs, ne elektrik yüküne ne de kuarklar gibi renk yüküne sahiptir. Maddenin en küçük yapıtaşları ile bu yapıtaşlarını bir arada tutarak evreni oluşturan kuvvetin doğası, Higgs bozonu ile açıklığa kavuşacaktır. Standart Model, fermiyonların nasıl kütle kazandığına açıklama getirebilmek için Higgs bozonu düşüncesini ortaya atmıştır. SM'e göre, temel parçacıklar Higgs adlı bir alanla etkileşerek kütle kazanmaktadırlar. Higgs alanı bir kuantum alanıdır ve evrenin her tarafında bu alan mevcuttur. Elementer parçacık fiziğine göre, her temel parçacığa bir kuantum alanı karşı gelir ve temel parçacıklar ilgili kuantum alanlarının kuantalarıdır (lokalize olmuş parçacık halleri) [2].

Dolayısıyla, SM'de maddesel parçacıklar olarak isimlendirilen fermiyonlar 18 kuark ve 18 anti-kuark, leptonlar olarak; 6 lepton ve 6 anti-lepton olmak üzere toplam 48 parçacık vardır. Ayrıca SM'de, ara parçacıklar olarak da bilinen W^+ , W^- , Z^0 , 8 çeşit gluon, foton parçacıkları ile beraber toplam 60 parçacık içermektedir. Higgs bozonu da eklenirse *SM'de bilinen temel parçacık sayısı 61* olmaktadır.

2.1.2. Temel Etkileşmeler

Nasıl ki insanoğlu bütün tarih boyunca, maddenin en küçük yapı taşlarının neler olduğunu bulmaya çalışmış ise, aynı şekilde, bu yapı taşlarının bütünlüğünü sağlayan kuvvetin ne olduğu yine bilim adamları tarafından düşünülmüş ve günümüze kadar gelişim göstermiştir. Standart Model, bu kuvveti yani maddesel parçacıklar arasındaki etkileşimi açıklayan bir kuramdır. Bu modele göre, parçacıklar arasındaki kuvveti oluşturan –klasik fizikte olduğu gibi- alanlardır. Atom çekirdeği boyutundan (10^{-14} m) astronomik boyutlara (10^{11} m) kadar, gözlenebilen tüm boyutlarda, kuvveti bozon alanları doğurmaktadır. Bozon olan etkileşim parçacıklarının kuvveti nasıl ortaya çıkardığını anlamadan önce, “alan”ın ne olduğunu anlamak gerekir [2]. Bir (-)q elektrik yükünü bir noktaya koyalım. Bu elektrik yükünden belli bir uzaklığa ise bir (+) q_0 deneme yükü koyalım. Eğer q_0 yükü ilk konulan noktadan biraz daha yüke doğru yaklaştırılırsa (-) q yükünün q_0 yükü üzerine bir çekici kuvvet etki ettirdiği görülür. Veya düzgün bir elektrik alanı içerisine yüklü bir parçacık koyulursa, yüklü parçacığın kendi yüküne ve elektrik alanın yönüne bağlı olarak hareket ettiği görülür. Bu basit örneklerden de anlaşılacağı üzere kuvvet ancak bir alanın varlığında ortaya çıkan fiziksel bir büyüklüktür.

Standart Model, doğada meydana gelen etkileşmelerden Güçlü Kuvvet, Elektromanyetik Kuvvet, Zayıf Kuvvet ve Kütle Çekim kuvvetlerinden üçünü açıklayabilen bir kuramdır. SM'de yalnızca Gravitasyonel Kuvvet yani Kütle Çekim Kuvveti açıklanamamaktadır. Parçacık fiziğinde, bu üç kuvvet, kuantum mekaniği ve rölativite kuramının bir kombinasyonu olan Kuantum Alanlar Kuramı ile tanımlanır. İlgili kuvvet yoğunluğunu ölçen boyutta bu üç kuvveti karşılaştıran önemli sayılara *bağlaşım sabitleri* denir. Bu bağlaşım sabitleri bütün kuvvetler için farklı farklı değerlere sahiptir.

Tablo 2.3: Temel Etkileşmeler ve Özellikleri

| TEMEL ETKİLEŞMELER VE ÖZELLİKLERİ | | | |
|--|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | <i>Elektromanyetik etkileşmeler</i> | <i>Güçlü Etkileşmeler</i> | <i>Zayıf Etkileşmeler</i> |
| <i>Ara parçacığı</i> | Foton (γ) | Gluonlar | W^{\pm}, Z^0 |
| <i>Bağlaşım sabiti</i> | α_E | α_S | α_W |
| <i>Menzili</i> | Sonsuz | $\sim 10^{-15}$ | $\sim 10^{-18}$ |
| <i>Şiddeti</i> | 10^{-2} | 10 | 10^{-13} |

Elektromanyetik Etkileşmeler (QED); yüklü iki parçacığın birbirini ittiği ya da birbirini çektiği kuvvet olan elektrik kuvveti ile elektrik yüklü parçacığın manyetik alandan geçerken üzerine etki eden kuvvet olan manyetik kuvvetin birbirleriyle ilişkili olduğu kuvvetlerdir. *James Clerk Maxwell*, 1873'de elektrik ve manyetik kuvvet alanlarının uyduğu eksiksiz denklemleri bulmayı başarmış ve böylece günümüzde Elektromanyetik Etkileşme denilen bir birleşik teori elde etmiştir. Bu etkileşmenin ara parçacığı, kütlesi sıfır, spini 1 olan ve *foton* denilen parçacıktır. Foton, ışık kuantasına verilen isimdir, enerji taşıyan ışık taneciğidir. Hareketli hali ise ışık demetidir. Yüklü bütün parçacıklar elektromanyetik olarak etkileşirler. Kuvvet çok büyük bir menzile (sonsuz menzile) sahiptir. Bu kuvvetlerin erimlerinin sonsuz olması, fotonun kütlesinin sıfır olması ile açıklanmaktadır. Elektromanyetik kuvvetin bağlaşım sabitine ince yapı sabiti denir ve bu sabitin değeri düşük enerjilerde neredeyse 1/137'dir. Bu sabit, birimsiz bir sabittir. Yani bu boyutsuz bağlaşım sabiti anlamındadır [5].

Kuantum Elektrodinamiği (QED), yüklü parçacıklar arasındaki elektromanyetik ilişkiyi rölativistik olarak inceleyen bir kuantum kuramıdır. Elektromanyetik etkileşmeleri tasvir eden Kuantum Elektrodinamiği'nin $U(1)_Y$ birimsel matris grubuna dayanan bir ayar teorisidir. *Feynman*, *Tomanaga* ve *Schwinger* tarafından 1940'lı yıllarda geliştirilmiştir. Elektromanyetik etkileşmelerde kuantum kuramının kullanılması sonucu ortaya çıkmıştır. Tüm elektromanyetik etkileşmeler kuantum elektrodinamiği ile açıklanır. QED, dinamik modellerin en eski, en basit ve en başarılı olanıdır. Bu yüzden diğer teoriler onu model almışlardır.

Zayıf Etkileşmeler; çekirdeğin radyoaktif bozunuma uğramasına neden olan kuvvetlere denir. Zayıf etkileşme ya da zayıf nükleer kuvvet, pek çok parçacığın ve hatta pek çok atom çekirdeğinin kararsız olmasından sorumludur. Zayıf kuvvetin etki ettiği parçacık, bozunarak, kendisiyle akraba bir parçacığa dönüşür. Bu esnada bir elektron ile bir nötrino çıkmasına neden olur. *Enrico Fermi*, 1930'ların ortasında zayıf kuvvet için genel bir formül bulmuştur. Daha sonra bu formül, *George Sudarshan*, *Robert Marshak*, *Murray Gell-Mann* ve *Richard Feynman* tarafından geliştirilmiştir [5].

Erişimleri diğer kuvvetlerle kıyaslandığında daha kısadır. Standart Model'de zayıf etkileşmelerden sorumlu olan üç bozon yer alır. W^\pm, Z^0 oluşturduğu alanlarda ortaya çıkarlar. Bu parçacıklar 1980'lerin başında bulunmuştur. Spinleri 1'dir ve kütleleri çok büyük olduğundan kuvvetin menzili kısadır. Adından da anlaşılacağı üzere, kuvvet oldukça zayıftır [5].

Elektrozayıf Etkileşmeler; *Abdus Salam*, *Seldan Glashow* ve *Steven Weinberg* adlı bilim adamlarının 1979'da Nobel ödülü kazandıkları çalışmalarında, çekirdeğin radyoaktif bozunmasını doğuran zayıf kuvvetler ile elektrik yükleri arasında etkin olan elektromanyetik kuvvetlerin yüksek enerjilerde tek bir kuvvet olduğunun gösterilmesine dayanmaktadır [2]. Amerikalı yüksek enerji fizikçisi Sheldon Glashow, kendiliğinden simetri kırılması fikrini kullanarak yapılan ilk çalışmalarda, zayıf ve elektromanyetik etkileşmeleri $U(1)_Y$ simetrisini de içine alacak şekilde birleştirerek, $SU(2)_L \times U(1)_Y$ simetri grubunu yani elektrozayıf etkileşmenin modellenebileceği fikrini ortaya atmıştır. 1973 yılına kadar birçok model öne sürülmüştür. Abdus Salam ve Steven Weinberg'in birbirinden bağımsız olarak yaptıkları çalışmalar da bu modeller arasındadır. İlk

zamanlar, zayıf etkileşmenin ayar bozonları kütleli W^\pm , Z^0 bozonları olarak görülmüyordu. Ayar bozonlarına kütle kazandıracak olan teori 1964 yılında Higgs mekanizması olarak bilinen ve aslında süperiletkenliğin açıklanmasında kullanılan BCS (The **B**ardeen-**C**ooper-**S**chrieffer) teorisini temel alan *P. Higgs, F. Englert, Hagen ve Kibble*'a ait teoridir. Dolayısıyla Abdus Salam, Seldan Glashow ve Steven Weinberg, yüksek enerjilerde bu iki etkileşmeyi birleştirmeyi başarmışlardır ve buna *elektrozayıf etkileşme* adı verilmiştir. 1973'de yüksüz akımların keşfi ile Standart Model'in elektrozayıf etkileşmeler konusunda doğru sonuçlar verdiği gösterilmiştir [6].

Güçlü Etkileşmeler; atom çekirdeğini oluşturan *nükleon*ları bir arada tutan, temel parçacıklar arasında etkin olan bir diğer kuvvettir. Bu cins kuvvet alanlarını doğuran bozonlara *gluon* adı verilir. Menzilleri bir metrenin katrilyonda biri gibi çok küçük mesafelerdir ($\sim 10^{-15}$ m). Kuvvetli Etkileşmeler, kendilerini böylesine küçük boyutlarda hissettirdiklerinden dolayı günlük yaşamda hiçbir zaman dikkate alınacak miktarda olamazlar ve dolayısıyla etkinliklerinden bahsedilemez [2].

Kuarklar ve gluonlar arasındaki kuvvet, güçlü etkileşim olarak adlandırılır ve bu etkileşim *Kuantum Renk dinamiği Kuramı (QCD)* ile betimlenir. Parçacık fiziğinde SM'in bir kısmı olan Kuantum Renk dinamiği, $SU(3)_C$ olarak adlandırılan yerel (ayar) simetri grubu üzerine kurulu bir Abelyen olmayan ayar kuramıdır.

2.1.3. Grup Simetrileri

Fizik kanunlarında, önümüze çıkan en önemli kavramlardan biri simetrilerdir. Simetri denilince, en çok akla gelen kristallerdir. Bilindiği üzere, kristal yapıyı oluşturan atomlar ötelendiğinde meydana gelen durumda bir değişiklik olmamaktadır; yani periyodik bir yapı sergilenmektedir. 1917 yılında, *Emmy Noether*'in korunum kanunları ile simetri arasındaki bağıntıyı veren ünlü teoreminin yayınlanması ile simetrinin dinamik uygulamaları tamamen anlaşılmıştır. *Noether kuramı*, fizik yasalarının invaryant kalmaları durumunda, simetri olduğunu söylemektedir.

Zaman içinde öteleme sonucu sistem invaryant ise enerji korunur. Konuma bağlı öteleme sonucu sistem invaryant ise momentum korunur. Nokta civarında dönme

(rotasyonel) hareketi sonucu sistem invaryant ise açısai momentum ve son olarak ayar dönüşümlerinde yük korunmaktadır.

Tablo 2.4: Simetritler ve Korunum Kanunları

| <i>Simetritler</i> | | <i>Korunum Kanunları</i> |
|-------------------------|---|--------------------------|
| <i>Zamanda Öteleme</i> | ↔ | <i>Enerji</i> |
| <i>Uzayda Öteleme</i> | ↔ | <i>Momentum</i> |
| <i>Dönme</i> | ↔ | <i>Açısai Momentum</i> |
| <i>Ayar Dönüşümleri</i> | ↔ | <i>Yük</i> |

SİMETRİ ↔ KORUNUM KANUNLARI

Simetri matematik diliyle ifade edilirse, simetri bir operasyondur ve kavramsal olarak sistem üzerinde gerçekleşir. Bu şekilde yapılan bir operasyondan sonra orjinal formundan ayırt edilemez. Herhangi bir sistem üzerinde yapılacak simetri operasyonu için sistemin sahip olması gereken özellikler aynı zamanda bir grup tanımını içerir. Bir kümenin grup olması için 4 şart vardır:

- Kapalılık $R_j \cdot R_k = R_l$
- Özdeşlik $R_i \cdot I = R_i$
- Ters olma $R_i^{-1} R_i = I$
- Assosiyatiflik(Dağılma) $R_i (R_j \cdot R_k) = (R_i \cdot R_j) R_k$

Grup olması için bu özellikleri sağlamalıdır. Grup elemanları $[A,B] = 0$ olmak zorunda değildir. Ama $[A,B] = 0$ komütasyon bağıntısı sağlıyorsa bu tip bir grup “ABELIAN” olarak adlandırılır. Zamana bağı ve konuma bağı ötelenmeler Abelian grup oluşturur. Ama rotasyona bağı dönüşümler grup elemanları komütasyon bağıntısına uymadığından Abelian grup değildir.

Tablo 2.5: Temel Parçacıklar için En Önemli Gruplar

| <i>Grup İsmi</i> | <i>Grup Matrisleri</i> | | |
|------------------|------------------------|-----------------|----------------------------|
| $U(n)$ | nxn | <i>Birimsel</i> | $\widetilde{U}^* = U^{-1}$ |
| $SU(n)$ | nxn | <i>Birimsel</i> | $det = 1$ |
| $O(n)$ | nxn | <i>Dikey</i> | $O^T O = I$ |
| $SO(n)$ | nxn | <i>Dikey</i> | $det = 1$ |

Bir sistemde bağımsız simetrilerin kümesi cebirsel bir grup yapısı oluşturuyorsa buna simetri grubu denir. Parçacık Fiziğinde Kesikli Simetriler, Sürekli Simetriler gibi simetriler mevcuttur. Kesikli Simetriler tüm sonlu grupları oluşturur, sadece kesikli değerler alabilirler. Yük konjugasyonu (C), Parite (P) ve Zaman Tersinmesi (T) en çok bilinen dönüşümler arasında yer alırlar.

Klasik elektrodinamik, tüm elektrik yüklerinin işareti değişimi altında invaryanttır. Ancak temel parçacıklar için içine girince, “C” Yük konjugasyonu operatörü ele alınır ve parçacığa uygulandığında parçacığı anti-parçacığa dönüştürür.

$$C |p\rangle = |\bar{p}\rangle \quad (2.1)$$

Yük konjugasyonu tüm iç kuantum sayılarının (yük, baryon sayısı, lepton sayısı, acayıplık gibi) işaretini değiştirirken kütle, enerji, spin, momentum işaretini aynı bırakır. Paritenin 2 kere uygulanması ile nasıl başa dönülüyorsa aynı şekilde yük konjugasyonunun 2 kere uygulanması ile de başa dönülmektedir.

$$C^2 = I \quad (2.2)$$

C'nin özdeğerleri de ± 1 'dir. Ancak P'den farklı olarak doğadaki birçok parçacık C'nin öz durumu değildir.

$$C |p\rangle = \pm |p\rangle = |\bar{p}\rangle \quad (2.3)$$

$|p\rangle$ ve $|\bar{p}\rangle$ aynı fiziksel durumu temsil ederler. Sadece parçacığa uygulandığında anti parçacık bulunan öz durumlar C'nin öz durumunu verir.

$$|p\rangle = |\bar{p}\rangle \quad (2.4)$$

C, güçlü ve elektromanyetik etkileşmelerle korunur fakat zayıf etkileşim C simetrisini ihlal eder.

1956'da *Lee* ve *Yang* yaptıkları deneylerde güçlü ve elektromanyetik yöntemlere ilişkin Parite (P) invaryansı içeren birçok olay bulmalarına karşın zayıf etkileşmelerde böyle bir bulguya rastlamadılar. P, aynı Yük konjugasyonu gibi güçlü ve elektromanyetik etkileşmelerle korunur fakat zayıf etkileşimde korunmaz.

Klasik elastik çarpışmalarda zamanın terslenmesi yöntemi olasıdır. Tüm temel parçacık etkileşmeleri zamanın terslenmesi altında invaryanttır. Zamanın terslenmesini test etmek Parite (P) ya da Yük konjugasyonu (C)'den daha zordur.

Zamanın terslenmesi olayını sadece sayıları çarparak T'nin konumunu bulmak C ve P'de yaptığımız gibi kolay değildir. Zamanda terslenme deneysel olarak elde edilmedi. TCP teoremi kuantum alan teorisinin derin sonuçlarındandır. Bu teoreme göre zamanda terslenme (T), yük konjugasyonu (C) ve Parite (P)'nin kombinasyonu her etkileşim için örnektir. Bu teoremin doğruluğunu test etmek gereklidir. Teorem doğru ise her parçacık hassas bir şekilde anti-parçacıklar ile aynı kütle ve yaşam ömrüne sahip olmalıdır. Parçacık ve anti-parçacık çiftleri arasında şimdiye kadar yapılmış en hassas test K_0 ile \bar{K}^0 üzerinedir.

Parametrelerin sürekli değerler aldığı, Sürekli Simetriler, uzay-zaman simetrisi ve dahili simetriler olarak ikiye ayrılabilirler. Uzay-zaman üzerine etkiyen simetriler (öteleme, dönme) tipik uzay-zaman simetrisi, dahili kuantum sayılarına etkiyen simetriler (İzospin ve baryon simetrisi) dahili simetrilerdir [7].

2.1.4. CKM (Cabibbo – Kobayashi – Maskawa) Karışım Matrisi

SM'e göre evren birbirinin kopyası gibi duran üç aileden oluşmaktadır. Birinci aile etrafımızda gördüğümüz maddeyi oluşturmaktadır. İkinci ve üçüncü aileler, birinci aileden daha ağırdırlar. İkinci aile üyeleri birinci, üçüncü aile üyeleri de ikinci aileden daha büyük olmalarıyla birlikte temel özellikleri aynıdır. Bu yüzden SM en basit haliyle

birinci aile tarafından yazılmaktadır. Bu sınıflandırmalardan karşılaşılan bir küçük zorluk, farklı ailelerde aynı yerde kuarkların birbirlerine karışmalarıdır. Bu karışım matematiksel olarak (3×3) 'lük bir birimsel matrisle ifade edilmektedir. İki aileli durum için ilk defa *Nicola Cabibbo* tarafından yazılan bu matris, üç aileli durum için *Makoto Kobayashi* ve *Toshihide Maskawa* tarafından gerçekleştirildiği için onların isimlerinin baş harfleri olan CKM ile anılırlar.

Standart Model'de, kuarkların kütlelerinin ve karışımlarının ortak bir orijini vardır. Bunlar, *Higgs* yoğunluğu ile *Yukawa* etkileşmelerinden ortaya çıkarlar.

$$\mathcal{L}_Y = -Y_{ij}^d \overline{Q}_{Li}^I \phi d_{Rj}^I - Y_{ij}^u \overline{Q}_{Li}^I \epsilon \phi^* u_{Rj}^I + \text{h.c.}, \quad (2.5)$$

Burada, $Y^{u,d}$ (3×3) kompleks matrisler, ϕ Higgs alanı, i, j üretim etiketleri ve ϵ (2×2) antisimetrik tensördür. Zayıf öz durum temeli içinde, söylenen sıraya göre, Q_L^I sol - elli kuark çiftlileri, d_R^I ve u_R^I sağ - elli aşağı ve yukarı tip kuark teklileridir. ϕ bir vakum beklenen değerini oluşturduğunda, $\langle \phi \rangle = (0, v/\sqrt{2})$, kuarklar için Denklem 2.5'deki kütle terimlerini verir. Sonuç olarak, W^\pm yüklü-akım etkileşmeleri, fiziksel u_{Lj} ve d_{Lk} kuarklarına olan bağlantısı denklem (2.6)'daki bağlaşımları ile verilir:

$$V_{CKM} \equiv V_L^u V_L^{d\dagger} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

Bu Cabibbo – Kobayashi – Maskawa (CKM) matrisi (3×3) bir birimsel matristir. Üç karışım açısı ve bir CP-ihlali fazı tarafından parametrize olabilir. En çok mümkün parametreler, bir standart seçenek haline gelmiştir.

$$V = \begin{pmatrix} c_{12}c_{13} & s_{12}c_{13} & s_{13}e^{-i\delta} \\ -s_{12}c_{23} - c_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{12}c_{23} - s_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & s_{23}c_{13} \\ s_{12}s_{23} - c_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & -c_{12}s_{23} - s_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{23}c_{13} \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

Burada $s_{ij} = \sin \theta_{ij}$, $c_{ij} = \cos \theta_{ij}$ ve δ SM'deki çeşni değişim süreçleri içindeki bütün CP-ihlali olayları için tanımlanan KM fazıdır. θ_{ij} açıları ilk çeyrek çember içinde uzanan bir seçilmiş olabilir ($s_{ij}, c_{ij} \geq 0$).

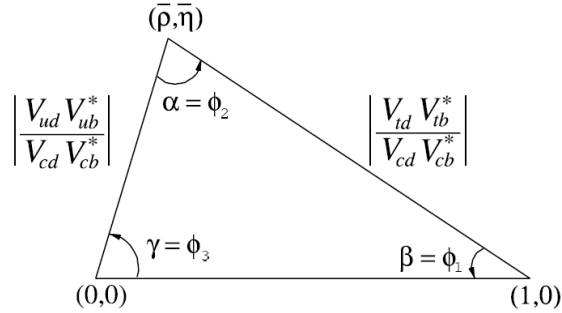
$s_{13} \ll s_{23} \ll s_{12} \ll 1$ deneysel olarak bilinir ve Wolfenstein parametreleri kullanılan bu hiyerarşiyi sergilemek uygundur. Tanımlar;

$$s_{12} = \lambda = \frac{|V_{us}|}{\sqrt{|V_{ud}|^2 + |V_{us}|^2}}, \quad s_{23} = A\lambda^2 = \lambda \left| \frac{V_{cd}}{V_{us}} \right|$$

$$s_{13} e^{i\delta} = V_{ub}^* = A\lambda^3(\rho + i\eta) = \frac{A\lambda^3(\bar{\rho} + i\bar{\eta})\sqrt{1-A^2\lambda^4}}{\sqrt{1-\lambda^2}[1-A^2\lambda^4(\bar{\rho} + i\bar{\eta})]} \quad (2.8)$$

$\bar{\rho} + i\bar{\eta} = -(V_{ud}V_{ub}^*)/(V_{cd}V_{cb}^*)$ 'yi sağlayan bu bağıntılar, faz-kural-bağımsız ve $\lambda, A, \bar{\rho}$ ve $\bar{\eta}$ dayanarak yazılan CKM matrisi birimseldir. $\bar{\rho}, \bar{\eta}$ tanımları, bütün yaklaşık sonuçları gösterir. Örneğin; $\bar{\rho} = \rho(1 - \frac{\lambda^2}{2} + \dots)$ 'dir ve V_{CKM} yazılabilir:

$$V = \begin{pmatrix} 1 - \frac{\lambda^2}{2} & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1 - \frac{\lambda^2}{2} & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix} + \mathcal{O}(\lambda^4) \quad (2.9)$$



Şekil 2.1: Birimsel Üçgenin Taslağı

CKM matris elemanları, SM'in temel parametreleridir. Bu nedenle bu elemanları kesin olarak belirlemek önemlidir. CKM matrisinin birimselliği $\sum_i V_{ij} V_{ik}^* = \delta_{jk}$ ve $\sum_j V_{ij} V_{kj}^* = \delta_{ik}$ 'yi etkilemektedir. Altı kaybolmuş bileşimler bir karmaşık düzlemde üçgenlerle temsil edilebilirler. Bütün üçgenlerin alanları aynıdır, CP ihlalinin bir faz-kural-bağımsız ölçümü olan Jarlskog J değişmezinin yarısı, $Im[V_{ij} V_{kl} V_{il}^* V_{kj}^*] = J \sum_{m,n} \epsilon_{ikm} \epsilon_{jlm}$ olarak tanımlanmaktadır [8].

Çeşni fiziğinin önemli bir amacı CKM elemanları üzerine sınırlama yapmaktır ve birçok ölçüm $\bar{\rho}$, $\bar{\eta}$ düzlemi içinde kolayca sergilenebilir ve kıyaslanabilir. SM’de düğüm katkılarınca baskın olan süreçler yeni fizik için duyarlıdır ve sadece SM farzeden CKM elemanlarının özeti kullanılabilir. CKM karışım matrisi, top kuarkın *Çeşni Değiştiren Yüksüz Akım (FCNC-Flavour Changing Neutral Currents)* bozunumları için SM’de bilinmesi öncelikli olan konulardan bir tanesidir. Böylece Standart Model için FCNC bozunumlarının önemini ortaya koyan *GIM (Glashow-Iliopoulos-Maiani)* mekanizması anlaşılabilir [9].

GIM mekanizması yeni bir parçacık ortaya koyarken halka seviyesindeki FCNC bozunumlarının SM’e göre bu şekilde bastırılmış olması gerektiğini ileri sürdü.

2.1.5. Standart Modelin Başarısızlıkları

Standart Model, tüm başarılarına rağmen aşağıda bahsedilecek problemlere henüz bir açıklama getirmiş değildir. Ancak şu anda yanıtları bilinmeyen bu olayların açıklaması yine Standart Model’le başlatılan yeni arayışlarla mümkün olacaktır [1,10,11].

Kütle Çekimi: SM’in en önemli eksiklerinden biri kütle çekim kuvvetini içermemesidir. Kütle Çekim kuvveti bilinen kuvvetler arasında en zayıf olanıdır. Bu kadar zayıf olduğundan şimdiye kadar yapılan hızlandırıcılarda etkileri gözlenememiştir. Kütle Çekimin Standart Model içinde yer almaması büyük bir eksikliklerdir. Bugüne kadar Kütle Çekimi SM içine ekleme çabaları olumsuz çıkmıştır. Kütle Çekimi açıklayabilmek için başka modeller örneğin *Standart Model Ötesi Kuramlar* öne sürülmüştür.

Hiyerarşi Problemi: Bu problem, Kütle Çekim kuvveti neden bu kadar zayıftır şeklinde söylenilebilir. Kütle çekim kuvveti, elektromanyetik kuvvetten 10^{40} kat daha zayıftır. *Eğer SM’i ve Kütle Çekimi içine alabilecek bir teori yazılırsa bu kadar fark doğal bir şekilde nasıl ortaya çıkabilir?*

Serbest Parametreler: Standart Modeli oluştururken, temel parçacıkların kütlelerinin, etkileşme şiddetlerinin ve bunlar gibi 19 tane parametrenin deneylerde ölçülmesi gerekir. Oysaki SM, bunların değerleri hakkında hiç bir şey söyleyememektedir. “*Neden*

muon (μ)'nun kütlesi elektronun kütlesinin yaklaşık 200 katıdır?”, “Niye nötrinoların kütlesi bu kadar küçüktür?” gibi bu tür sorulara SM cevap verememektedir.

Üç Farklı Kuvvet: Her ne kadar SM üç farklı kuvveti de içinde barındırsa bile, bu üç farklı kuvvet tam anlamıyla birbirine karışmamıştır. Her birinin kendi kuvvet taşıyıcı bozonları ve her birinin şiddetini belirleyen kendi bağlaşım sabiti vardır. *Kuvvetler arasındaki bu fark nereden gelmektedir?* Bilim tarihinde, Maxwell denklemlerini yazmadan önce elektrik ve manyetik kuvvetin farklı kuvvetler olduğu düşünülüyordu. Maxwell, bu iki kuvvetin de aslında aynı kuvvetin farklı iki yüzü olduğunu ve ikisi de aynı bağlaşım sabitiyle açıklanabileceğini göstermiştir. *Benzer şekilde bir bütünleşme Standart Model için de yapılabilir mi?*

Aile Problemi: Doğada bulunan bütün parçacıklar, sadece u ve d kuarklarla elektron ve onun nötrinosundan oluşmaktayken, *neden iki tane daha aile vardır?* Doğa neden kendini aileler şeklinde tekrar etmiştir? Farklı ailelerin neden farklı kütleleri vardır? SM aile problemine de cevap verememektedir.

Higgs Problemi: Standart Modeli tutarlı bir kuram olarak yazabilmek için, fizikçiler, Higgs parçacığı adı verilen, spini sıfır olan bir parçacığın daha olduğunu varsaymak zorunda kalmışlardır. Bu parçacık olmasaydı, gözlemlediğimiz hiçbir parçacığın kütlesi olmayacaktı. Bunun bizim için önemli sonuçlarından biride, elektronunda kütlesi olmayacağı için, atomlar oluşmayacaktı ve bildiğimiz anlamda bir hayat olmayacaktı. Standart Model’de bu parçacığa bulmacayı tamamlayan son parçacık denilmektedir. *Eğer bu parçacık bulunmazsa, bilim insanları SM üzerinde köklü değişiklikler yapmak zorunda kalacaklardır.*

Higgs problemi bir başka yönüyle de hiyerarşi problemiyle ilgilidir. Parçacıklar başka parçacıklarla etkileşime girdiklerinde kütlesi değişir yani renormalize olurlar. Bu değişimi higgs parçacığı için hesapladığımızda 10^{19} GeV’dir. Oysaki deneysel veriler gösteriyor ki, SM’in higgs parçacığının kütlesini 150 GeV’den daha küçük olması beklenmektedir. SM bu probleme de açıklık getirememektedir.

Evrendeki Madde-Antimadde Asimetrisi: Gözlemleyebildiğimiz kadarıyla evren maddeden oluşmuştur. Anti-madde ise yok denecek kadar azdır. *Madde ile antimadde arasındaki bu fark nerden gelmektedir?* SM, bu farkı tam olarak açıklamakta yeterli değildir.

Karanlık Madde: Gök adaları gözlemlediğimizde, parlaklıklarından faydalanarak, yıldızların toplam kütlesi hakkında tahminde bulunulabilir. Kütleler hakkında tahminde bulunmanın başka bir yolu daha gökadalardan etrafında dönen cisimlerin dönme hızlarına bakmaktır. Bu hız gökadanın kütlelerinin elde edilmesini sağlar. Bu iki farklı yöntemle elde edilen kütleler arasında büyük farklar vardır. Bu farkı açıklamak için evrenin bizim görmediğimiz bir maddeyle dolu olduğu öne sürüldü. *Mevcut tahminler, evrenin kütlelerinin %23'ünün bu görmediğimiz karanlık maddeden oluştuğunu söylemektedir.* Bu madde, şimdiye kadar Standart Model tarafından açıklanan hiçbir parçacıkla açıklanamamaktadır.

Karanlık Enerji: 1990 yılında yapılan gözlemler, evrenin hızlanarak genişlediğini gösterdi. Bildiğimiz maddelerin kütle çekim kuvvetleri hep birbirini çekecek şekilde olduğu için, evrenin her tarafının negatif basınçlı bir enerji ile dolu olması gereklidir. Tahminlere göre bu karanlık enerji evrendeki toplam maddenin %73'ünü oluşturmaktadır. Bu enerjinin yoğunluğu, uygun birimlerde 10^{-120} mertebesinde. Oysa Standart Modelin vakum enerjisi için tahmini, aynı birimlerde 1 civarındadır. *Karanlık maddenin de toplam maddenin %23'üne sahip olduğu düşünülürse, Standart Model evrenin toplam kütlelerinin yalnızca %4'lük kısmını açıklayabilmektedir.*

2.2. STANDART MODEL ÖTESİ ÇALIŞMALAR

Standart Model'de bahsettiğimiz sorunların çözülmesi için yüksek enerjilerde geçerli olacak ve düşük enerji değerlerinde SM'e dönüşen yeni modeller ortaya atılmıştır.

2.2.1. Büyük Birleşim Teorisi (Grand Unified Theory, GUT)

Standart Model'deki kuvvetlerden bahsederken bunların üçünün de farklı bağlaşım sabitlerine sahip olduğundan bahsedilmişti. Aslında bu sabitler, sabit değildir. Hangi enerjide ölçtüğünüze göre, değerleri değişmektedir. En büyük olan güçlü kuvvetin

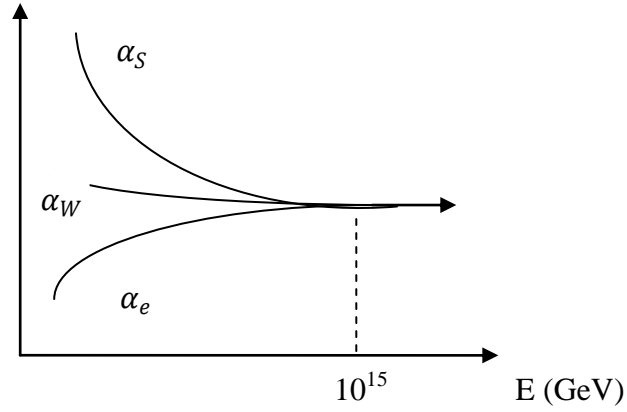
bağlaşım sabiti enerji arttıkça küçülmektedir. Zayıf etkileşiminki, enerjiyle fazla değişmemekle beraber, yavaş yavaş azalmaktadır. Elektromanyetik kuvvetin etkileşme sabitiyse, enerji arttıkça artmaktadır. Bir başka deyişle, bu üç bağlaşım sabiti, enerji arttıkça birbirlerine yakınlaşmaktadırlar. Bu teorik olarak hesaplanmış, hem de kısmen deneysel olarak doğrulanmıştır. Eğer, bu üç bağlaşım sabiti tahmin edildiği gibi birbirine yaklaşımaya devam ederlerse, belli bir enerji değerinde, bütün bağlaşım sabitleri aynı değeri alabilir. Böyle bir durum gerçekleştiğinde neden üç farklı etkileşme sabiti var sorusuna da cevap verilmiş olur.

Aslında üç bağlaşım sabiti birbirine eşit, ancak etkileşimlerden dolayı bizim ölçüm yaptığımız düşük enerjilerde birbirlerinden farklı görünürler. Bağlaşım sabitleri aynıysa, bir adım daha ileri gidip, bu enerji düzeyinde üç farklı kuvvetin de olmadığını, sadece tek bir kuvvetin olduğunu öngörebiliriz. Gözlemediğimiz üç farklı kuvvetin, yüksek enerjilerde aslında tek bir kuvvet olduğunu söyleyen kuramlara Büyük Birleşik Kuram (Grand Unified Theory-GUT) adı verilir.

Bu kuramların, Standart Model'in öngörmediği başka öngörülleri de vardır. Bu kuramlarda leptonlar ve kuarklar ayrı ayrı ikili aileler olarak gruplanmak yerine, hem leptonları, hem kuarkları içeren aileler olarak gruplandırıldığı için, "Neden lepton ve kuark aile sayıları aynı?" sorusu ortadan kalkmıştır.

Yüksek enerjilerde kaç tane aile varsa, düşük enerjilerdeki lepton ve kuark aile sayısı ona eşittir. GUT'ın bir başka öngörüsüye, yüksek enerjilere çıkıldıkça, bilinen üç kuvvetten başka kuvvetlerin de ortaya çıkacağıdır. Eğer leptonlar ve kuarklar aynı grubun içine konulursa, kuarkların ve leptonların birbirine dönüşmeleri de mümkün olacaktır. Bu dönüşüme yol açacak yeni kuvvetler, genel olarak protonun, anti-elektron (pozitron) ve fotonlara dönüşmesine yol açacaktır. Oysa şimdiye kadar herhangi bir protonun, pozitron ve fotona dönüştüğü gözlemlenmemiştir. Bu ise proton bozunma hızının çok küçük olmasını gerektirmektedir. Bugünkü limitler, protonun ömrünün 10^{29} yıldan daha fazla olmasını gerektirmektedir. Bütün bu modeller, bağlaşım sabitlerinin belli bir enerjide aynı olmasına dayanmaktadır. Standart Model'de, her ne kadar eşleşme sabitleri birbirlerine çok yakın geçseler de, bu üç bağlaşım sabiti aynı noktada kesişmezler. Kesişmeleri için Standart Model'i değiştirmek gerekmektedir. Mümkün

değişikliklerden biri de daha sonraki bölümde bahsedilen süpersimetri'dir. Süpersimetriyi Standart Model'e eklediğimiz zaman, bağlaşım sabitlerinin üçü de yüksek enerjilerde aynı noktada kesişirler.



Şekil 2.2: GUT'a göre, bağlaşım sabitlerinin aynı enerjide birbirleriyle kesişmeleri [7]

Yüksek enerjilere çıkıldıkça değişen, sadece bağlaşım sabitleri de değildir. Modeldeki diğer parametrelerin de büyük çoğunluğu enerjiye bağlıdır. Bağlaşım sabitlerinin birleştiği enerjide, bazı serbest kütle parametrelerinin de eşit olduğunu varsayıldığında, mevcut deneylerle tutarlı kuramlar elde edilebilir. Böylece serbest parametre sayısını, her ne kadar Standart Model'deki düzeydeki kadar azaltılmasa da, büyük oranda azaltılmış olmaktadır [12].

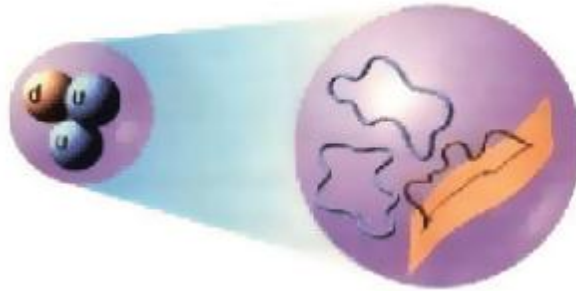
2.2.2. Ekstra Boyutlar

Ekstra boyut kuramı, ekstra boyutların en azından bir kaçının, çapının 10^{-35} m'den çok daha büyük olmasının gerektiğini öne süren bir kuramdır. Kütle Çekim kuvveti neden bu kadar zayıftır sorusuna doğal bir açıklama getirmektedir. Kütle Çekim kuvvetinde, parçacıklar arasındaki uzaklığın karesi ile kuvvet ters orantılıdır. D boyutlu bir uzayda yaşanıyor olsaydı, o zaman kuvvet uzaklığın $(D-1)$.kuvveti ile ters orantılı olarak azalacaktır. D tane ekstra boyut olsun. Yalnızca kütle çekimi taşıyan parçacık *graviton* (henüz deneysel olarak gözlenmemiştir), ekstra boyutlara yayılabilir. Diğer bütün parçacıklar ise, ekstra boyutlardaki bir noktada hapis olsunlar; yani sadece yaşadığımız üç boyutta hareket edebilirler. Bu durumda, eğer iki kütle birbirine çok yakınsa, gravitonlar bütün boyutlarda yayılacaktır ve kuvvetler arasındaki kütle çekimi aradaki mesafenin $(D+2)$.kuvvetiyle, daha uzak mesafelerde ise ikinci kuvvetiyle ters orantılı olarak azalacaktır. Böylece kütle çekimin ve diğer kuvvetlerin bağlaşım sabitleri, aynı

olsa bile, Kütle Çekim kuvveti küçük mesafelerde çok hızlı azaldığı için, Kütle Çekim kuvveti çok zayıf bir kuvvet olarak görülmektedir.

Ekstra boyutların bir diğer önemli katkısıysa, kütleyi anlamakla ilgilidir. Bütün parçacıkların ekstra boyutlarda hareket ettiği varsayılmaktadır. Gözlemlenen parçacıkların ekstra boyutlardaki hareketleri ise bir kütle olarak algılanmaktadır. Eğer bütün boyutlar algılanabilseydi, kütsüz olarak görülen parçacıklar, üç boyutlu algılarımıza kütleli olarak görülebilecekti. Böylece Higgs kullanılmadan kütleli parçacıklar kurama katılabilmektedir. Şu ana kadar yapılan deneylerde ekstra boyutların olabileceğine dair herhangi bir belirti gözlenmemiştir [12].

İçinde Kuantum Mekaniği, Görelilik ve Kütle Çekim Kuvveti'nin çok rahat kullanılabildiği bir teori de *Sicim Teorisi*'dir. Matematiksel bir teoridir. Esas ortaya çıkış problemi, kuantum mekaniğinde uzay boyut sayısını artırma ihtiyacından kaynaklanmıştır. Her bir parçacık aynı telin farklı bir moduymuş gibi düşünülür. Sicim teorisine göre, bugün temel parçacık olarak bilinen kuarklar ve leptonlar, küresel parçacıklar olarak değil, dönen, titreşen sicimlerden meydana gelmiştir. Bu sicimler ayakkabı bağına benzetilirse, açık ya da bir halka şeklinde kapalı olabilirler. Sicimlerin boyutları çok kısadır ve yaklaşık olarak 10^{-33} cm'dir.



Şekil 2.3: Sicim Teorisine göre, kuarkların sicimlerden meydana geldiğini gösteren bir resim [12]

2.2.3. Süpersimetri (SUSY) ve Minimal Süpersimetrik Standart Model (MSSM)

Süpersimetri parçacık fiziğinde, Standart Modelin karşılaştığı sorunlarını çözmek için 1970'lerde ortaya atılan bir teoridir. *SUSY* olarak kısaltılmaktadır. *SUSY*, günümüzde en çok çalışılan SM ötesi teorilerden bir tanesidir. Varlığının test edilebilmesi için

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC)'nda çalışmalar hala sürmektedir. Süpersimetri'nin temel fikri bozonlar ve fermiyonlar arasında yeni bir simetri kurmaktır.

Süpersimetriye göre, her fermiyona karşılık bir bozon ve her bozona karşılıkta bir fermiyon vardır.

Fermiyonlar ↔ Bozonlar

Süpersimetri daha fazla parçacığın varlığını önermektedir. Standart Model'de parçacıkların çoklular şeklinde düzenlendiğinden bahsedilmiştir. (örneğin, fermiyon aileleri ikililer şeklindedir). Böyle bir çokluktaki parçacıkların hepsinin spinleri aynıdır. Bu yüzden fermiyonlarla bozonları aynı çoklular arasına koyan bir model oldukça şaşırtıcı olacaktır. SM'e göre doğada fermiyon kütleleri birbirine benzemez. SM'de herhangi bir fermiyon ile bir bozon çoklu oluşturamaz. Süpersimetri ise, fermiyonlar ve bozonlar arasında bir simetri öngörür. SUSY' e göre Standart Model'de bilinen tüm parçacıkların birer *süperdeş*'i olmalıdır. Parçacıklar ve bunların süperdeşlerinin spinleri arasında birbirinden 1/2 kadar fark vardır. Parçacıklar ve süperdeşleri aynı bağlaşıma sahiptirler ve bunların kütle farkları $|M_F^2 - M_B^2| < 1 \text{ TeV}^2$ olacak şekilde ayarlanmıştır (F indisi fermiyon, B indisi ise bozonu ifade etmektedir).

Tablo 2.6. Parçacıklar ve parçacıkların süperdeşleri

| <i>Parçacık</i> | <i>Spin</i> | <i>Sparçacık</i> | <i>Spin</i> |
|------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| Kuark | 1/2 | skuark | 0 |
| Lepton | 1/2 | slepton | 0 |
| Foton | 1 | Fotino | 1/2 |
| Gluon | 1 | Gluino | 1/2 |
| W^\pm | 1 | Wino | 1/2 |
| Z^0 | 1 | Zino | 1/2 |
| Higgs | 0 | Higgsino | 1/2 |

Bu teoride, parçacıklar hem bozonik hem de fermiyonik durumları içine alan süperçoklularda toplanırlar. Aynı süperçokluya ait olan parçacıklar, aynı elektrik yüküne, zayıf izospine ve kuvvetli renk yüküne sahiptirler. Her biri diğerlerinin süper-eşi olarak adlandırılır. Süper parçacıkların sembolleri, bilinen parçacıklardan parçacığın sembolünün üzerine tilda ($\tilde{}$) işareti konularak ayrılır. Sfermionlar aynı zamanda bir

harf taşırlar. Örneğin, elektron Dirac alanının sağ-elli ve sol-elli süper-eşleri sağ-elli ve sol-elli selektronlar olarak adlandırılır. Dolayısıyla Tablo 2.6’da görüldüğü gibi bütün SM fermiyonları kiral çoklusunda bulunurlar ve onların skaler süper eşleri asıl parçacığın isminin başına “s” getirilerek adlandırılır. Örneğin, kuark \rightarrow *skuark*, lepton \rightarrow *slepton* gibi. Bozonların süper eşlerinin isminin sonuna “ino” getirilir. Örneğin, *gaugino*, *higgsino*, *wino* gibi. Bugüne kadar herhangi bir süpersimetrik parçacık gözlenmemiştir. Süpersimetrik teorilerin bir doğa gerçeğini yansıtıp yansıtmadığını doğrulamak, modelin var olduğunu iddia ettiği süper parçacıkların kütlelerini hesaplayamaması nedeni ile kolay değildir. Model sadece kütlelerin yüksek olduğunu tahmin edebilmektedir. Dolayısıyla süper parçacıkların kütlelerini ölçmek amacıyla tasarlanan deneylerin dedektörlerin de kütleyle karşı gelen enerji kendini gösterecek veya hiç göstermeyecektir. Enerjide belirlenecek herhangi bir eksiklik, saptanması gereken süper parçacıkların var olduğu anlamına gelecektir. Örneğin, LHC’de gerçekleştirilecek çarpışmalarda süpersimetrik teori doğru ise, son durumda bir süper parçacık çiftinin oluşması gerekir. Bu çift, eksik olan enerjiye karşı gelecektir. Bu enerji eksikliği yok ise, çarpışma sonuçları Standart Model’in ötesinde bir fiziğin varlığını kanıtlayacaktır [12,13].

Minimal Süpersimetrik Standart Model (*MSSM*), SM ötesi teoriler içerisinde en basit olanıdır. *MSSM*, minimum parçacık içeriğini, R-parite korunumu ile Poincare ve ayar değişmezliğini kabul eder [13].

2.2.4. Teknirenk

Standart Model, her ne kadar pek çok soruya cevap veremiyorsa da, deneysel verilerle ilgili neredeyse bütün tahminleri sınanmış ve gözlemlenmiştir. Bulmacanın tek eksik parçasıysa henüz gözlemlenmemiş olan Higgs bozonudur. Higgs bozonu diye temel bir parçacığın hiç bir zaman gözlemlenememesi olasılığına karşılık, temel bir Higgs parçacığı içermeyen modeller de vardır. Bu modellerden bir grup *Teknirenk* kuramları olarak anılır. Teknirenk kuramlarındaki genel fikir, Higgs diye temel bir parçacık olmayıp, tıpkı protonun kuark ve gluonlardan oluşan bir ufak galaksi gibi, daha temel parçacıklardan meydana gelen bir yumak olduğudur. Bu durumda Higgs, kütlelerinin büyük kısmını kendisini oluşturan yapıtaşlarının enerjisinden alır ve kütlelerini yükselten yüksek enerji süreçlerinden fazla etkilenmiyor olacaktır. Bu parçacıkları birbirine

bağlayan kuvvete ise *teknirenk kuvveti* adı verilir. Bu kuvvet, Standart Model'deki güçlü kuvvete çok benzemekle beraber, ondan çok daha kuvvetlidir. Bu kuvveti hisseden temel parçacıkların ne olduğuysa modelden modele değişmektedir [12,14].

2.2.5. Kompozitlik

Bu model Standart Model'de temel (içyapısız) olduğu kabul edilen kuark ve leptonların onlardan daha temel parçacıklardan oluştuklarını söylemektedir. Herhangi bir sistemin kompozit (içyapısı) olup olmadığını anlamak için, sisteme o sistemin bağlanma enerjisi kadar bir enerji verip, sistemi uyarmak gereklidir. Kompozit modellerde, kuark ve leptonların, maddenin yeni bir yapı tabakasını oluşturan ve *preon* olarak adlandırılan daha temel parçacıkların bağlı durumları olduğu varsayılmaktadır. Kompozitliğin tipik bir diğer sonucu ise uyarılmış kuark ve leptonlardır. Kuark ve lepton ailelerinin tekrarlanması bu parçacıkları mümkün içyapıları için bir işaret olabilecektir. Kuark ve leptonların mümkün içyapıları için en ikna edici kanıt, kuark ve lepton taban durumları üzerinde yer alan uyarılmış durumların varlığı olacaktır. Buna göre bildiğimiz lepton ve kuarklar kompozit ise, bu parçacıklar uyarılmış durumların geniş bir spektrumuna sahip taban durumları olarak kabul edilebilirler [12].

2.3. PARÇACIK ÜRETİMİ

Parçacıkların üretilmesi için üç ana kaynak vardır. Bunlar:

- Kozmik Işınlara;
- Nükleer Reaktörler ;
- Parçacık Hızlandırıcıları;

Kozmik ışınlar dış uzaydan gelen çok yüksek enerjili parçacıklardır. Bu parçacıkların büyük bir kısmı yüksek enerjili protonlardır. Bu ışınlar Dünya atmosferine gelerek başka maddelerle çarpışarak iyonize olurlar. İyonize olan parçacıklardan da başka parçacıklar oluşmaktadır.

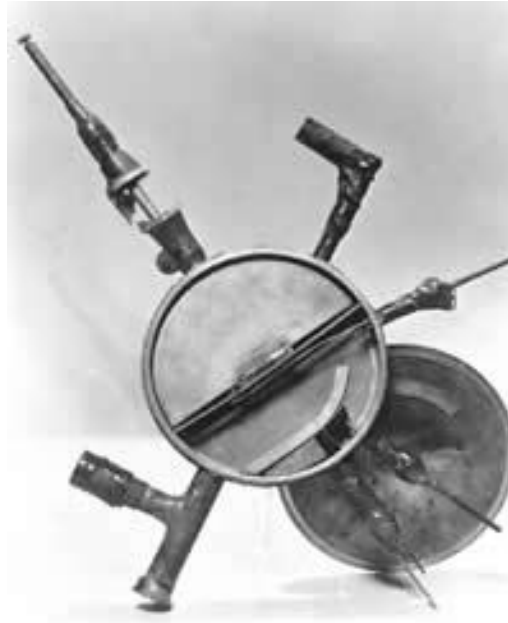
Nükleer reaktör ise zincirleme çekirdek tepkimesinin başlatılıp sürekli ve denetimli bir biçimde sürdürüldüğü aygıtlardır. Nükleer reaktörlerde üç tip ışın açığa çıkar. α , β ve γ

olan bu ışınlar incelenerek parçacıklar hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Nükleer reaktörler bazen nükleer enerjiyi başka bir tür enerjiye (genelde elektrik enerjisine) çevrilen santraller olarak da kullanılırlar [8,15].

Bir diğer parçacık üretimi yapılan kaynak Parçacık Hızlandırıcılarıdır.

2.4. HIZLANDIRICI FİZİĞİ

En eski çağlarda, maddenin nelerden meydana geldiğini bulmak için kullanılan en ilkel yöntem, cismi bir başka cisme çarparak onu küçük parçacıklara ayırmaktı. Günümüzdeki hızlandırıcılar da aynı düşüncenin bir sonucu yapılmışlardır. Bütün hızlandırıcılarda, yüklü parçacıklar elektrik alanda hızlandırılırken, manyetik alanlar kullanılarak parçacık demetlerinin sapmaları minimize edilerek çarpıştırılırlar ve çıkan parçacıklar hassas dedektörlerle incelenir.



Şekil 2.4: Ernest O. Lawrence tarafından 1929 yılında yapılan ilk hızlandırıcı

İlk parçacık hızlandırıcıları 1930'larda kurulmuş olmasına rağmen ki o tarihlerde hızlandırıcılarda ulaşılabilen enerjinin düşük olması nedeniyle, temel parçacıklarla ilgili buluşlar kozmik ışın deneylerinde elde edilmiştir. Hızlandırıcılar geliştirildikçe ve enerjileri arttıkça, bilim insanları bir sürprizle karşılaşmışlardır. İki elektron çarpıştığında, eğer elektronların enerjileri yeterince fazlaysa, ortaya çıkan parçacıklar

arasında, ağırlığı elektronun ağırlığının yaklaşık 2000 katı olan proton da dahil olmak üzere, pek çok parçacık ortaya çıkmaktadır. Elektronun içinde, proton mu vardı ki ortaya çıkmıştı, yoksa başka bir süreç mi gerçekleşmiştir? *Gerçekte olan, Einstein'in görelilik kuramında ortaya koyduğu enerji madde eşitliğine göre ($E=mc^2$), enerji maddeye dönüşmüştür.* İki elektronların birbirlerine çarparken sahip oldukları hareket enerjilerinin bir kısmı, proton ve diğer parçacıklar olarak kütleye dönüşmüştür. Hızlandırıcılarda çarpışmalar sonucunda sadece proton, nötron ve elektronlar gözlenmezler. Güçlü etkileşme dediğimiz etkileşmelerde yaratılmış birçok farklı parçacık gözlenir [12].

Hızlandırıcılar çekirdeğin iç yapısına doğru yönelmiş dev mikroskoplar gibidir. Aynı optik mikroskoplar gibi, hızlandırıcılarda, parçacık çarpıştırılması sonrası sapma veya saçılma durumlarını belirleyerek, hedefin iç yapısı hakkında ipuçları veren bir alettir. 1908'den itibaren hızlandırıcılardaki gelişmelere bakılırsa, Rutherford α parçacığını altın atomlarına yollayıp çekirdek bölgesindeki saçılmalarla çekirdeği keşfetmişti. 1956 yılında Hofstadter isimli bilim adamının proton üzerine elektron yollamasıyla oluşan saçılma incelenmişti. 1967'de Friedman, Kendall, Taylor; elektronları proton içerisine bombardıman ederek kuarkları keşfetmişlerdir. Daha sonra 1975'den sonra pek çok deney yapılmıştır. Bu deneylerden birisi de HERA yani DESY'de yapılan deneydir. Bu deney protonun yapısını anlamak için geliştirilmiştir. Elektron, muon veya nötrino bombardımanı yapılarak protonun içerisindeki yapı bulunmaya çalışılmıştır. Son olarak FNAL Tevatron'da, t (top) kuarkın keşfi (top kuarkın kütlesi $\sim 175 \text{ GeV}/c^2$ protonun toplam kütlesinden daha büyüktür!) gerçekleştirilmiştir. Elektron-pozitron çarpıştırılarak da kuarkların daha alt yapısının olup olmadığı incelenmektedir [12,13].

Parçacıkların çarpışması sonucunda, bu saçılma kesitlerinin ölçülmesi ve bozunum ürünlerinin varlanması gerçekleştirilir. Yani parçacıkların çarpıştırılmasındaki esas amaç; bu çarpışma sonucunda çarpışma ile ilgili saçılma tesir kesitini hesaplamak ve bozunum ürünlerini dedekte etmektir. Sadece kararlı (stable) parçacıklar hızlandırılabilirler. Bunun sebebi kararsız parçacıklar çok çabuk bozunmaktadırlar ($\sim 10^{-23}$ sn) [15].

Tablo 2.7: Elektron ve Proton Hızlandırıcıları arasındaki fark

| Elektron Hızlandırıcıları | Proton Hızlandırıcıları |
|---|---|
| Temizdir. Elektron ve pozitron, kuark yapısı içermediği için arkaplan temizdir . | Dağınık ve karmaşıktır. qq veya $q\bar{q}$ etkileşimleri nedeni ile arka plan çok karmaşıktır ve bir çok parçacık içerir. |
| Düşük enerji , aynı büyüklükte yarıçap. LEP (Sinkrotron ışınması) $e^+ e^- \sim 200$ GeV | Yüksek enerji , aynı büyüklükte yarıçap. LHC (pp), LEP tüneline 14 TeV. |
| $e^- e^+$ 'nin enerjisi bilinir . | qq veya $q\bar{q}$ 'in enerjisi bilinmiyor . |
| Verilen çalışma şartları için Sabit enerji . | qq veya $q\bar{q}$ 'in enerji menzili pp veya $p\bar{p}$ enerjisi için sabittir. |
| Ayrıntılı çalışmalar için en iyisidir. | Yeni parçacıkları keşfetmek için en iyisidir. |

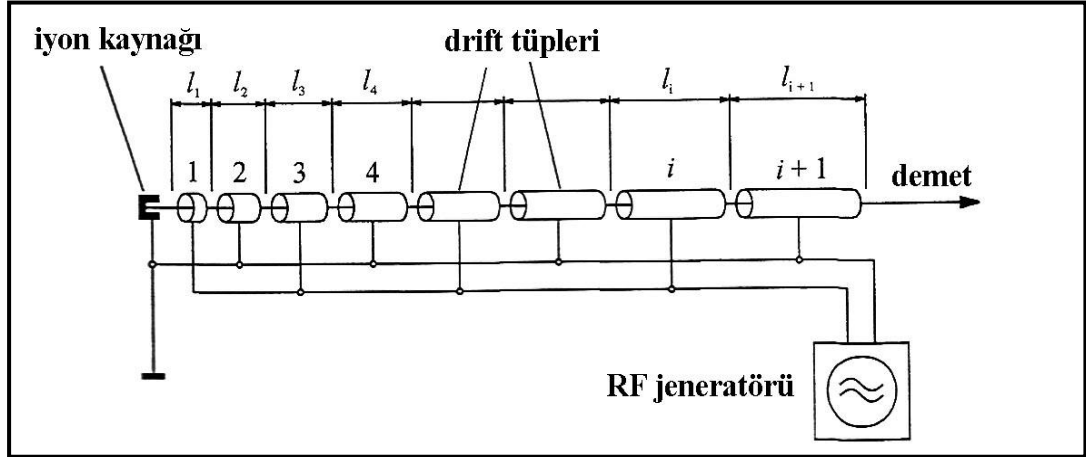
Genellikle hızlandırıcılarda aynı parçacıklar üzerinde çalışılmaktadır. Bunlar yüklü ve kararlı olan e^- (elektron), e^+ (pozitron), p (proton), \bar{p} (anti-proton) ve bazı iyonlardır. Elektronların ve protonların hızlandırıcılarda kullanılmasında bazı avantaj ve dezavantajlar olmaktadır. Bunlar Tablo2.7'de gösterilmektedir.

Parçacıkları hızlandırma işlemi, doğrusal ve dairesel bir yörünge üzerinde yapılmaktadır. Dolayısıyla genel amaçlı hızlandırıcıların iki çeşidi vardır. Bunlar, Doğrusal (Lineer) Hızlandırıcılar ve Dairesel Hızlandırıcılar'dır.

2.4.1. Doğrusal (Lineer) Hızlandırıcılar (LINAC)

1920'li yılların sonlarında Widereo ilk modern doğrusal elektron hızlandırıcısını (linac) tasarlamış ve hayata geçirmiştir. Cockcroft-Walton elektrostatik hızlandırıcısı da yine aynı dönemde gerçekleştirilmiştir ve 1932 de Cockcroft-Walton proton hızlandırıcısı ile hızlandırılan protonlar Lityum çekirdekleri üzerine gönderilerek iki Helyum (He) çekirdeği ortaya çıkarılmıştır. Daha yüksek elektrostatik hızlandırma potansiyelleri ise Van de Graff jeneratörü ile elde edilmiştir. Bu hızlandırıcı ile enerji olarak MeV düzeyine ulaşılmıştır. İndüksiyon doğrusal hızlandırıcıları ile yine bir kaç MeV enerjiye ulaşmak aynı tarihlerde söz konusu olmuştur. RF(radyo frekans) salımlı (\sim MHz) elektromanyetik alanlar aracılığı ile uyarılan rezonans kavitelelerin (rezonans boşlukları) parçacık hızlandırılmasında kullanımı Widereo tarafından önerildikten sonra 30 sürüklenme tüpüne sahip böyle bir hızlandırıcı ile civa iyonları 1.26 MeV'lik enerjiye

hızlandırılmışlardır [16]. Şekil 2.5’de gösterildiği gibi doğrusal hızlandırıcı, demetin hareket doğrultusu boyunca sıralanmış bir dizi sürüklenme (drift) tüplerden meydana gelmektedir. Bu tüpler bir RF kaynağına bağlıdır. RF kaynağı yüksek frekansta alternatif voltaj sağlamaktadır.



Şekil 2.5: Wideröe lineer hızlandırıcısı

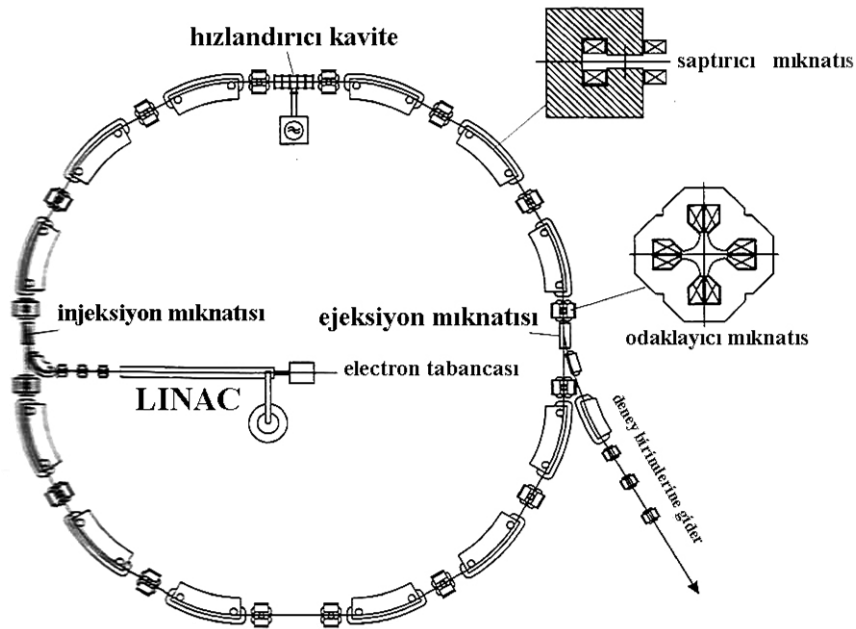
Doğrusal Hızlandırıcılar anlaşılması en kolay olan hızlandırıcı çeşididir. Doğrusal hızlandırıcılarında iki tür çarpışma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bunların ilki, bir parçacığın elektrik alan altında sabit bir hedefe çarpıştırılması yöntemidir. Buna Sabit Hedef Deneyi adı verilmektedir. Diğeri ise, ters yönlerde hızlandırılan parçacıkların kafa-kafaya çarpıştırılması yöntemidir. Bu tür hızlandırıcılara da Doğrusal Çarpıştırıcılar denilmektedir. Parçacıklar ters işaretli yüke sahip olduklarından bir manyetik alanda ters yönde saparak çarpışacaklardır. Doğrusal hızlandırıcılar, sabit hedef deneylerinde kullanıldıkları gibi, ışın çarpıştırmalarında da kullanılabilirler. *Bazen ön hızlandırıcı olarak kullanılırlar ve hızlandırdıkları parçacıklar dairesel hızlandırıcıya aktarılırlar. Dairesel hızlandırıcılar da; doğrusal bir tüpe aktarımla sabit hedef deneylerinde veya doğrudan ışın çarpıştırıcı olarak kullanılabilirler*[17].

2.4.2. Dairesel Hızlandırıcılar

Yükselen enerjilerle beraber tüplerin uzunluklarının ve maliyetin artması dairesel hızlandırıcı düşüncesinin doğmasına yol açmıştır. Dairesel hızlandırıcıların bir kaç çeşidi vardır. Kullandığı manyetik ve elektrik alanlar sabit olanlara "siklotron", değişken olanlara "sinkrotron" ve biri sabit diğeri değişken ise bu tip dairesel hızlandırıcılara da "siklasenkrotron" denir.

İlk dairesel hızlandırıcı Lawrence tarafından önerilen “siklotrondur”. Parçacığın dairesel bir yörüngeyi izlemesini sağlamak için 2T şiddetinde homojen bir alan (B_z) üreten demir mıknatıslar kullanılmaktadır.

Dairesel hızlandırıcıların büyük bir çoğunluğu Sinkrotron olarak adlandırılır. B manyetik alanı enerji ile eş zamanlı (senkronize) olarak artan bir hızlandırıcı çeşididir. Parçacıkları R yarıçapındaki bir tüpün içinde tutabilmek için; manyetik alanın ilgili parçacık üzerine ve parçacığın hareketine dik yönde etki eden kuvvetin ($qv\mathbf{B}/c$) merkezkaç kuvvetine (mv^2/R) eşit olması gerekir. Bu eşitliğin verdiği yarıçapın sabit olması gerektiğinden, parçacıklar hızlandıkça, onların yörüngeler de tutmaya çalışan manyetik alanın şiddetinin de artması gerekir. Dolayısıyla, dairesel tüp üzerindeki bazı noktalarda güçlü elektromıknatıslar bulunur. Ayrıca, parçacıkların sinkrotrona gelmeden önce, doğrusal hızlandırıcılarda enerjilerinin belli bir değere erişmiş olması gerekir. Bunun sebebi, tam olarak $B=0$ 'dan çalışmaya başlayan ve düzenli bir şekilde artan bir mıknatısın üretilmesidir [17].



Şekil 2.6: Sinkrotronun temel yapısı

Doğrusal ve dairesel hızlandırıcıların birbirlerine göre artıları ve eksileri vardır. Doğrusal hızlandırıcılarda, parçacıkları daha fazla hızlandırmak ancak tüplerin

boyunun, maliyetin ve hızlandırıcıların kurulacağı alanın artmasıyla mümkün olur. Buna karşılık dairesel hızlandırıcılarda, ayrıca bir merkezkaç kuvveti altında ivmelenen parçacıkların ışıdığı “senkrotron ışıması” büyük bir enerji kaybına yol açmaktadır [17].

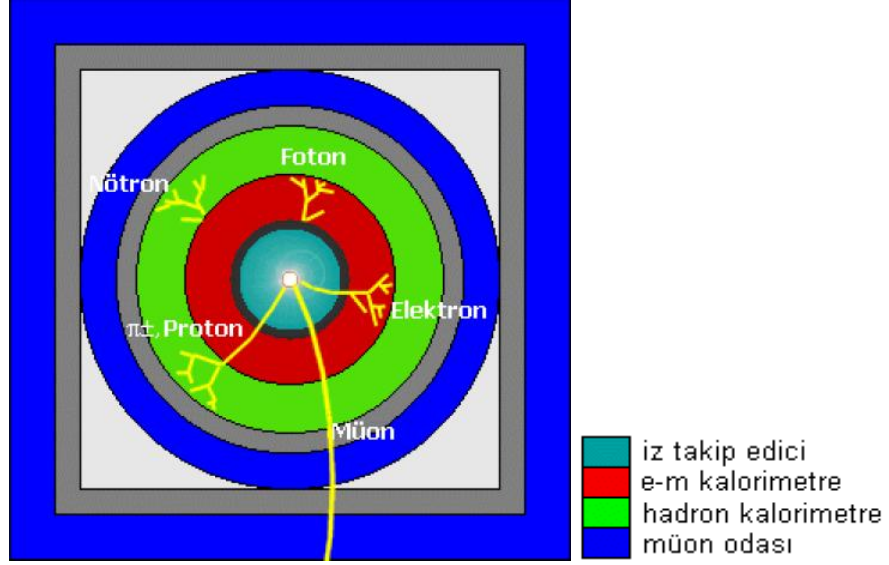
2.4.3. Dedektörler

Deneilerin ana hedefi, hızlandırıcılarda meydana gelen çarpışmalardan geriye kalan ya da çarpışma sonrasında ortaya çıkan farklı parçacıkları belirlemektir. Bu amaçla çok çeşitli parçacık dedektörleri kullanılmaktadır. Bu dedektör sistemleri, temel olarak parçacıkların son durumlarının konum (pozisyon), momentum, enerji, kütle ve yük gibi özelliklerinin ve kinematik değerlerinin ölçüldüğü bir varlama sistemi olarak görülebilir [12]. İz dedektörleri kocaman bir magnet gibi düşünülebilir. Parçacığın yükü, parçacığın çizdiği eğimin doğrultusundan hesaplanır. Ne kadar döndüğünden, eğildiğinden hareketle momentumu hesaplanabilir. Eğri çok büyük yay çiziyorsa, düşük momentumu, küçük eğri çiziyorsa bu da yüksek momentumu gösterir. Çünkü yüksek enerjili ise yolundan çevirmek zor olur.

Bir yüksek enerji dedektörü (YED) etkileşme noktası etrafını çevreleyen alt dedektörlerden oluşmaktadır. Böylelikle etkileşmeye giren parçacıkların hassas bir şekilde dedekte edilmesi sağlanmış olur. Bir dedektörün çarpışma noktasından itibaren dış katmanlara doğru alt dedektör bileşenleri şu şekildedir [17]:

- İz Takip Edici Dedektör
- Elektromanyetik Kalorimetre
- Hadronik Kalorimetre
- Muon Kalorimetre

Her katmanda, çeşitli sayı ve tiplerde belirleyiciler bulunmaktadır ve bu belirleyiciler o katmandan geçen parçacıkların özelliklerini saptamaktadır. Parçacıklar içten dışa doğru ilerlerken, bu katmanların bir veya daha fazlasıyla etkileşimde bulunabiliyor ve sonuçta, türünün taşıdığı fiziksel özelliklere bağlı olarak, katmanların birinde durdurulmuş oluyor.



Şekil 2.7: Parçacık Yollarını Gösteren Dedektör Kesit Alanı

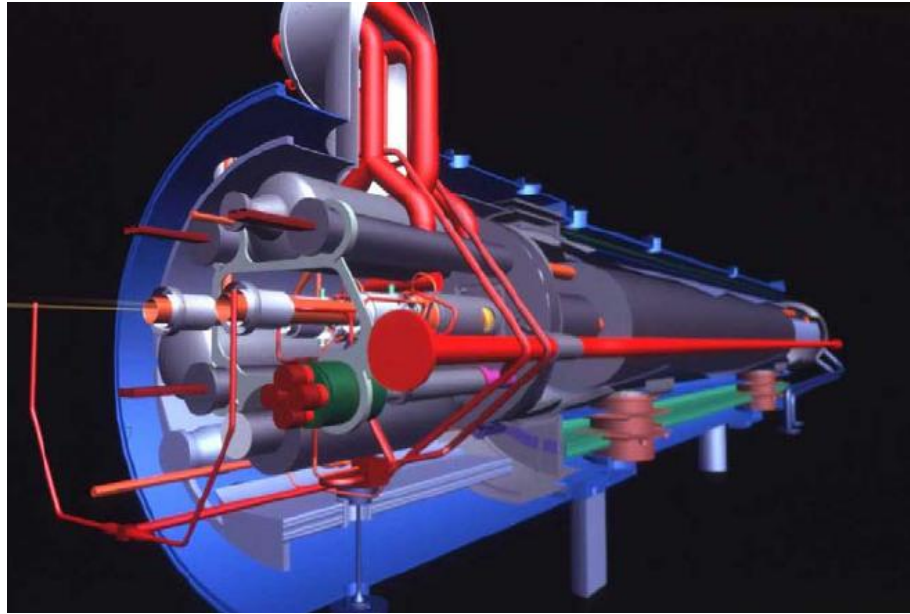
Dedektörün birinci katmanı olan iz takip edici dedektörün ana amacı, etkileşme noktasından gelen parçacıkların momentumlarını ölçmek ve bu parçacıkların izlerini belirleyerek etkileşme köşelerini bulmaktır. Bu katmanda sadece yüklü parçacıklar iz bırakmaktadırlar. Örneğin foton, nötron gibi yüksüz parçacıklar, bu katmanla etkileşmeye girmediklerinden dolayı iz bırakmaksızın ilerleyerek diğer katmanlara geçmektedirler. Öte yandan, iz saptama dedektörleri, parçacıkların hemen hemen hiç etkilenmeyeceği şekilde yapılırlar. Dolayısıyla, bu katmanda yer alan etkileşimler, kayda değer miktarda enerji kaybına yol açmaz ve parçacıklar hiçbir şey olmamış gibi yollarına devam ederler. Sonuç olarak, parçacıkların hepsi, enerjilerinde ve hareket doğrultularında hiçbir değişikliğin olmadığı varsayımıyla, ikinci katmana ulaşırlar.

Dedektörün ikinci katmanı olan elektromanyetik kalorimetre, sisteme giren parçacıkların enerjilerini yitirmelerine olanak sağlayacak ve elektromanyetik etkileşmeleri nedeniyle elektron ile foton gibi parçacıkların kesin bir şekilde saptanacağı şekilde tasarlanmıştır. Oysa muon, pion ya da proton gibi ağır ve yüklü parçacıklar, bu katmanda iz bırakmakla beraber, taşıdıkları yüksek enerji sayesinde ve bu enerjinin çok küçük bir kısmını kaybederek, üçüncü katmanı oluşturan hadron kalorimetresine ulaşırlar. Nötronlarsa yüksüz olduklarından, elektromanyetik etkileşime zaten girmezler ve üçüncü katmanı oluşturan hadron kalorimetresine, ilk halleriyle ulaşırlar. Sonuç olarak, proton ve nötron gibi baryonlarla, pion gibi mezonlar; yani hadronların tümü, hadron kalorimetresinde durdurulmuş olurlar.

Dedektörün son katmanı olan muon kalorimetresine, çok yüksek enerji düzeylerine sahip, orta ağırlıktaki ikinci nesil leptonu olan muonlar ulaşabilmektedir. Bu yüzden de bu bölgeye, muon katmanı denilmektedir. Yalnızca nötrinolar, dört katmanı da geçip giderler ve bunların enerjileri ölçülmek yerine, ölçülemediğinden, enerjinin korunumu ilkesinden hesaplanmaktadır [17].

2.4.4. LHC (Large Hadron Collider - Büyük Hadron Çarpıştırıcısı)

Dünyadaki en büyük hızlandırıcılarından birisi; Avrupa ülkelerinin, Fransa-İsviçre sınırında ortaklaşa inşa etmiş oldukları CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) parçacık fiziği laboratuvarlarında bulunmaktadır. CERN, çeşitli doğrusal ve dairesel hızlandırıcılardan oluşmaktadır. Yapımın 1950 yılında başlamış, fakat zamanla daha büyük ve güçlü hızlandırıcıların eklenmesiyle geliştirilmiş olan LEP (Büyük Elektron - Pozitron Çarpıştırıcısı) yerini, 2000 yılından itibaren 27 km'lik halka biçimli tünelini çok daha güçlü olan ve elektron ve pozitronlardan çok daha ağır olan protonları çarpıştırarak şimdiye kadar bulunamamış egzotik kuramsal parçacıklar bulunacağı umulan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (Large Hadron Collider-LHC)'na bırakmıştır [17].



Şekil 2.8: LHC' deki parçacıkların hızlandırıldığı borudan bir kesit

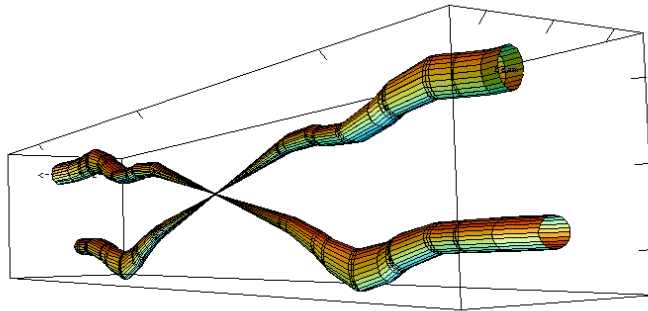
Yapımı yıllar süren ve evrenin oluşum sırlarını ortaya çıkarması beklenen, dünyanın en büyük parçacık hızlandırıcısı olan LHC, Eylül 2008’de başarıyla çalıştırılmıştır. Fakat mıknatısların arasındaki süper-iletken bağlantılardaki sorunlar nedeniyle deney durdurulmuştur. Ekim 2009’da hızlandırıcının yeniden devreye girmesi beklenmektedir.

LHC deneyinden amaçlanan; *maddenin temel doğasını inceleyerek evrenin ilk oluşum anına gitmek, SM’in öngördüğü Higgs parçacığını bulmak, karanlık madde ve enerjiyi açıklamak, madde ve anti-madde arasındaki farkları aramak, kuark-gluon plazma taneciklerinin özelliklerini analiz etmek, süpersimetrik parçacıkların varlığını araştırmaktır.*

Işık hızına yakın hızlarda hareket eden iki protonu kafa-kafaya çarpıştırmak, böylesine yüksek enerjide yapılan ilk atom-altı çarpışma olacaktır. LHC deneyinin önemli özellikleri şunlardır [18,19]:

- LHC yerin 50-175 m altında 3.8 m çapında bir tünele inşa edilmiştir. Bu tünel Fransa- İsviçre sınırı altında Cenevre’nin kuzeybatısında bulunmaktadır.
- Süper Proton Hızlandırıcısı’ndan (SPS) LHC içerisine enjekte edilmiş iki farklı ışın demeti dolaşmaktadır. Proton ışın demetleri enjekte edildiklerinde 450 GeV’lik bir enerjidedir ve demetler 7 TeV enerjiye kadar hızlandırılırlar.
- Parçacıklar 7 TeV’lik enerjiye ulaştığında, LHC içinde 0,9999999991c hızında hareket edeceklerdir. Işın demetleri, çok sayıdaki mıknatıstan geçerek sürekli vakum ortamındaki ışın borusunda hareket ettirilirlar.
- Enerjisi 7 TeV olan proton demetini, ancak 8.3 Tesla (bu yerküre manyetik alanının ~200.000 katına denktir) şiddetinde bir manyetik alan dairesel yörüngede tutabilmektedir. Çevresi 27 km. olan dairesel yörüngede tutacak manyetik alan şiddetine de şimdiye kadar hiçbir hızlandırıcıda ulaşılammıştır. Hızlandırılmış proton demetini bükerek dairesel yörüngede hareket etmeye zorlayan manyetik alan, süper-iletken kablolardan yapılmış 1232 tane elektromıknatıs kullanılarak elde edilmiştir. Dirençlerden kaynaklanacak aşırı kayıptan kaçınmak için mıknatıslar süper-iletken yapılmışlardır.
- Böylesine yüksek manyetik alan şiddeti ancak 12.000 amperlik elektrik akımı ile sağlanmaktadır.

- Bu şiddette bir akım da, ancak süper-iletken kabloların, -271°C sıcaklıktaki sıvı helyum banyolar içine yerleştirilmesi ile elde edilir. Mıknatısları soğuk tutmak için gerekli olan sıvı helyum üretmek için çok büyük bir cryogenics sisteme ihtiyaç vardır.
- LHC'deki toplam süper-iletken telin uzunluğu bugüne kadar dünyada döşenmiş en büyük süper-iletken kablolama olup 250.000 km'dir. *Bu uzunluk ekvatorun çevresini 6,8 defa saracak uzunluktadır.*
- Bu süper-iletken tellerin her biri 6300 adet niobiyum-titanyum lifinin bir bakır içinde gömülmesinden oluşmuştur. Her bir lifin kalınlığı insan saçının 10'da 1'i kadardır. Süper iletken durumunda sıfır direnç ile akımı iletmektedirler.
- Çarpışma şansını arttırmak için ışın çapını çarpışma noktasında düşürebildiğimiz kadar düşürmemiz gerekir. Etkileşme noktasında, her bir demetteki 10^{11} (100.000 milyon) protonu 64μ (bir insan saçı kalınlığında) kalınlığa indirilir.
- Her bir ışın demetinin birbiriyle kesiştiği noktada 20 çarpışma elde edilir. Ve demetler her 25 ns'de bir defa birbirlerini kesecek şekilde karşılaştıklarından sonunda saniyede 600 milyon çarpışma elde edilmiş olur. Pek çok proton hiç bir çarpışma yapmadan, ışın demeti ile geçip gider ve bir sonraki çarpışmaya katılır. Işın bu şekilde dönüşünü saatlerce sürdürür. Yani 800 milyon çarpışmaya denk gelmesine rağmen, bazı p'ların çarpışmadan geçmesi ihtimalinden dolayı yaklaşık olarak 600 milyon çarpışma kabul edilir. (Bazı kaynaklardaki farklılık bundan kaynaklanmaktadır)



Şekil 2.9: IP1 (Atlas)'de ışınların çarpışma anından bir görünüş

- Çarpışma frekansı 40 MHz olur.

Bu sıra dışı bilgi yayılma hızından geri kalmamak için, dedektörde kayıt altına alınan çarpışmalara ait bulgular elektronik bilgi işlem kanallarına yönlendirilmektedir.

LHC’de yürütülecek başlıca deneyler [18,19,20];

- **ALICE** (**A** **L**arge **I**on **C**ollider **E**xperiment) deneyinde kurşun iyonları çarpıştırılarak, büyük patlamadan çok kısa bir zaman sonra erken evrenin yaratılma şartları araştırılacaktır. Bu şekilde oluşacak olan kuark-gluon plazması ile erken evren koşullarının sağlanacağı düşünülmektedir. 31 farklı ülkeden 109 farklı enstitüde çalışan 1000’den fazla bilim adamı görev almaktadır.
- **ATLAS** (**A** **T**oroidal **L**H**C** **A**pparatu**S**) dedektörü çok yüksek enerjilerde kafa-kafaya p-p çarpışmalarında yeni fiziği araştıracaktır. ATLAS zamanın başlangıcından günümüze kadar evreni şekillendirmiş ve evrenin kaderini belirleyecek olan temel kuvvetleri araştıracaktır. Ayrıca, mümkün bilinmeyenler dışındaki kütlelerin orjinini, uzayın ekstra boyutlarını, mikroskobik kara delikleri ve evrendeki karanlık madde olmaya aday kanıtları arayacaktır. ATLAS’da 2500’e yakın insan çalışmaktadır. Yaklaşık 45 m uzunluğunda 25’den yüksek, yaklaşık 7000 ton ağırlığındadır. ATLAS çalışmaya başladığında saniyede 100.000 CD’yi dolduracak miktarda data üretecektir. Her saniye dataların kaydedildiği bu CD’ler üst üste konulursa, hemen hemen 60 m yüksekliğinde bir bina boyuna ulaşılabilir. Bir yılda birikecek data, aynı CD’lere kayıt edildiğinde, üst-üste konulan CD’lerin yüksekliği Ay’a iki defa gidip gelecek mesafe boyundadır denilebilir. Datanın hızı ise aynı anda 50 milyar telefon görüşmesinin yapılmasına eşit olabilir.
- **CMS** (**C**ompact **M**uon **S**olenoid), genel amaçlı bir parçacık fiziği deneyidir. Bu deneyde, Higgs bozonu, Süpersimetri ve Ekstra Boyutlar araştırılacaktır. Aynı zamanda daha önce keşfedilmiş, kuark ve bozonların özelliklerini daha hassas bir şekilde ölçmeye çalışacaktır. CMS deneyine 37 ülkeden yaklaşık olarak 2900 bilim insanı katılmaktadır. CMS dedektörü yaklaşık olarak, 16 m çapında ve 21 m uzunluğunda silindir şeklinde yapılmış olup 12500 ton ağırlığındadır.
- **LHCb**(**A** **L**arge **H**adron **C**ollider **b**eauty) deneyinde, alt kuark ve anti-kuarkları araştırarak evrende anti-madde gözlenmemesinin gizemi ortaya çıkarılmaya çalışılacaktır.

- **LHCf (L**arge **H**adron **C**ollider **f**orward), LHC deneyleri içindeki en küçük deneydir. LHC halkası üzerinde ATLAS bölgesine yakın yere kurulacaktır. p-p ve çekirdek-çekirdek etkileşmelerinde en uzaktaki bölgede oluşacak nötr parçacık üretim tesir kesitini hesaplamak amacıyla yapılmıştır.
- **TOTEM (TOT**al **E**lastic and Diffractive Cross Section **M**easurement) deneyi, genel amaçlı deneylerde geliştirilmesi zor olan, uzaktaki parçacıklara yoğunlaşmış fizik araştırmalarıdır. Bu çalışmaların dışında LHC ışınlılığını kesin bir şekilde ölçmek ve proton boyutunu ölçmek için kullanılacaktır. Totem'in bunu yapabilmesi için LHC demetine çok yakın üretilmiş parçacıklar dedekte edilmesi gerekir. Dedektör özel olarak dizayn edilmiş vakum odası içermektedir ki özel olarak yapılan "Roman kabı" LHC'deki ışın tüpüyle bağlantılıdır. CMS deneyinde çarpışma noktasına yakın 4 noktaya 2'şerli roman kabı olmak üzere toplamda 8 adet konacaktır. CMS ve Totem bilimsel olarak birbirinden farklı iki deney olmasına rağmen Totem deneyi, CMS dedektöründen elde edilen sonuçlar ile tamamlanmış olacaktır. LHC'nin diğer deneylerinden Totem deneyinde 8 ülkeden 10 farklı enstitüde çalışan 50 bilim adamı bulunmaktadır. Ayrıca, Totem dedektörü 440 m uzunluğunda, 5 m yüksekliğinde, 5 m genişliğinde, 20 ton ağırlığındadır.

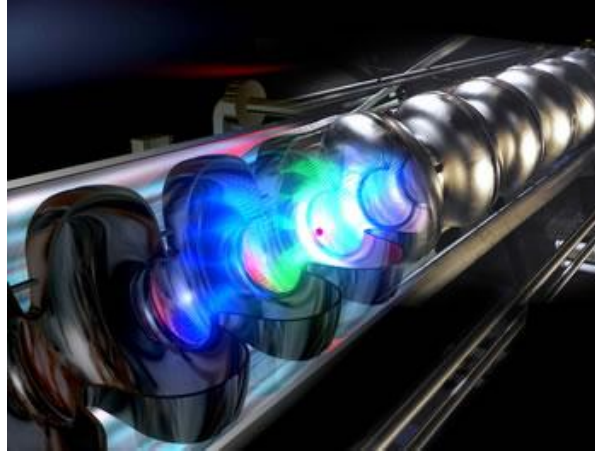
2.4.5. ILC (International Linear Collider- Uluslararası Doğrusal Çarpıştırıcısı)

Yüksek enerji parçacık fiziğinin karmaşık dünyasını daha iyi araştırmak için bilim insanları daha güçlü bir elektron-pozitron çarpıştırıcısı yapmaları gerekmektedir. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC) atom-altı parçacık araştırmalarının erimini şimdiye kadar ulaşılamamış enerji ölçeklerine eriştirildiğinde, fizikte yepyeni bir çağ açılacaktır. Ama araştırmacılar daha LHC'nin Fransa - İsviçre sınırları altındaki dev hızlandırıcı halkasında ilk yüksek enerjili çarpışmaları başlatmadan bile bir sonraki büyük parçacık hızlandırıcısının tasarım ve hazırlıklarına başlamış bulunmaktadırlar. Ve parçacık fizikçilerinin üzerinde anlaşmaya vardığı seçenek *Uluslararası Doğrusal Çarpıştırıcısı (ILC)* adlı bir merkezdir. 2005 yılının Ağustosunda dünyanın her yerinden gelen 600 bilim insanı, ABD'deki Snowmass kasabasında toplanarak ILC'nin planlanması için düğmeye basmışlardır.

Ama aslında projenin gerçek başlangıcı CERN'in Büyük Elektron-Pozitron Çarpıştırıcısı (LEP) 1989 yılında devreye girmesi de sayılabilir. LEP, elektron-pozitronları çevre uzunluğu 27 km olan bir dairesel hızlandırıcı içinde (ışık hızına çok yakın hızlarda) hızlandırıp kafa-kafaya çarpıştırmıştır ve 180 GeV (milyar elektronvolt) düzeyinde çarpışma enerjileri elde etmiştir. LEP'in kendi türünden büyük çarpıştırıcı olduğu da açıktır. Çünkü elektron-pozitronları trilyon elektronvolt (TeV) ölçeği düzeyindeki enerjilere hızlandırmak için yüzlerce kilometre çevreli ve çok büyük bütçeli hızlandırıcılar gerekecektir. LEP'deki (onun yerini alan LHC'deki) gibi, içinde parçacıkların sürekli olarak dolaşabilecekleri bir dairesel halka çözümü karşısındaki en büyük engel, *senkrotron ışınımı*dir. Elektron pozitronlar gibi görece hafif parçacıklar halka içinde yol alırken yolları, halkadaki elektrik yüklü parçacıkları yönlendiren çok sayıdaki mıknatısça büküldüğünden, enerji yamaktadırlar. Bu enerji kayıpları parçacıkları ivmelendirme işlemini giderek daha fazla güçleştirirken, böyle bir çarpıştırıcı yapmanın maliyeti çarpışma enerjisinin karesi ile ters orantılıdır. Yani LEP'de erişilen enerji düzeyini iki katına çıkaracak bir makinenin maliyeti, LEP'inin dört katı olacaktır. Daha hesaplı bir çözüm, parçacıkları bir halka yerine düz bir hatta hızlandırdığı için senkrotron ışınımı kayıplarından kurtulan bir doğrusal hızlandırıcıdır. LEP'in Avrupa'da inşasına başlandığı aynı tarihlerde ABD Enerji Bakanlığı da Stanford Doğrusal Hızlandırıcı Merkezi'nde (SLAC) rakip bir makine kuruyordu. Doğrusal hızlandırıcı konsepti ilkelerinin bir ispatı olarak lanse edilen bu makinenin 3 km uzunluğunda bir doğrusal hızlandırıcısıyla elektron ve pozitron kümelerini bir arada hızlandırıyor ve yaklaşık 50 GeV enerji düzeylerine çıkartıyordu. 1989-1998 yılları arasında görev yapan SLAC makinesi tek bir doğrusal hızlandırıcı kullandığı için gerçek bir doğrusal çarpıştırıcı sayılmasa da, bu tesis ILC'nin yolunu açmıştır [21].

ILC, daha önceki elektron-pozitron çarpıştırıcılarının çok üzerinde olan gücüyle, fizikçilerin LHC'nin ortaya çıkarabileceği olağanüstü bulguları çok daha ayrıntılı biçimde inceleyebilmelerini sağlayacaktır. LHC, aslında protonların çarpışmalarını incelemek üzere tasarlanmıştır. Proton içindeki kuark ve gluonlarda birbiriyle sürekli etkileşim içinde bulduklarından bir proton-proton çarpışması oldukça karmaşık bir olaydır. Araştırmacılar, çarpışma anında tek tek her kuarkın enerjisinden emin olamamaktadırlar ve bu belirsizlik çarpışmada ortaya çıkan parçacıkların, yeni parçacıkların özelliklerinin belirlenmesini güçleştirmektedir. Buna karşılık, elektron ve

pozitron şu ana kadar daha küçük parçalara bölünemeyen temel parçacıklar olduğundan, bir elektron-pozitron çarpıştırıcısıyla çalışan fizikçiler her çarpışmanın enerjisini büyük bir kesinlikle belirleyebilmektedir. Bu yetenek ILC'yi, yeni keşfedilen parçacıkların kütleleri ve diğer özelliklerini büyük bir duyarlılıkla ölçmek için son derece yararlı bir araç yapacaktır.



Şekil 2.10: Parçacıkları ivmelendiren doğrusal hızlandırıcının içindeki elektrik akımının bilgisayar benzetimi

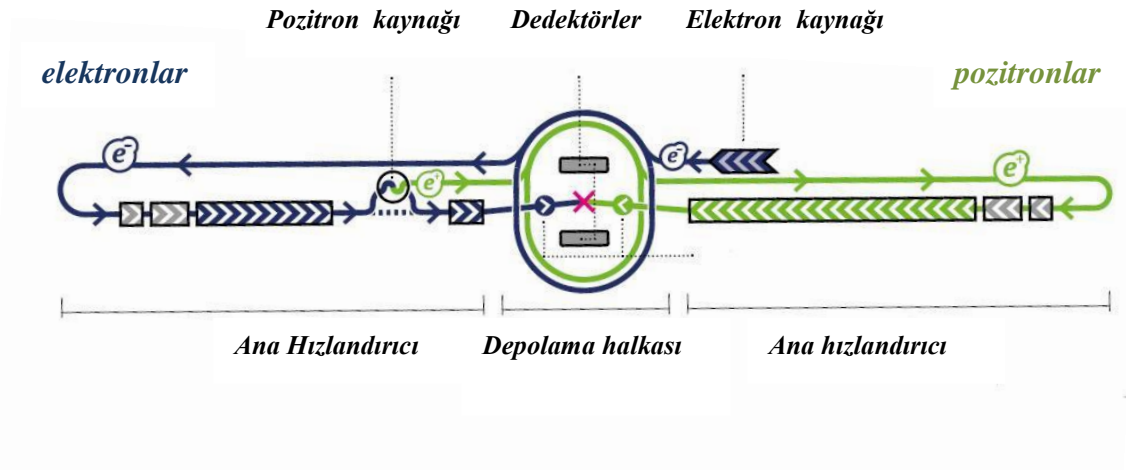
80'lerin sonunda ve 90'ların başında TeV ölçeğinde doğrusal bir çarpıştırıcı için ciddi bir planlama sürecine girilmiş ve ortaya çok sayıda farklı öneri ortaya atılmıştır. Araştırmacılar bu önerileri daha sonraki yıllarda geliştirirken, bir yandan da önerilen doğrusal çarpıştırıcının maliyetinin kabul edilebilir sınırlar içinde kalması konusuna odaklanmışlardır. Sonunda 2004 yılı Ağustosunda 12 bağımsız uzmandan kurulu bir panel, rakip teknolojileri değerlendirdikten sonra TESLA Grubunca geliştirilen tasarımın kabulünü önerdi. TESLA, Almanya'nın Hamburg kentindeki DESY araştırma merkezinin koordinatörlüğünde, 40'dan fazla kurumdan gelen bilim insanlarının oluşturduğu bir çalışma grubudur. Bu tasarıma göre elektron-pozitronlar, kavuk denen uzun bir dizi vakum kabından geçeceklerdir. Niobyum metalinden yapılmış bu kavuklar süper-iletken olabilirler; yani çok düşük sıcaklıklara kadar soğutulduklarında elektriğe hiçbir direnç göstermeden geçirirler. Bu olgu, kavukların içinde radyo frekanslarında saniyede 1 milyar kez salınacak güçlü bir elektrik alanı da parçacıkları çarpışma noktasına doğru ivmelendirecektir.

Bu süper-iletken radyo frekansı (SCRF) tasarımının temel bileşeni, 2 K (-271 °C) kadar soğutan 9 hücreden oluşan 1 metre uzunluğunda bir kavuktur. Bu kavuklardan sekiz ya da dokuz tanesi uç uca eklenerek *cryomodule* denen bir tank içinde bulunan süper-soğuk bir sıvı helyum içinde tutulacaktır. ILC'nin iki doğrusal hızlandırıcısının her birinde yaklaşık olarak 900 cryomodul olması gerekmektedir. Bu da, ILC'de toplam 16.000 kavuk bulunması anlamına gelmektedir. DESY'deki araştırmacılar şimdiye kadar 10 prototip cryomodul geliştirmiş bulunuyorlar. Bunların beşi, DESY'de yüksek enerjili elektronlar kullanan FLASH adlı bir lazere monte edilmiştir. SCRF teknolojisi ise yakında DESY'de hizmete girecektir. Kavukların daha güçlü bir elektrik alanı üretebilmeleri durumunda ILC'nin doğrusal hızlandırıcıları daha kısa ve dolayısıyla da daha ucuz olabilecekleri için tasarım ekibi SCRF sisteminin performansını, parçacıkların enerjisini kat ettikleri her bir metrede 35 MeV arttıracak kadar iyileştirmeye uğraşmaktadırlar [21,22].

ILC Tasarımı Ve Özellikleri

- Dünyanın her tarafındaki 300 laboratuvar ve üniversiteden 1600 bilim insanı ve mühendis şu anda ILC'nin tasarımı ve üreteceği parçacık çarpışmalarını inceleyecek olan dedektörlerin geliştirilmesi üzerine çalışmaktadır.
- ILC'nin kuruluş yeri için üç aday İsviçre-Fransa sınırındaki CERN, ABD'nin Illinois eyaletindeki Fermilab ve Japonya Dağları'dır.
- Hızlandırıcı, 31 km uzunluğunda olacaktır.
- Bu uzunluğun büyük bir kısmı 500 GeV enerji düzeyinde elektron-pozitron çarpışmaları üretecek olan iki süper-iletken doğrusal hızlandırıcı olacaktır.(250 GeV enerjide bir elektron, ters yönde gelen 250 GeV enerjide bir pozitrona çarpacak ve kütle merkezi 500 GeV enerjide olan bir çarpışma meydana gelecektir.)
- Saniyede beş kez tekrarlanmak üzere, bir milisaniye süresinde bir atımla 3000 elektron-pozitron kümesi ortaya çıkaracak, hızlandıracak ve çarpıştıracaktır. Bu her demet için yaklaşık 10 megawatt toplam güç demektir. Makinenin toplam randımanı (yani elektrik gücünün demet gücüne çevrilen kısmı) %20 olacaktır. Bu da iki doğrusal hızlandırıcının, parçacıkları

hızlandırmak için yaklaşık 100 megawatt toplamında elektrik gücüne gereksinim duyacağı anlamına gelmektedir.



Şekil 2.11: ILC Tasarımı

- Elektron demetini üretmek için bir lazer, galyum arsenitten yapılmış bir hedefe ateşlenerek her atımda milyarlarca elektronun saçılmasına yol açacaktır. Bu parçacıkların spinleri kutuplanmış olacak, yani spin eksenlerinin tümü, aynı doğrultuya bakacaktır. (Parçacık fiziği araştırmalarının çoğunda bu spin kutuplanmasının önemi büyüktür.)
- Elektron kısa bir SCRF doğrusal hızlandırıcısında 5 GeV enerji düzeyine hızlandırılacak ve daha sonra tesisin merkezinde bulunan 6.7 km uzunluğunda bir depolama halkasına sokulacaktır. Elektron halka içinde dolanıp senkrotron ışınımı yayarken, parçacık kümeleri sıkıştırılacak, yani hacimleri küçülecek ve (elektrik) yük yoğunlukları artacak; böylece parçacık demetinin şiddeti yükselecektir.
- Elektron kümeleri 200 milisaniye sonra sıkıştırma halkasından çıktıklarında her biri yaklaşık 9 mm uzunluğunda ve en ince insan saçından daha ince olacaklardır. ILC daha sonra ivmelenmesini ve bunun ardından dedektör içinde kendisine karşılık gelen pozitron kümesiyle çarpışmasını en uygun şartlarda elde etmek için her bir elektron kümesini 0.3 mm boyuta sıkıştırılacaktır. Sıkıştırma sırasında kümelerin enerjisi 15 GeV düzeyine yükseltilecek ve bunun ardından

11,3 km uzunluğundaki SCRF doğrusal hızlandırıcılardan birine enjekte edilip 250 GeV enerji düzeyine ivmelendirileceklerdir.

- Doğrusal hızlandırıcının ortasına geldiğinde, parçacıklar henüz 150 GeV enerjideyken, elektron kümeleri kısa bir süre için yollarından saparak pozitron kümelerini üreteceklerdir.
- Elektronlar, dalgalandırıcı adlı özel bir mıknatısın içine saptırılınca, enerjilerinin bir kısmını gama ışınları olarak yayacaklardır. Gama fotonları da dakikada 1000 kez dönen, titanyum alaşımından yapılmış bir hedef üzerine odaklanacaklar ve darbeler büyük miktarda elektron-pozitron çiftleri üretecektir.
- Pozitronlar, mıknatıslarla yakalanıp 5 GeV enerji düzeyine kadar hızlandırıldıktan sonra başka bir sıkıştırma halkasına sokulacak ve sonunda ILC'nin öteki tarafında bulunan ikinci ana SCRF doğrusal hızlandırıcısına gönderilecektir.
- Elektron ve pozitronlar 250 GeV düzeyine hızlandırılıp hızla çarpışma noktasına yaklaşırken, bir dizi manyetik alan "mercek", yüksek enerjili kümeleri 640 nanometre genişliğinde ve 6 nanometre yükseklikte düz şerit demetler haline getirilecektir.
- Çarpışmalardan sonra kümeler etkileşim bölgesinden çıkartılarak, "demet çöplüğüne" gönderilecek ve burada çarpacakları bir hedef parçacıkları soğurarak enerjilerini azaltacaktır. ILC'nin her alt sistemi teknolojinin sınırlarını zorlarken, ortaya zorlu mühendislik sınavı çıkaracaktır.
- Çarpıştırıcının sıkıştırma halkaları, bilinen elektron depolama halkalarında şimdiye kadar elde edilebilenden kat kat üstün demet kalitesi sağlamak zorundadır. Dahası, demet kalitesi sıkıştırma, hızlandırma ve odaklama evrelerinde de korunmalıdır. Çarpıştırıcının ayrıca gelişkin tanı sistemlerine, uç teknolojide demet ayar süreçlerine ve parçalarının son derece duyarlı bir biçimde konumlandırılmasına gereksinimi olacaktır. Pozitron üretecek olan sistemin yapımı ve nanometre ölçekli demetleri çarpışma noktasına nişanlamak da öyle kolayca gerçekleştirilebilecek işlerden değildir.
- Öte yandan, ILC içindeki çarpışmaların analizini yapacak dedektörlerin geliştirilmesi de ayrı bir sorundur. Örneğin, higgs bozonu ile öteki parçacıklar arasındaki etkileşimin şiddetlerini belirleyebilmek için dedektörlerin yüklü parçacıkların momentumlarını ve ortaya çıkış noktalarını, daha önceki

makinelere erişilebilenin kat kat üzerinde bir duyarlılıkla ölçmeleri gerekmektedir. Bilim insanları halen araştırmalara ILC'nin ortaya çıkaracağı yeni fiziğe devşirme olanağı sağlayacak yeni izleme ve kalorimetre sistemleri üzerine yoğunlaşmış durumundadır.

- Eğer tasarlanmış olan her şey yolunda giderse, 2020'li yıllarda ILC parçacık fiziğine güçlü bir ışık tutmayı başarabilecektir.

ILC ekibinin çarpıştırıcı için önerilen tasarımlarından biri üzerinde karar kılmış olmasına karşın, önümüzde daha çok planlama süreci vardır. Gelecek birkaç yıl içinde, bir yandan LHC yapacağı proton-proton çarpışmalarının sonuçlarını toplayıp incelerken, bir yandan da ILC tasarımının uygun bir maliyetle mümkün en iyi performansı sağlayacak biçimde inceden inceye geliştirilmesi gerekecektir.

Yine de planlamada gelmiş olan aşama LHC'deki bilimsel bulgular üzerinde daha ince araştırmalar gerektiren hedefleri ortaya koyar koymaz ILC'nin son hızla işe girişmesini olanaklı kılmaktadır. Bu iddialı projenin ortaya atılışı, geliştirilmesi ve tasarımı nasıl ki gerçek bir küresel iş birlik örneği oluşturmuşsa, yapımının ve yönetiminin de tümüyle uluslararası olması gerekmektedir [21,22].

2.5. TOP KUARK FİZİĞİ

2.5.1. Top Kuarkın Bulunuşu

1977'de, Fermilab'da Upsilon ailesinin bottom kuarkını keşfinden sonra, parçacık fizikçileri 3. aileyi tamamlayacak diğer kuarkın peşine düşmüşlerdir. Şubat 1995'de Fermilab Tevatron proton-antiproton ($p\bar{p}$) çarpıştırıcısındaki iki deneyde gözlenen, top kuarkın duyurulması ile SM'in 3. ailesi tamamlanmış oldu.

Güçlü, zayıf ve elektromanyetik etkileşme teorileri ve deneysel bilginin bir zenginliği, parçacık fizikçilerinin, top kuarkın nükleer altı maddenin temel bileşenlerinin sonuncusu olduğu beklentilerine yol açmıştır. Kuramsal olarak, top kuarkın bulunuşu Elektrozayıf teori bileşmesini gerektirmektedir. Deneysel olarak, top kuarkın bulunuşu, Z^0 bozonlarının değişim vasıtasıyla diğer parçacıklar ile etkileşen b kuarkları ve b kuarkının bozunma biçimleri yolu ile ortaya çıkmıştır. Top kuarkın bulunuşundan bir yıl

önce, gözlemlerin artışı sonucunda, $\sim 175 \text{ GeV}/c^2$ civarında bir kütle ile bir top kuarkın var olacağı ortaya çıkmıştı. 20 yıl boyunca, fikirlerin birleşmesini sağlayan ciddi bir test ile top kuark bulunmuştur. Dünya'nın en yüksek enerjili hızlandırıcılarından biri olan Tevatron'da 1.8 TeV enerjide olağandışı bir performansla yeterli sayıda top-antitop çiftinin yaratılması mümkün olmuştur. Bir top kuarkın, bir b kuarkı ve W bozonuna bozunmasında izlerin gözlenmesi, yüksek yetenekli dedektörlerle ve deney detaylarına yüksek derecede dikkat edilmesi ile mümkün olmuştur [23].

2.5.2. Top Kuarkın Özellikleri

1995'de ilk kez gözlenen top kuark, Parçacık Fiziği'nin Standart Modeli'nde 3.aile kuarklarının bir parçasıdır. Kuarklar arasında en büyük kütle ve en kısa yaşam süresine sahip olmaları nedeniyle, Big-Bang patlamasında en çok sayıda üretilen, sonra saniyenin çok küçük bir kesrinde bozunarak sahnedan ayrılan ve daha sonra da Tevatron'da fizikçilerin onu keşfetmesiyle tekrar ortaya çıkan top kuark çok popüler olmuştur.

Top kuark, sanılandan daha ağır kütleye sahip olması sebebiyle çok uzun süren bir dönem sonucunda bulunmuştur. CDF ve DØ işbirliği sonucunda, Tevatron proton-antiproton çarpıştırıcısının geniş data setlerinde, top kuarkın bulunması ile SM doğrulaması için önemli bir adım atılmıştır. Bu keşif, SM'i doğrulamakla kalmayıp, SM Ötesi Teorileri test etmek içinde önemli bir pencere olmaktadır. Top kuarkın, SM ötesi ya da başka bir deyişle yeni fiziğin doğasını anlamaktaki rolü kütlelerinden kaynaklanmaktadır [23].

Parçacığın kütlesi için CDF ve DØ'in en iyi ölçümleri şu şekilde verilmiştir [20]:

$$m_t = 178 \pm 8 \pm 10 \text{ GeV}/c^2 \quad (\text{CDF}) \quad (2.10)$$

$$m_t = 199 \pm 20 \pm 22 \text{ GeV}/c^2 \quad (\text{DØ}) \quad (2.11)$$

Top kuarkın kütlesi, Standart Model'in temel parametresidir. Top kuark, partneri diye adlandırılan bottom kuarktan ~ 40 kat daha ağır olan bir parçacıktır. Ayrıca tek bir top kuark, yaklaşık olarak bir altın atomu (Au^{79}) kadar ağırdır. Bu sebepten dolayı, top

kuarkın bir içyapısının olduğu düşünülmektedir; fakat SM bunu öngörmez ve günümüzde buna yönelik bir kanıt bulunamamıştır.

Top kuarkın kütlesi dışındaki diğer özellikleri:

- Yüğü $+2/3e$
- Spin $1/2$
- $SU(3)$ renk üçlüsü
- b kuarkın zayıf izospin partneri $T_3^t = 1/2$
- Beklenen yaşam süresi 0.5×10^{-24} sn

2.5.3. Top Kuarkın Üretilmesi ve Bozunumu

Top kuark üretim ve bozunumlarının tüm doğrudan ölçümleri, Fermilab Tevatron çarpıştırıcısındaki $p\bar{p}$ çarpışmalarında, CDF ve DØ deneyleri tarafından alınmıştır. 1996'da tamamlanan ilk çalışmalar, $\sqrt{s} = 1.8$ TeV'lik kütle merkezi enerjisinde Run I'de gerçekleştirilmiştir. En yeni ve en yüksek istatistikler, 2001'de çalışmaya başlayan, $\sqrt{s} = 1.96$ TeV'lik kütle merkezi enerjideki Run II'den gelen ölçümlerdir.

Temel olarak Run II'den gelen ölçümlere bakılırsa, Hadron çarpışmasında, top kuarklar $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$ ve $gg \rightarrow t\bar{t}$ QCD süreçleri yoluyla etkin olarak çift halinde üretilmiştir. 1.96 TeV'deki (1,8 TeV) enerjide, bu kanallardaki üretim tesir kesitinin, $175 \text{ GeV}/c^2$ kütle için, $q\bar{q}$ yok oluşundan, %85 (90%)'lık bir katkı ile yaklaşık olarak 7 pb (5pb) olması beklenir. Bir bakıma elektrozayıf tek-top üretim mekanizmasından beklenen daha küçük tesir kesiti $q\bar{q}' \rightarrow t\bar{b}$ ve $qb \rightarrow q't$ ile sırasıyla sanal s-kanalı ve t-kanalı W bozonları aracılığıyla sağlanmaktadır. 1.96 TeV'de tek-top süreçleri için birleşik oran, $m_t=175 \text{ GeV}/c^2$ için yaklaşık olarak 3pb'dir. Top kuarkın elektrozayıf tek top kanalındaki tespiti az ayırıcı iz ve önemli büyüklükteki background sebebiyle QCD $t\bar{t}$ kanalındakinden çok daha zordur.

Top kuark bozunumunda, W_s ve W_d 'nin son durumlarının CKM matris elemanları V_{ts} ve V_{td} 'nin karesi tarafından W_b 'ye göreceli olarak bastırılması beklenir. Üç nesil CKM matrisini birimsel varsayarak, bu matris eleman değerlerinin tahminen sırasıyla 0.043 ve 0.014'ten daha az olması olasıdır. W_b eşliğinin üzerindeki bir kütle ile ve V_{tb} 'nin birimine yakınlığı dolayısıyla top kuarkın bozunum genişliğinin iki elemanlı kanal

$t \rightarrow Wb$ tarafından hakim olunması beklenir. m_b^2/m_t^2 , α_s^2 ve $(\frac{\alpha_s}{\pi})M_W^2/m_t^2$ koşullarının gözardı edilmesiyle, NLO (Bir Sonraki Baskın Durum)'da Standart Model'deki genişliğin tahminen aşağıdaki gibi olduğu görülmüştür:

$$\Gamma_t = \frac{G_F m_t^3}{8\pi\sqrt{2}} \left(1 - \frac{M_W^2}{m_t^2}\right)^2 \left(1 + 2 \frac{M_W^2}{m_t^2}\right) \left[1 - \frac{2\alpha_s}{3\pi} \left(\frac{2\pi^2}{3} - \frac{5}{2}\right)\right] \quad (2.12)$$

Burada, m_t top kuarkın en uçtaki kütesini nitelemektedir. Genişlik kütleyle birlikte artarak, örneğin $m_t = 160 \text{ GeV}/c^2$ için $1.02 \text{ GeV}/c^2$ 'den, $m_t = 180 \text{ GeV}/c^2$ için ($\alpha_s(M_Z) = 0.118$ 'i kullanılır) $1.56 \text{ GeV}/c^2$ 'a kadar değişir. Üst kuarkın yaklaşık $0.5 \cdot 10^{-24}$ s'lik kısa ömürlü olmasıyla, top kuark içeren hadronlar ya da $t\bar{t}$ -quarkonium bağlı durumu oluşmadan önce, bozunumu beklenir.

Çift üretim süreci için son durumlar üç sınıfa bölünebilir:

- A. $t\bar{t} \rightarrow W^+bW^-\bar{b} \rightarrow q\bar{q}'bq''\bar{q}'''\bar{b}$ (%46.2)
- B. $t\bar{t} \rightarrow W^+bW^-\bar{b} \rightarrow q\bar{q}'bl\bar{\nu}_l\bar{b} + \bar{l}\nu_l bq\bar{q}'\bar{b}$ (%43.5)
- C. $t\bar{t} \rightarrow W^+bW^-\bar{b} \rightarrow \bar{l}\nu_l bl'\bar{\nu}_l'\bar{b}$ (%10.3)

Son durumdaki kuarklar, hadron jetlerine doğru yayılır. Sırasıyla A, B, C tüm jetler, lepton+jetler (l -jetler), ve dilepton (ll) kanallarını niteler. Hadronik düzeltmeler dahil bunların göreceli katkıları parantezler içerisinde verilmiştir. Yukarıdaki süreçlerle l ; e, μ , ya da τ 'yu nitelerken sonuçların pek çoğu e ve μ kanallarına dayanmaktadır.

$t\bar{t}$ çiftinin gözlemlenmesi, yukarıdaki tüm bozunum sınıflarında görülmüştür. Üç bozunum sınıfından çıkarılan top kuarkın üretimi ve bozunum özellikleri kendi deneysel belirsizlikleri içerisinde tutarlıdır. Özellikle, $t \rightarrow Wb$ bozunum modu, $l\nu_l b\bar{b}jj$ 'nin son durumunda özdeşleşen iki b-jet'li olaylarda $W \rightarrow jj$ sabit kütleli yeniden yapılanması tarafından desteklenir.

CDF ve DØ $t \rightarrow Wb$ dallanma oranının direk ölçümlerini bildirir. Lepton+jet kanalındaki 0, 1 ve 2 işaretli b jetleri ve çift-lepton kanalındaki CDF'deki olayların sayısı, bilinen b işaretli verimliliği de kullanılarak karşılaştırılırsa, $R = B(t \rightarrow$

$Wb)/\sum_{q=d,s,b} B(t \rightarrow Wq)$ oranı çıkartılabilir. $D\emptyset$, $t\bar{t}$ olay sayıları ve R oranı için eş zamanlı uyum sağlar. Son durumda tüm top bozunumların W bozonuna sahip olduğu varsayılır, sadece fermiyonların üç jenerasyonunun var olduğu ve CKM matrisinin birimsel olduğu düşünülürse CDF ve $D\emptyset$ 'da, CKM matris-elemanı $|V_{tb}|$ çıkartır [24].

2.5.4. Etkin Lagrangian Yaklaşımı

Parçacık fiziğinin Standart Model'i olağanüstü derecede başarılıdır. Çok hassas bir matematiksel çerçeveye sahiptir ve hemen hemen tüm fiziği içerir. Fakat SM, kütlelerin kökeni, CP ihlalinin nedeni gibi bazı temel sorulara cevap verememektedir. Bu sorulara yanıt verebilmek için SM ötesi yeni fiziğe ihtiyaç vardır. Etkin lagrangian yani modelden bağımsız yaklaşımı kullanarak bu Standart Model Ötesi modellere ulaşılabilir.

Top kuarkın çok büyük kütle ile bulunuşu fermiyon kütle spektrumunun daha zor anlaşılmasına neden olur ve bu da SM'in açıklamakta zorluk çektiği bir konudur. Simetri kırılması sektörü için büyük kütle, güçlü bağlaşıma neden olduğundan yeni fiziği araştırmak için bir olanak sağlayabilir. Zaten üçüncü aile ve ikinci aile arasındaki farktan dolayı bağlaşım sabitinin de farklı olması top kuarkın bozunum ve yaratılma süreçlerinden anlaşılabilir. Bu ise yeni fiziğin çok uzak olmadığı umudunu vermektedir.

Parçacık Standart Model'inde yeni fizik için kuramsal yaklaşım, *modele bağlı* ve *modelden bağımsız* olmak üzere iki farklı alana ayrılır. Modele bağlı yaklaşım için önde giden aday Minimal Süpersimetrik Standart Model'dir. Bunun dışında simetri kırılmasına dayanan teknirenk modeli, top renk modeli, sol-sağ modeli, top renk yardımcı teknirenk model sayılabilir. Modelden bağımsız yaklaşım ise *Etkin Lagrangian* yaklaşımıdır. Teorik yapısı şöyle tanımlanır: Standart Model'in çok üzerinde enerjiler düşünelim ve bir alt simetri gibi Standart Model'i içeren, büyük simetrlili bir Büyük Teori (GT - **G**rande **T**heory) olduğunu farz edelim. Büyük teorinin simetrisi birkaç TeV enerji skalasında kırılmış olsun. Böylece Standart Model Büyük Teori'nin düşük enerji limiti olur. Birkaç TeV'den birkaç yüz GeV'lik enerjiye kadar çok geniş bir skala bölgesi için simetri kırılması;

$$GT \xrightarrow{V_a \sim \text{birkaç TeV}} SM (SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y) + R_{SM} + R_{NSM}$$

Burada, R_{SM} ve R_{NSM} simetri kırılmasından sonra SM'den geriye kalmış iki parçacığı gösterir. R_{SM} Standart Model simetrisine sahiptir ve Standart Model alanlarından meydana gelmiştir. R_{NSM} 'de geriye kalanını içerir.

R_{SM} ve SM, $v_0 \approx 250 \text{ GeV}$ elektrozayıf enerji skalasında birlikte simetri kırılımına uğrarlar [25].

$$SM \ \& \ R_{SM} \xrightarrow{v_0} SU(3)_C \times U(1)_Y$$

R_{NSM} yeni parçacık ve yeni etkileşmeleri içerir [25].

2.6. CKM-BASTIRILMIŞ TOP KUARK BOZUNUMLARI

Deneysel verilerin göstermiş olduğu gibi, kuark ve leptonların ayar bozonları ile etkileşmelerinin $SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y$ ayar teorisi tarafından doğru bir şekilde tanımlanmış olduğu görülmektedir [26]. En düşük mertebede (Ağaç seviyesinde), SM yüksüz etkileşmeleri diyagonaldır. Çevrim (döngü) seviyesinde Çeşni Değiştiren Yüksüz Akımlar (FCNC) ortaya çıkabilmektedir [27]. SM'de, Çeşni Değiştiren Yüksüz Akımlar ile top kuark bozunumları GIM mekanizması ve CKM tarafından yüksek derecede bastırılmıştır [28]. Her ne kadar top kuarkla ilgili süreçlerde SM tahminleri güçlü bir şekilde bastırılmışsa da, buna karşılık gelen deneysel sınırlamalar oldukça zayıftır [29]. Daha önceki bölümlerde bahsedilmiş muazzam bir çarpıştırıcı olan LHC'de nadir top kuark bozunumlarını incelemek önemlidir. LHC'de, her yıl yaklaşık olarak $10^7 - 10^8$ top kuark çifti üretimi meydana gelecektir. Bu durum, dolayısıyla $t \rightarrow b W$ bozunumundan farklı mümkün top kuark bozunumlarını araştırmaya izin verecektir [30].

Elektrozayıf Simetri Kırınımı (EWSB) enerji skalasına yakın kütlesi ile şimdiye kadar gözlenmiş en ağır maddesel parçacık olan top kuarkın, çok ağır kütlesinden dolayı, yüksek enerji skalalarında, SM Ötesi Fiziği anlamının ipuçlarını vereceği düşünülmektedir.

2.6.1. SM ve Ötesinde Top Kuark Bozunumları

$t \rightarrow q' W$ kanalının bozunum ürünlerinin direk gözlenmesi, CKM matris elemanlarının tanımlanması için bir yol olarak ele alınabilir. Aksi durumda elde edebilmek için B fiziği kullanılarak tek-döngülü süreçlerden çıkarmak zorunda kalınır.

CKM karışım açıları şu şekildedir:

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = V_{CKM} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix} \quad (2.13)$$

Diğer nadir bozunumlar için araştırmaların SM Ötesi Fiziği araştırmak için önemli rol oynayacağı düşünülmektedir.

SM bozunumlarında $t \rightarrow b W$ en baskın olan bozunumdur. Bozunumların hemen hemen %100'de bu bozunum görülmektedir. Top kuarkın toplam bozunum genişliğini veren ifade aşağıdaki verildiği gibidir [30];

$$\Gamma_T = \Gamma(t \rightarrow b W) \cong 0.17 GeV |V_{tb}|^2 \frac{m_t^3}{m_W^3} \cong 1.55 GeV \quad (2.14)$$

Diğer bozunum kanallarının oranı SM'de 100-1000 kat kadar daha düşük ihtimal taşırlar. W bozonunun fermiyon çiftlerine bağlaşımı, CKM matris elemanlarının karesi ile orantılı olması SM'in yapısından kaynaklanmaktadır.

$$Br(W \rightarrow qq') \propto |V_{qq'}|^2 \quad (2.15)$$

$$Br(W \rightarrow qW) \propto |V_{tq}|^2 \quad (2.16)$$

Dolayısıyla $t \rightarrow b W$ bozunumunun dallanma oranı (BR) diğerlerine göre oldukça baskın olduğu görülmektedir. Bu tezde, hem SM de hem de SM Ötesi diye adlandırılan diğer uzantılarında, $t \rightarrow b W$ modu için radiative düzeltmeler incelenmiştir. Bu sebepten dolayı hadron çarpıştırıcılarında dedekte etmek zordur. Daha önceki bölümlerde tasarımından bahsedilmiş olan ILC'de daha hassas bir şekilde dedekte edileceği düşünülmektedir [4].

Tablo 2.8: SM ve Ötesinde bazı CKM-bastırılmış ve FCNC top kuark bozunumları için dallanma oranları [31]

| BR | SM | THDM-III | MSSM |
|--|-----------------------|---------------------|---------------------|
| $\mathbf{BR}(t \rightarrow sW)$ | 2.2×10^{-3} | $\sim 10^{-3}$ | $10^{-3} - 10^{-2}$ |
| $\mathbf{BR}(t \rightarrow c\phi^0)$ | $10^{-13} - 10^{-15}$ | $\sim 10^{-2}$ | $10^{-5} - 10^{-4}$ |
| $\mathbf{BR}(t \rightarrow c\gamma)$ | 5×10^{-13} | $< 10^{-6}$ | $< 10^{-7}$ |
| $\mathbf{BR}(t \rightarrow cZ)$ | 1.3×10^{-13} | $< 10^{-6}$ | $< 10^{-7}$ |
| $\mathbf{BR}(t \rightarrow cg)$ | 5×10^{-11} | $< 10^{-6}$ | $< 10^{-5}$ |
| $\mathbf{BR}(t \rightarrow c\gamma\gamma)$ | $< 10^{-16}$ | $\sim 10^{-4}$ | $< 10^{-8}$ |
| $\mathbf{BR}(t \rightarrow cWW)$ | 2×10^{-13} | $10^{-4} - 10^{-3}$ | ?? |
| $\mathbf{BR}(t \rightarrow cZZ)$ | -- | $10^{-5} - 10^{-3}$ | ?? |
| $\mathbf{BR}(t \rightarrow bWZ)$ | 2×10^{-6} | $\cong 10^{-4}$ | ?? |

SM Ötesi senaryolar, örneğin SUSY ve İki Higgs Çiftlisi Modelleri (THDM-III), bol (zengin) top kuark FCNC bozunumları gözlenebilir Dallanma Kesri sağlar. Nadir top kuark bozunumu araştırmaları, SM top kuark bozunumları $t \rightarrow b W(\rightarrow qq')$, FCNC ($t \rightarrow q X$, $X = \gamma, Z, g$) vasıtası ile bir nadir bozunum tarafından yarı-leptonik $t\bar{t}$ örnekleri içinde yapılacaktır [28].

SM ve SM Ötesi Modellerden olan SUSY'den ve THDM-III alınan bazı tipik sonuçlar Tablo 2.8'de gösterildiği gibidir.

2.6.2. SM'de ve Sağ El (RH) Akımlarıyla Top Kuark Bozunumları

Her ne kadar $t \rightarrow s + W$ bozunumunun SM'de bastırılması beklense de, yeni fiziği (örnek olarak Sağ-Sol (LR) modelleri veya SUSY) bu durum için ILC'nin sınırları içinde kılabilir şekilde bir geliştirmeyi sağlaması mümkündür. Bu ise CKM matris elemanı V_{ts} 'nin en düşük mertebeden belirlenmesi olasılığını verecektir. Aksi takdirde, bundan sonra tartışılacağı gibi *tek - döngülü* süreçleri kullanarak B- fiziğinden çıkartılması gerekir [4].

2.6.2.1. Standart CKM ile $t \rightarrow s + W$ Bozunumu

İkinci en olası bozunum, Cabibbo-Kobayashi-Maskawa (CKM) diyagonal olmayan bozunumlar $t \rightarrow q' W$ ($q' = s, d$), matris eleman $|V_{tq'}|$ ile orantılıdır. Yani diğer olası

bozunumlar $t \rightarrow s W$ ve $t \rightarrow d W$ şeklindedir. Top kuark baskınlığının aşağıdaki SM sınırlamasını verdiği varsayılmaktadır [8, 32]:

$$|V_{ts}| \cong (40.6 \pm 2.7) \times 10^{-3} \quad , \quad |V_{td}| \cong (7.4 \pm 0.8) \times 10^{-3} \quad (2.17)$$

Genel bir bozunum kanalı için dallanma oranı $B(t \rightarrow \dots)$ [30];

$$B(t \rightarrow \dots) = \frac{\Gamma(t \rightarrow \dots)}{\Gamma(t \rightarrow b W)} \quad (2.18)$$

Şeklinde verilmektedir. O zaman SM'de CKM-bastırılmış $t \rightarrow q' W$ ($q' = s, d$) bozunumlarına karşı gelen dallanma oranı kesri aşağıdaki gibi olması gerekmektedir:

$$B(t \rightarrow q' W) = \frac{\Gamma(t \rightarrow q' W)}{\sum_q \Gamma(t \rightarrow q W)} \approx |V_{tq'}|^2 \quad (2.19)$$

Denklem (2.19)'da görüldüğü gibi yaklaşık olarak dallanma oranı matris elemanının karesine eşittir. Sırasıyla bozunumların dallanma oranları;

$$B(t \rightarrow s W) \sim 1.6 \times 10^{-3} (q' = s) \quad (2.20)$$

$$B(t \rightarrow d W) \sim 1 \times 10^{-4} (q' = d) \quad (2.21)$$

2.6.2.2. Sağ El (RH) Top Kuark Çiftlenimleri ile $t \rightarrow W+s$ Bozunumu

Bozunum kanalının genişliği çalışmasında, $t \rightarrow s W$, bir LR karışım açısı ξ 'ye parametrize olan ve Etkin Lagrangian yaklaşımı kullanılan birleşmiş genel sağ eli akımın varlığı göz önünde tutulmaktadır. $t \rightarrow s W$ bağlaşımlarından gelen $t \rightarrow s W$ genişliği, $b \rightarrow s \gamma$ bozunumlarından oluşmaktadır. ($B \rightarrow X_s \gamma$)

Standart Model ve Standart Model Ötesinden gelen katkıların her ikisi de dikkate alınarak(RH bağlaşımlarından gelen) aşağıdaki ifade elde edilir;

$$B(B \rightarrow X_s \gamma) = B^{SM}(B \rightarrow X_s \gamma) + B^{NP}(B \rightarrow X_s \gamma) \quad (2.22)$$

SM katkıları göz önüne alındığında, tüm bir diğer bir sonraki baskın durum (NNLO) etkilerini içeren *Neubert* sonuçlarını kullanılır. NP katkıları için yukarıda verilmiş *Kagan* ve *Neubert*'in hesaplamaları seçilmektedir. Eğer $B(B \rightarrow X_s \gamma)$ 'yı deneysel sonuçlarla belirtilirse, bir önceki eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$B^{exp}(\delta) = |V_{ts}^* V_{tb}|^2 \left[\frac{B^{SM}(B \rightarrow X_s \gamma)|_{E_0=1.8 \text{ GeV}}}{(0.0404^{+0.0016}_{-0.0006})^2} + \frac{X_{LR}}{(0.953 \pm 0.0195)^2} \cdot \frac{B(B \rightarrow X_c \nu)}{0.105 |V_{cb}|^2} \right] \quad (2.23)$$

Burada;

$$X_{LR} = B_{77}(\delta) |r_7^R|^2 + B_{88}(\delta) |r_8^R|^2 + B_{78}(\delta) \text{Re}(r_7^R r_8^{R*}) \quad (2.24)$$

Ve SM tahminleri;

$$B^{SM}(B \rightarrow X_s \gamma)|_{E_0=1.8 \text{ GeV}} = (3.38^{+0.31}_{-0.42} \pm 0.31) \times 10^{-4} \quad (2.25)$$

ifadesini verir.

X_{LR} 'nin, denklem (2.23), tanımına giren Wilson katsayılarını sayısal olarak hesaplayabilmek için aşağıdaki ifadeler kullanılmaktadır:

$$C_7^{SM}(m_W) = F(x_t), C_8^{SM}(m_W) = G(x_t), C_7^R(m_W) = \xi \left(\frac{m_t}{m_b} \right) \bar{F}(x_t), \text{ ve } C_8^R(m_W) = \xi \left(\frac{m_t}{m_b} \right) \bar{G}(x_t) \quad (2.26)$$

burada $F(x_t)$ ve $G(x_t)$ *Inami – Lim* döngü fonksiyonlarıdır ve ξ , sol – sağ simetrik modelinin W_L ve W_R yüklü ayar bozonları arasındaki karışım açısını göstermektedir. *Inami – Lim* fonksiyonlarının hesaplanmasında $m_t=174 \text{ GeV}$ 'i kullanılmaktadır.

Şimdi, Belle deneyi tarafından verilmiş olan, $B \rightarrow X_s \gamma$ 'nin en son deneysel ölçümlerini göz önüne alalım:

$$B^{exp}(\bar{B} \rightarrow X_s \gamma)|_{E_0=1.8 \text{ GeV}} = (3.38 \pm 0.30 \pm 0.29) \times 10^{-4} \quad (2.27)$$

Eğer denklem (2.22)'daki yeni fizik katkıları alınmazsa, denklem (2.17)'de verilmiş olan $|V_{ts}|$ 'nin değerinin tekrar elde edildiği kolaylıkla görülür.

Şimdi, $B(B \rightarrow X_s \gamma)$ 'nin deneysel değeri denklem (2.22)'nin içine eklenebilir ve ξ ($|\xi| < 0.05$) katsayısının (parametresinin) değişiklik göstermesine izin vermekle $|V_{ts}|$ 'nin değiştirilmiş değerleri türetilebilir. $|V_{cb}|=41.6 \times 10^{-3}$ ve $B(B \rightarrow X_c \nu) = (10.75 \pm 0.16) \%$. Buna karşılık gelen sonuçlar Tablo2.9'da gösterilmiştir. Aynı zamanda yine aynı tabloda;

$$B(t \rightarrow s + W) = |V_{ts}|^2(1 + \xi^2) \quad (2.28)$$

ifadesine bağılı olarak hesaplanmış olan RH akımlarıyla SM'in uzantılarında $t \rightarrow sW$ dallanma oranlarının değerleri gösterilmiştir [4].

Tablo 2.9: Deneysel $B \rightarrow X_s \gamma$ sınırlamalarını kullanmakla Sağ-Sol El (LR) modelinde $t \rightarrow sW$ için dallanma kesirleri [4]

| $ \xi $ | $ V_{ts} $ | $B(t \rightarrow s + W)$ |
|---------|-----------------------|--------------------------|
| 0 | 40.4×10^{-3} | 1.63×10^{-3} |
| 0.01 | 34.9×10^{-3} | 1.22×10^{-3} |
| 0.02 | 26.3×10^{-3} | 0.69×10^{-3} |
| 0.03 | 20.0×10^{-3} | 0.40×10^{-3} |
| 0.04 | 15.9×10^{-3} | 0.25×10^{-3} |
| 0.05 | 13.1×10^{-3} | 0.17×10^{-3} |

Böylece, LR karışım açısı ξ 'nin tüm etkilerinin, $B(t \rightarrow s + W)$ için tahmini, azaltacağı sonucuna varılabilir. Bu etki oldukça büyüktür. Tam tersine, eğer $B(t \rightarrow s + W)$ 'nin SM tahminleri ile yakın bir anlaşma içinde olduğu bulunursa, bu LR karışım açısı üzerinde çok güçlü bir sınırlamayı açıkça gösterirdi.

2.6.3. MSSM'de $t \rightarrow q + W$ Top Kuark Bozunumları

Güçlü ve Elektrozayıf etkileşmelerin Standart Modeli yüksek enerji fiziği olgularının tanınması için en başarılı tasarım olarak görülmektedir. Bununla beraber temeli inşa edilmiş büyük parçacıklardan biri (Higgs bozonu) henüz deneysel olarak bulunmamıştır. Bir diğer deyişle SM'in hala teorik olarak bazı yetersizlikleri vardır. Higgs bozonunun kütesine radiative düzeltme yapılmasından dolayı Higgs alanının varlığının neden olduğu elektrozayıf ve Planck enerji skalaları arasındaki aşırı fark hiyerarşi problemine neden olur. Dolayısıyla hiyerarşi problemi yüzünden zarar görmektedir [33].

SUSY'de fermiyonlar ve bozonlar arasında bir simetri olduğu kabul edilir. Bu simetriye süpersimetri adı verilmektedir. Bu simetrimin jeneratörleri, bir spinöre bağılı (J) durumundan (J-1/2) durumlarına kadar olan durumları ve Poincare jeneratörlerini içerir. SUSY'nin çok çekici özellikleri olduğu bilinmektedir. SM'in en küçük süpersimetrik

uzantısı, Minimal Süpersimetrik Standart Model, ayar bağlaşımlarının birleştirilmesine izin verir ve radiative düzeltmeler altında çok kararludur. Bu özelliğinden dolayı hiyerarşi problemini çözebilmektedir. Ayrıca, tau-bottom Yukawa birleşimlerini tahmin etmektedir. Karanlık madde problemini çözmek için iyi bir adaydır [4].

SUSY farklı yollar ile top kuark bozunumlarına etkiyebilir [30]. SUSY'in varlığı, iki yol içinde toplam top kuark genişliğine etkiyebilir. SM'in bütün hepsi içinden beklenmeyen radiative düzeltmelerinin ilki $t \rightarrow W b$ sürecidir. İkincisi SUSY parçacıklarının bazıları top kuarkın kendisinden daha hafif olabilirler. Böylelikle top kuarkın bozunabilmesi için yeni kanallar sağlanır [33].

2.6.4. ILC'de Top Kuark Bozunumlarının Dedekte Edilmesi

Top kuarkın özelliklerinin ve dinamiği üzerine yapılan çalışmalar, Elektrozayıf Simetri Kırınımı Mekanizmasına harika bir pencere sağlamaktadır. Top kuarkın büyük kütlelerinin, Elektrozayıf Simetri Kırınımı Mekanizmasında özel bir rol oynadığı düşünülmektedir. Böylelikle, yeni fiziğin EWSB bağlantısı, top kuarkın gözlenebilir ilk hassas çalışmalarında bulunabilir. Tevatron Run II, LHC ve ILC'de, top kuarkın özelliklerini kesin bir şekilde ölçmek ve onun dinamiği hakkında çalışmak bu nedenle çok önemlidir [34].

Tüm sistemin tasarımı için gereksinim duyulan parametreler, $\sqrt{s} = 500$ GeV'lik maksimum kütle merkezi enerjisi ve $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 'lik bir tepe değer ışınlığı seçilmiş bulunmaktadır. Toplam hızlandırıcı uzunluğu 31 km civarındadır; iki yüz yüze doğrusal hızlandırıcı, ana linaclar, 23 km'lik bir birleştirilmiş uzunluk boyunca, elektron ve pozitron ışınlarını 15 GeV'lik enerjiden 250 GeV'lik enerjiye veya daha sonra son ışın enerjisine kadar hızlandırılacaktır. Elektron kaynağı, yavaşlatma halkaları ve yedek pozitron kaynağı etkileşme bölgesi (Interaction Region) çevresinde merkezi olarak yerleştirilmesi planlanmıştır. Yavaşlatma halkalarının tabanı girişimi önlemek için ışın taşıyıcı sistemin 10 m yukarısına kadar kaldırılmıştır. Ana hat yapılandırması bundan başka yaklaşık olarak 1 TeV'lik enerjilere bir yükseltme ihtimalini öngörmektedir. Hızlandırıcıyı $E_{cms} = 1$ TeV'e yükseltebilmek için, linaclar ve yavaşlatma halkalarından ışın taşıma çizgilerinin her biri 11 km uzatılabilecektir.

Hadron çarpıştırıcılarında, yeni parçacıklar keşfedebilmek için genellikle yararlı olan en yüksek kütle merkezi enerjisine ulaşmak teknik olarak mümkün iken, e^-e^+ çarpışmalarında ise dikkate alınan bir ölçüm için en yüksek hassasiyette sonuç elde edilebilmektedir. ILC’de ölçülecek fiziksel parametreler için yüksek hassasiyet, özellikle kesin olarak belirtilmiş başlangıç şartları olan noktasal nesnelere çarpışmalarıyla, ayarlanabilir çarpışma enerjileriyle ve kutuplanmış ışınlar ile çalışma mümkün olacaktır.

Ağır kuarklar, b -jetleri ve c -jetleri, kütleleri ve uzun yaşam ömürleri gibi çok iyi bilinen belirli özellikler kullanılarak işaretlenmiştir. Hafif – kuark jetlerini işaretlemek çok daha zordur ama bu, yine de CKM matris elemanlarının anlamlı ölçümlerini elde edebilmek için gereklidir. Şu andaki çalışmada kullanılan teknik, Büyük Çeşni İşaretleme Methodu (LFTM) olarak adlandırılan yöntemdir. Momentumun büyük bölümü $x_p=2p/E_{cm}$ ile parçacıklar kendi ilk çeşnileri hakkında bilgi taşırlar. O zaman fonksiyonların bir sınıfını tanımlamak mümkündür: bir q çeşnili kuark için, olasılığı temsil eden $\eta_p^i(x_p^i)$, i 'nin en büyük $x_p=2p/E_{cm}$ ’ ye sahip olduğu parçacık durumunda, bir jet içinde gelişmiş bir çeşni q 'nun bir kuarkı için olasıdır. İşaretleme verimlilikleri, tek ve çift işaretlemelerini değerlendiren Z^0 'ın bir örneğini kullanan hadronizasyon modeline hemen hemen hiç ihtiyaç duymaksızın sağlamaktadır. Hesaplamaları basitleştirebilmek için hadronizasyon simetrisi tanıtılmış bulunmaktadır. Hadronizasyon simetrisi aşağıdaki denklemde gösterilmektedir [4]:

$$\eta_d^{\pi^\pm} = \eta_u^{\pi^\pm}, \quad \eta_s^{K^\pm} = \eta_s^{K^0}, \quad \eta_d^{e^\pm} = \eta_u^{e^\pm} \eta_d^{\Lambda(\bar{\Lambda})} = \eta_u^{\Lambda(\bar{\Lambda})} \quad (2.29)$$

SM içerisinde, $W b$ eşliğinin üstünde bir kütleyle, bir top kuarkın iki – cisim süreci ile baskın kılınmış bir bozunum genişliğine sahip olduğu tahmin edilmiştir: $t \rightarrow W b$ ($Br \simeq 0.998$). O zaman bir $t\bar{t}$ çifti, temel olarak $WbWb$ ye bozunacaktır.

$$\sigma(e^+e^- \rightarrow t\bar{t}) \times Br(t\bar{t} \rightarrow b\bar{b}W^+W^-) = 7.4 fb \quad (2.30)$$

CKM – bastırılmış top kuark bozunumu $t \rightarrow s W$ ’yu incelemekle ilgilendiğimize göre, sırasıyla;

$$2(1 - Br_{t \rightarrow Ws})Br_{t \rightarrow Ws} \cong 2Br_{t \rightarrow Ws} \quad (2.31)$$

ve $Br_{t \rightarrow Ws}^2$ 'lik bir olasılıkla var olan $t\bar{t} \rightarrow WsWb$ ve $t\bar{t} \rightarrow WsWs$ ' ye bakılacaktır. Bu bozunum modları topolojik son durumlarına bağılı olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Her iki W bozunumunun leptonik olduğu, kuark hadronizasyonundan (b veya s) ve dedekte edilmemiş nötrinolardan gelen kayıp enine enerji $E_T^{kayıp}$, den ortaya çıkan 2 jetle, çiftlepton modeli;
- Bir W 'nin leptonik olarak bozunduğu ve diğerinin $E_T^{kayıp}$ ve 4 jetle kuarklara bozunduğu, lepton + jetler modeli;
- Her iki W 'nin ilişkili olmayan $E_T^{kayıp}$ ve 6 jetle kuarklara bozunduğu tüm jetlerin modeli.

Analizlerde, son durumda τ leptonlarını gözönüne almadan top çift-lepton bozunum üyeleri için araştırılmaktadır. Olayların, iki yüksek $-p_T$ leptonları ve Z^0 kütle penceresi dışında yeniden inşa edilmiş bir $M_{\ell^+\ell^-}$ çift lepton değişmez kütesine sahip olmaları istenmiştir. Jet – işaretleme gereksinimleri şunlardır: fazladan bir b -jetinin varlığına ve aynı zamanda etiketlenmiş bir c -jetinin varlığına engel olan, etiketlenmiş bir b -jetidir. s -jetlerinin diğer hafif kuarklardan ayırımı büyük bütünleştirilmiş aydınlanmayı ve aynı anda çalışan iki deneyi varsaymakla, $t \rightarrow s W$ süreci için 10^{-3} e kadar bir dallanma oranı duyarlılığının başarılabilir olduğu bulunmuştur. Bu, $t \rightarrow s W$ top kuark bozunum kanalında SM'in ötesinde fizik için araştırmayı mümkün kılmaktadır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

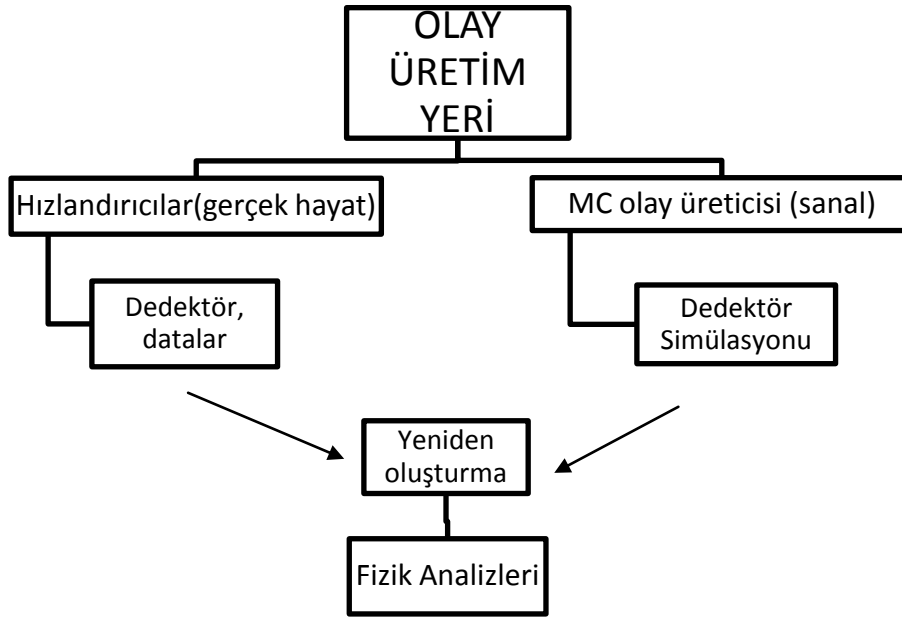
3.1. MONTE CARLO YÖNTEMİ

Yüksek enerji deneylerinde, hızlandırıcılar içinde temel parçacıklar kafa-kafaya çarpıştırıldığında, kararsız parçacıklar yaratılırlar. Bu parçacıklar kararsız olduklarından çok çabuk bozunurlar. Birçok alt dedektörden oluşan karmaşık dedektörler tarafından alınan ölçümler, çarpışma sonucu meydana gelen olayın şeklini tekrar yaratmayı gerektirir. Büyük ve etkileyici deney dedektörleri yapım malzemeleriyle birlikte her bir alt dedektörün ince ayrıntılarını yeniden üreten tam simülasyon sisteminin yardımıyla tasarlanabilir ve ayarlanabilir. Deneysel sonuca referans olarak etki eden simülasyon verisinin yardımı olmadan veri analizi veya fizik yorumu yapılamaz. Böyle bir durum, deney öncesi ve sonrası olası durumları göz önünde bulundurmak için simülasyonu gerektirir. Olay üreticileri bugün, LHC deneyindeki gibi yüksek enerjilerdeki her olay başına yüzlerce parçacık üretimi yapan karmaşık fizik süreçlerini modellemek için vazgeçilmez bir alettir. En temel düzeyde bir Monte Carlo (MC) olay üretici, doğada meydana geldiği olasılıkta parçacık fiziği olaylarını simüle eden, doğanın kesin bir şekilde temsili denilebilecek bir programdır [35].

J. D. Bjorken, Almanya Münih'deki Max Plank Fizik Enstitüsü'nün 75.yıl dönümü kutlamasında verdiği bir konuşmada Monte Carlo Simülasyonu hakkında şöyle söylemiştir [36]:

“Monte Carlo simülasyonu, yalnızca dedektör performansını değil aynı zamanda fiziksel olayları da hayalinde canlandırmanın temel yolu olmuştur. Şu ana kadar her şey güzel. Ama çoğunlukla fiziksel simülasyonlar, kendi data setlerinin otositesini taşıyan Monte Carlo üreticileri tarafından sağlanmaktadır. Onlar dataya benzer ve data gibi hissedilir, ve eğer birisi dikkatli değil ise onları dataymış gibi kabul eder.”

Tablo 3.1.Simülasyon ve data analizinde temel basamaklar



Monte Carlo dataları, yeniden yapılandırma ve fizik analizleri içinde gerçek datalar gibi işleme tabi tutulur. Bu durum, gerçek hayatta ölçülen datalar ile simülasyonda elde edilen dataları kıyaslamaya ve sonuçlar hakkında en iyi yorumda bulunabilmeye olanak sağlar [35].

Yüksek enerji çarpışmalarında meydana gelen etkileşimlerin tüm sahneleri, MC olay üreticisi ile simüle edilebilir. Bu süreçler [37]:

- Sert Süreç;
- Parton Yağmuru;
- İkincil Bozunumlar;
- Hadronizasyon;
- Çoklu Saçılmalar, Soft Taban Olayları;
- Hadron Bozunumları;

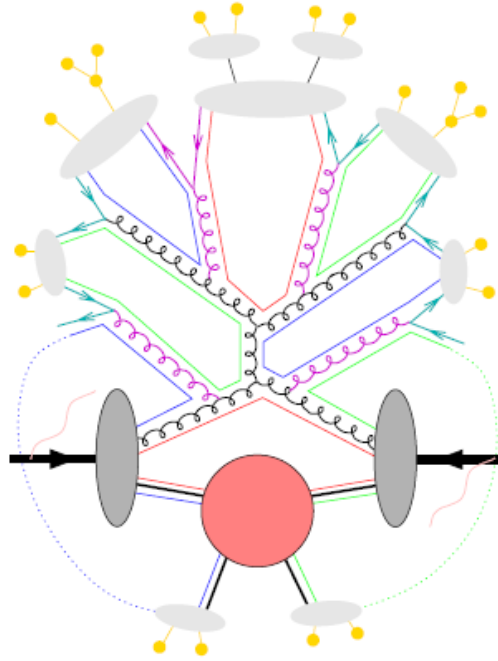
Her MC olay üreticisi, gerçek dünyadaki hızlandırıcı merkezlerinde (örneğin Tevatron ve LHC) yaratıldığı gibi bir olay üretimini oluşturur. İlgilenilen bir deneydeki sert/soft saçılmalarından meydana gelen son durum parçacık setini içeren olayları üretirler. Gerçek

deneylerde ise tipik olarak çarpışma ışınları milyonlarca demet geçidinde sert bir saçılmaya maruz kalırlar. Gerçek dünyadan farklı olarak MC simülasyonunda, ilgilenilen gerçek olayların üretimi karşıt bir biçimde devam eder. Olay üreticileri, sert saçılmaların onlardan gelen son durum parçacık sonuçlarını meydana getirdiğini ve ürettiğini kabul etmektedir. İş ve detayların hesaplanması, etkileyici bir miktarda olmasına rağmen yine de olay yapısının anlaşılması eksik kalmaktadır. Bu boşluğu birkaç model içinde doldurmak, gerçek datalardan gelen bu modelleri girişlere dahil etmek gereklidir. Bu boşluk ancak gerçek bir olayı, mümkün olan en iyi şekilde taklit etmesi için oluşturulan MC ile sağlanır.

Monte Carlo simülasyonunun kullanılma sebepleri [35];

- Doğadaki gibi, olaylardaki tüm detayları üretmek istemek; doğru ortalama ve dalgalanmaya sahip olmayı, rastgele sayılarla olay üretimi yapmayı, parçacığın çeşni, kütle, momentum, spin, üretim köşesi, yaşam ömrü gibi çeşitli değişkenlerini seçmeyi gerektirir.
- MC simülasyonu, kodların ulaşması için dedektörler boyunca uygulanmaktadır: geometrik kurgu içinde parçacıkların bıraktığı izi bulmak ve onların madde ile etkileşmelerini görmek ister (örneğin; kayıp enerji, çoklu saçılmalar, manyetik alan). Dedekte etme süreçleri ve verilmiş bir dedektörün yanıtını simüle etmek ister. Etkileşme olayları tahminidir; bu nedenden ulaşım sürecidir.
- Monte Carlo simülasyonu çok güzel bir simülasyon yöntemidir. Çünkü sonuçları hesaplamak için rastgele denemelere bağlı bir sayısal algoritmadır.
- Aslında bir yüksek enerji deneyinde MC simülasyonu, her biri verilmiş alanda uzmanlaşmış, tüm resmi bir arada sağlamaya çalışan farklı bir MC derlemesidir.

MC olay üretiminde temel adımlar, kolaylıkla hadron-hadron tipi çarpışmalarının fiziğini anlayarak açıklanabilir. İlgilenilen tipik bir olay, iki partonun birbirlerine doğru hızlandırılıyor olduğu süreçtir. Bu olay, bir vektör bozon değişimi vasıtası ile meydana gelen sert bir süreçtir; sonuç olarak da iki parçacık ortaya çıkmaktadır. Buradaki partonların ilk ve son durumları, $2 \rightarrow 2$ sert saçılma matris elemanları ile tanımlanır. Bir hadron-hadron çarpışmasında olay yapısı, Şekil 3.1'deki gibi resimlenmektedir.



Şekil 3.1: Bir $p\bar{p}$ çarpışmasında partonların sert saçılmasını, sağnak sürecinin gelişimini, soft taban olaylarını ve renk akışını resmeden olay yapısı

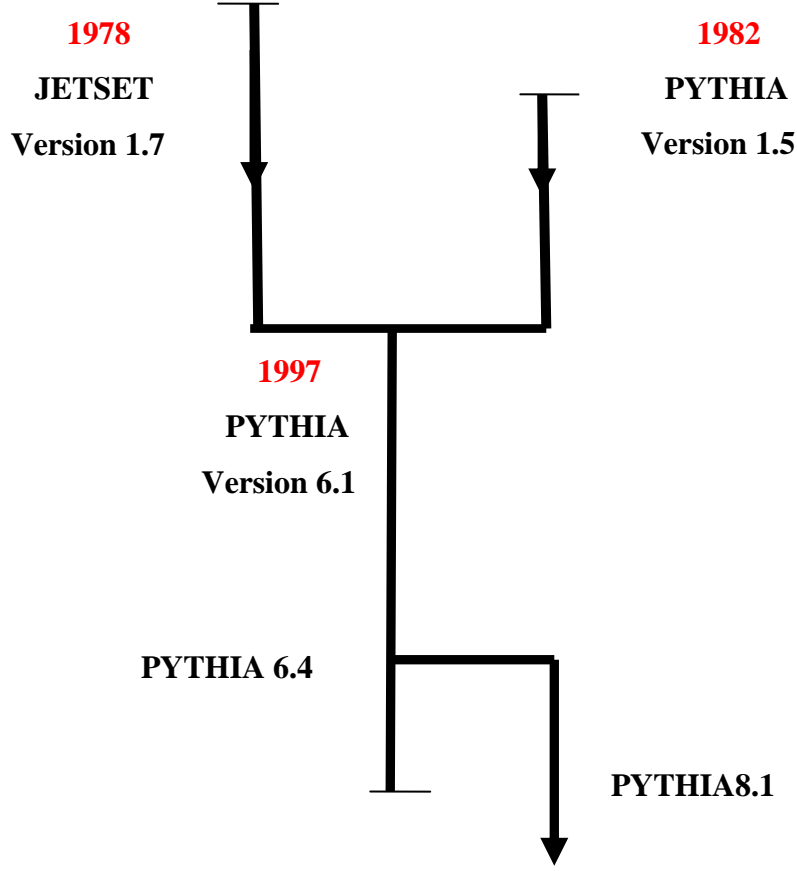
$p\bar{p}$ çarpışmalarında süreçler çok karışıktır. Her hadron (proton ve antiproton), ilk durum hadronlarının momentumunu bir bölümünü taşıyan partonlardan (kuarklar ve gluonlar) yapılan bileşik nesnelere. Onların momentumları Parton Dağılım Fonksiyon tarafından tanımlanır. Bir manyetik alanda hızlandırılan partonlar, ilk durum ışınımı ile sonuçlanan etkileşmeye maruz kalırlar. ($q \rightarrow qg$). Ayar bozonları gibi kısa ömürlü rezonansların bir takımı ile sonuçlanan bir sert saçılma, gelen her hadronun partonundan biridir.

Bu analizler için bazı kullanılan Monte Carlo olay üreticileri şunlardır: *PYTHIA*, *CompHEP*, *ALPGEN*.

3.2. PYTHIA

PYTHIA, elektron-pozitron, proton- antiproton gibi değişik kombinasyonlardaki temel parçacıkların çok yüksek enerjilerde birbiriyle olan etkileşmelerini, seçilen bir fizik model çerçevesinde Monte Carlo teknikleri kullanılarak yüksek enerji olayları üreten bir programdır. “*Lund Monte Carlo*” ailesinin ilk üyelerinden *JETSET*, 1978’de Lund ailesinin üyeleri tarafından geliştirilmeye başlanmıştır. Tüm diğer programlar bu programı temel alarak yapılandırılmıştır. Bunlardan en geniş olanı *PYTHIA*’dır. Yıllarca

bu iki program ayrı ayrı çalışmıştır ve en sonunda 1997’de PYTHIA6.1. adıyla birleştirilmiştir [38,39].



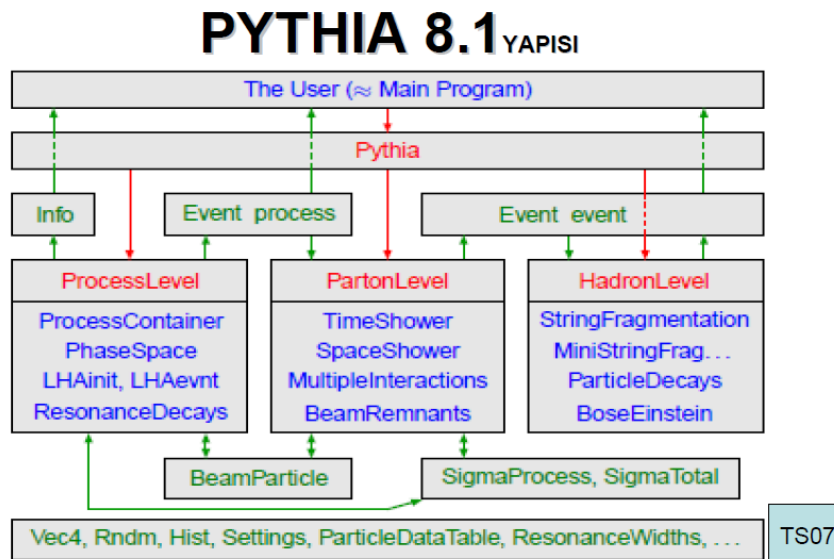
Şekil 3.2: PYTHIA tarihsel süreci

Günümüzde PYTHIA'nin iki güncel versiyonu bulunmaktadır. Bunlardan birincisi PYTHIA6.4, ikincisi de PYTHIA8.1'dir. Programın ilk versiyonlarından olan PYTHIA 6.1 Fortran dilinde yazılmıştır. Fortran desteğinin iyice azalması, genç deneyicilerin C++ yazılım dilini kullanmayı tercih etmeleri, bazı özellikleri modelleştirmek gibi nedenlerden dolayı PYTHIA8.1 geliştirilmiştir. Fortran dilinde yazılmış olan PYTHIA6.1 kadar olgunlaşmamış olsa bile, PYTHIA8.1 eklenen bazı değişiklikler ile LHC deneyindeki araştırmalar açısından oldukça önem kazanmıştır. Henüz olgunlaşma aşamasında olan PYTHIA8.1'e, son deneysel verilere uygunluk, dışarıdan girilen bir sonraki baskın durum programlar ile uygunluk, çoklu parton-parton etkileşimleri için yeni özellikler, farklı parton çoklukları için standart araçlar, γp ve $\gamma\gamma$ etkileşimleri gibi önemli bazı özellikler eklenecektir [40].

PYTHIA programı, yüksek enerji fiziğinde olay üretimi için sıklıkla kullanılmaktadır. Son durum ve fizik senaryolarının içinde parçacık sayılarına dayanan, 240 farklı sert süreçlerin sınıfını modelleyebilen, genel amaçlı bir olay jeneratörüdür. Temel parçacıklar arasındaki çarpışmalarda üretilen çoklu-parçacıklara önem vermektedir. Diğer birçok uygulama olmasına rağmen, özellikle e^-e^+ , pp ve ep gibi sert etkileşmeler anlamına gelen etkileşmeleri tasarlamaktadır. PYTHIA, $2 \rightarrow 1$, $2 \rightarrow 2$ süreçlerini ve son durumda 3 ve daha fazla parçacıkların genel uygulamaları sağlanmayan süreçleri en iyi şekilde yerine getirir. Bu program ayrıca, sert süreçleri, kırınım ve elastik saçılma gibi soft QCD süreçlerini, minimum eğilimli olayları, W/Z ve SM higgs bozonu üretimi gibi daha birçok isimdeki süreci simüle edebilen bir programdır. Bu program, parçacık fiziğinin şu ana kadar anladığımız kısmı içinde, deneysel olarak gözlemlenen detaylar kadar, bütün olayların üretimini amaçlar. Program elemanlarının (bileşenlerinin) birçoğu, SM içermeyen birkaç görünüş içinde geliştirmek ve uygulamak için modeller olan orjinal araştırmaları temsil eder [41].

PYTHIA programı Linux tabanlı bir işletim sisteminde çalışmaktadır. Bu tezdeki çalışmalarda PYTHIA8.1 versiyonu kullanılmıştır. PYTHIA8.1 versiyonunun yapısı Tablo 3.2'deki gibi olmaktadır.

Tablo 3.2: PYTHIA 8.1 Yapısı



PYTHIA programı üzerinde çalışma yapılabilmesi için ilk önce programın derlenmesi gereklidir. Bu işlemler adım adım şu şekilde yapılmaktadır [40]:

- <http://home.thep.lu.se/~torbjorn/Pythia.html> adresinden `pyhtia8120.tar.gz` dosyası indirilir.
- Konsola `tar xvfz pyhtia8120.tar.gz` yazılarak dosya açılır.
- `cd pyhtia8120` komutu ile bir önceki adımda açılmış olan `pyhtia8120` dosyasının olduğu dizine geçilir.
- `./configure` komutu ile konfigürasyonu yapılır.
- Son olarak da `make` komutu ile program derlenir. Derleme işlemi bittikten sonra program çalışır duruma gelmiştir.
- Programı çalıştırmak için `cd example` komutu ile örneklerin bulunduğu dizinine geçilir. Bu dizinde çeşitli örnekler bulunmaktadır. Bu örnekler arasından ilgilenilen sürece uygun bir program seçilir ve program üzerinde gerekli değişiklikler yapılır.
- Gerekli değişiklikler yapıldıktan sonra, programın bulunduğu dizinde konsol açılır. `make mainNN` komutu ile program derlenir. Sonrasında da `./mainNN.exe>mainNN.txt` komutu ile olay kaydı oluşturulmuş olur. (Bu komuttaki `mainNN`, örneğin `main01` şeklinde olmaktadır.)

Olay kaydı, güncel olaylarda üretilen parçacıklar hakkındaki bilgiler için merkezi bir depodur. Çeşniler, momentum, olay tarihi ve üretim köşesi gibi parçacık özellikleri hakkındaki bilgilerin kaydedilmesini sağlar. Ayrıca birçok merkezi rolde oynar. Kaydetmenin ne olduğunu ve bilgilerin nasıl kaydedildiğini uygun bir şekilde anlamaksızın Pythia'yı kullanmayı denemek anlamsızdır. Yeni bir olayla dolu olan, parton parçaları ve ya parçacık bozunumlarına izin veren, ayrıca bütün olayları tek tek listeleyen kayıttın içinde kullanıcının çağırması olduğu bütün her şey görülebilir [36].

PYTHIA olay üreticisinde, istenilen miktarda olay üretimi yapılabilmektedir. Ayrıca, bozunma genişlikleri, saçılma tesir kesitleri, partonların hadronlaşması, üretilen olayların analizleri ve histogramlar için alt süreçler elde edilebilir.

Parçacık data grubu parçacık kodları program boyunca sürekli olarak kullanılmaktadır. Bu kodlar, program içinde parçacıkların tanınması için her parçacık için ayrı ayrı belirlenmiş sistematik kodlardır.

Tablo 3.3: Parçacık Data Grup'unun belirlemiş olduğu bazı parçacık kodları

| Parçacık Kodları | Parçacıklar | Pythia Gösterimi | Parçacık Kodları | Parçacıklar | Pythia Gösterimi |
|------------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | d | d | 11 | e^- | e - |
| 2 | u | u | 12 | ν_e | nu_e |
| 3 | s | s | 13 | μ^- | mu- |
| 4 | c | c | 14 | ν_μ | nu_mu |
| 5 | b | b | 15 | τ^- | tau- |
| 6 | t | t | 16 | ν_τ | nu_tau |
| -1 | \bar{d} | dbar | -11 | e^+ | e+ |
| -2 | \bar{u} | ubar | -12 | $\bar{\nu}_e$ | nu_ebar |
| -3 | \bar{s} | sbar | -13 | μ^+ | mu+ |
| -4 | \bar{c} | cbar | -14 | $\bar{\nu}_\mu$ | nu_mubar |
| -5 | \bar{b} | bbar | -15 | τ^+ | tau+ |
| -6 | \bar{t} | tbar | -16 | $\bar{\nu}_\tau$ | nu_taubar |
| 22 | γ | gamma | 24 | W^+ | W+ |
| 2212 | p | p+ | -24 | W^- | W- |
| -2212 | \bar{p} | pbar- | 21 | g | gluon |

4. BULGULAR

Bu tezde Monte Carlo yöntemi kullanılarak, LHC’de $\sqrt{s} = 14$ TeV kütle merkezi enerjisinde proton-proton çarpışması, Tevatron’da $\sqrt{s} = 1.96$ TeV ‘lik bir kütle merkezi enerjisinde proton- antiproton ve son olarak ILC’de $\sqrt{s} = 500$ GeV elektron-pozitron çarpışmasında top kuark üretimi yapılmıştır.

Amaç, *çift-leptonik* ve *yarı-leptonik* olan;

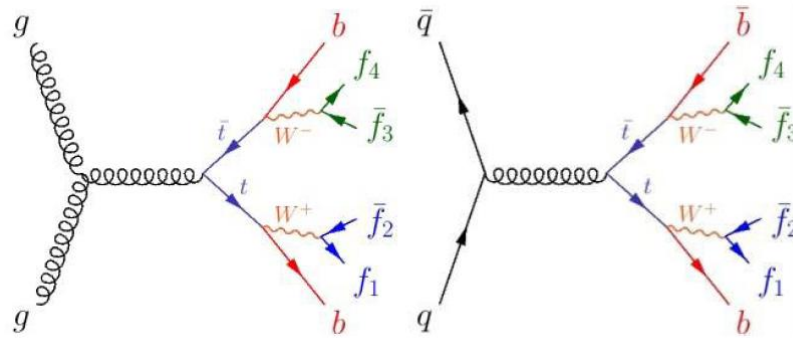
$$t\bar{t} \rightarrow b\bar{b}WW \rightarrow b\bar{b}l\nu l\nu \text{ (çift - leptonik)}$$

$$t\bar{t} \rightarrow b\bar{b}WW \rightarrow b\bar{b}lj\nu l\nu \text{ (yarı - leptonik)}$$

bu süreçler ile bir elektron ve muon içeren $t\bar{t}$ olaylarını incelemektir.

4.1. LHC’DE $pp \rightarrow t\bar{t}$ ÜRETİMİ

Şimdiye kadar kuarkların tek kaynağı Tevatron’du. Bu durumun, CERN’deki LHC çalışmaya başladığında değişmesi beklenmektedir. Milyonlarca top kuark, $\mathcal{L} \sim 10 \text{ fb}^{-1}$ de düşük bir ışınlık fazındaki çarpışma içinde üretileceklerdir. Bu şimdiye kadar emsali olmayan kesinlikte kuarkların araştırılması için olanak sağlayacaktır.



Şekil 4.1: LHC’de $t\bar{t}$ üretimi süreçlerinin dağılımının Feynman Diyagramları

Hadron çarpışmasında, top kuarklar $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$ ve $gg \rightarrow t\bar{t}$ QCD süreçleri yoluyla etkin olarak çift halinde üretilirler. LHC’de $gg \rightarrow t\bar{t}$ bozunum süreci %90 olasılıkla meydana gelirken, $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$ süreci %10’luk bir bozunum olasılığı ile meydana gelmektedir.

Bu çalışmada $pp \rightarrow t\bar{t} \rightarrow W^+b W^- \bar{b} \rightarrow e^+ \nu_e \mu^- \bar{\nu}_\mu$ şekilde bir bozunum süreci incelenmiştir. Pythia8.1’de bir kaç şekilde program derlenmesi yapılabilmektedir. Bu çalışmada kart okuma işlemi ile program derlenmiştir. Programda kart içinde gerekli değişiklikler şu şekilde yapılmıştır:

- Olay sayısı 10000 seçildi.
- Çarpışmanın kütle merkez enerjisi $\sqrt{s} = 14000$ GeV olarak seçildi.
- Çarpışacak olan parçacıkların kimlikleri şu şekilde belirlendi:
 $Beams:idA = 2212$
 $Beams:idB = 2212$
- Top kuarkın çift üretimi için süreçleri şu şekilde seçilmiştir ve “on” komutu ile bu bozunum kanalları açılmıştır:

```
Top:gg2ttbar = on           ! g g -> t tbar
Top:qqbar2ttbar = on       ! q qbar -> t tbar
```

- Amaçlanılan süreçteki elektron ve muonları elde etmek için aşağıdaki kanallar açılmıştır:

```
-24:onMode = off           ! switch off all W- decay channels
-24:onIfMatch = 11 12      !switch back on W- -> e- nu_e
-24:onIfMatch = 13 14      !switch back on W- -> mu nu_mu
24:onMode = off           ! switch off all W+ decay channels
24:onIfMatch = -11 -12     !switch back on W+ -> e+ nu_ebar
24:onIfMatch = -13 -14     !switch back on W+ -> mu+ nu_mubar
```

- İlk durum ışınması ve son durum ışınmaları açılmıştır:

```
PartonLevel:ISR = on
PartonLevel:FSR = on
```

Ana program C++ yazılım dili ile yazılıp, gerekli değişiklikler bu şekilde yapıldıktan sonra program çalıştırıldı ve *PYTHIA olay kaydı* elde edildi.

```

----- PYTHIA Event Listing (hard process) -----
no      id      name      status  mothers  daughters  colours  p_x      p_y      p_z      e      m
0       90      (system)  -11     0 0      0 0      0 0      0.000    0.000    0.000    14000.000 14000.000
1       2212     (p+)      -12     0 0      3 0      0 0      0.000    0.000    7000.000 7000.000  0.938
2       2212     (p+)      -12     0 0      4 0      0 0      0.000    0.000   -7000.000 7000.000  0.938
3        21      (g)      -21     1 0      5 6     101 102    0.000    0.000    685.907  685.907  0.000
4        21      (g)      -21     2 0      5 6     102 103    0.000    0.000   -127.348  127.348  0.000
5         6      (t)      -22     3 4      7 8     101  0     -5.691    24.469    605.316  630.688  175.295
6        -6      (tbar)    -22     3 4      9 10    0 103    5.691   -24.469   -46.758  182.567  174.681
7        24      (W+)      -22     5 0      11 12   0  0     -70.928   26.831   446.223  458.655  74.156
8         5      b         23     5 0      0 0     101  0     65.237   -2.362   159.094  172.033  4.800
9       -24      (W-)      -22     6 0      13 14   0  0     8.616    41.545   15.614   91.574  79.635
10      -5      bbar      23     6 0      0 0     0 103   -2.925   -66.015  -62.372  90.993  4.800
11      -11     e+        23     7 0      0 0     0  0     -4.118   20.098    26.088   33.188  0.001
12       12     nu_e      23     7 0      0 0     0  0     -66.810    6.733   420.135  425.467  0.000
13       13     mu-       23     9 0      0 0     0  0     -2.033   -12.730   31.493   34.030  0.106
14      -14     nu_mubar  23     9 0      0 0     0  0     10.649   54.275  -15.879   57.544  0.000
Charge sum: 0.000      Momentum sum: -0.000    0.000    558.559    813.255    591.097

```

Şekil 4.2: pp çarpışmasında elde edilen PYTHIA olay kaydı içindeki Sert Süreç listesi

Burada sert süreç (hard process) listesi görülmektedir. Çalışmada istenilen süreç olan $pp \rightarrow t\bar{t} \rightarrow W^+b W^-\bar{b} \rightarrow e^+\nu_e\mu^-\bar{\nu}_\mu$ sürecinin listesini vermektedir. Bu liste, parçacıkların *kimlik*, *durum*, *mothers*, *daughters*, *colours*, *dörtlü-momentum* ($p(x), p(y), p(z), e$) ve *kütle* özelliklerini göstermektedir [42].

- *id*(): Parçacık Data Grubu tarafından belirlenen parçacık kodlarıdır.
- *status*(): Durum kodları, verilen bir parçacığın nerede ve neden üretildiğinin bilgisini içerir.
- *mothers*(): *mother1*() ve *mother2*() sırası ile parçacıkların üretildiği ilk ve son durum parçacıklarını belirtir.
- *daughters*(): *daughter1*() ve *daughter2*() sırası ile bozunum sonucu oluşan ilk ve son parçacıkları belirtir.
- *col*(), *acol*(): Renk ve antirenk gösterir, Les Houches Accord (LHA) stili;
- *px*(), *py*(), *pz*(), *e*(): Dörtlü momentum bileşenlerini gösterir (GeV 'de, $c = 1$ ile);
- *m*(): Parçacık kütlelerini gösterir (GeV 'de);
- *xProd*(), *yProd*(), *zProd*(), *tProd*(): Üretim köşesi koordinatlarını gösterir (mm 'de).

```

----- PYTHIA Event Listing (complete event) -----
no  id  name      status  mothers  daughters  colours  p_x  p_y  p_z  e  m
0   90  (system)  -11    0  0    0  0  0  0  0.000  0.000  0.000  14000.000  14000.000
1   2212 (p+)    -12    0  0   277  0  0  0  0.000  0.000  7000.000  7000.000  0.938
2   2212 (p+)    -12    0  0   278  0  0  0  0.000  0.000 -7000.000  7000.000  0.938
3    21  (g)      -21    7  0    5  6  101 102  0.000  0.000  685.907  685.907  0.000
4    21  (g)      -21    8  8    5  6  102 103  0.000  0.000 -127.348  127.348  0.000
5    6  (t)      -22    3  4    9  9  101 0  -5.691  24.469  605.316  630.688  175.295
6   -6  (tbar)   -22    3  4   10 10  0 103  5.691 -24.469 -46.758  182.567  174.681
7    21  (g)      -41   15 15   11  3  104 102 -0.000  0.000 1133.378  1133.378  0.000
8    21  (g)      -42   16 0    4  4  102 103 -0.000  0.000 -127.348  127.348  0.000
9    6  (t)      -44    5  5   14 14 101 0 -18.739  58.829  611.797  639.403  175.295
10   -6  (tbar)   -44    6  6   18 18 0 103  4.258 -20.694 -43.856  181.337  174.681
11   21  (g)      -43    7  0   12 13 104 101 14.481 -38.135  438.091  439.986  0.000
12   21  (g)      -51   11 0   19 19 104 105 -10.623 -30.959  286.606  288.469  0.000
13   21  (g)      -51   11 0   20 20 105 101 21.559  2.860  131.313  133.102  0.000
14    6  (t)      -52    9  9   17 17 101 0 -15.194  48.793  631.969  657.818  175.295
15   21  (g)      -42   22 22  7  7  104 102  0.000  0.000 1133.378  1133.378  0.000
16   21  (g)      -41   23 0   21  8  106 103 -0.000 -0.000 -144.647  144.647  0.000
17    6  (t)      -44   14 14  24 24 101 0 -16.455  47.310  626.363  652.355  175.295
18   -6  (tbar)   -44   10 10  25 25 0 103 -6.729 -33.610 -43.255  183.192  174.681
19   21  (g)      -44   12 12  26 26 104 105 -10.714 -31.066  287.299  289.173  0.000
20   21  (g)      -44   13 13  27 27 105 101 21.471  2.758  129.374  131.172  0.000
21   21  (g)      -43   16 0   28 28 106 102 12.426  14.608 -11.050  22.134  0.000
22   21  (g)      -42   30 30  15 15 104 102  0.000  0.000 1133.378  1133.378  0.000
23   21  (g)      -41   31 0   29 16 107 103 -0.000 -0.000 -147.381  147.381  0.000
24    6  (t)      -44   17 17  32 32 101 0 -15.780  47.344  619.132  645.402  175.295
25   -6  (tbar)   -44   18 18  33 33 0 103 -0.850 -33.313 -45.399  183.520  174.681
26   21  (g)      -44   19 19  34 34 104 105 -10.665 -31.063  283.937  285.830  0.000
27   21  (g)      -44   20 20  35 35 105 101 21.518  2.760  128.547  130.365  0.000
28   21  (g)      -44   21 21  36 36 106 102 13.287  14.651 -10.936  22.601  0.000
29   21  (g)      -43   23 0   37 37 107 106 -7.511 -0.379  10.656  13.042  0.000
30   21  (g)      -42   39 39  22 22 104 102  0.000 -0.000 1133.378  1133.378  0.000
31   21  (g)      -41   40 0   38 23 107 108 -0.000  0.000 -149.488  149.488  0.000
32    6  (t)      -44   24 24  41 41 101 0 -16.132  47.602  612.797  639.354  175.295
33   -6  (tbar)   -44   25 25  42 42 0 103 -3.919 -31.066 -47.626  183.744  174.681
34   21  (g)      -44   26 26  43 43 104 105 -10.690 -31.045  280.673  282.587  0.000
35   21  (g)      -44   27 27  44 44 105 101 21.494  2.778  126.873  128.711  0.000

```

Şekil 4.3: pp çarpışmasında elde edilen PYTHIA olay kaydı içindeki tüm olayların listesi
Bu liste tüm meydana gelen olayların listesinin sadece bir kısmını göstermektedir.

```

=====
** Event Num= 0 - N. Electrons=6 - N. Muons=2
-----
iel=379, ID=-11 - (M1,M2,D1,D2)=24,90,-11,22
(Px, Py, Pz, E)= (-4.860, 21.324, 26.248, 34.166) - PT(e1)=21.871
status = -23- proper lifetime = 0.000 - mass = 0.001
(xProd, yProd, zProd, tProd)=(0.000, 0.000, 0.000, 0.000)
rapidity = 1.016 - pseudorapidity = 1.016
.
ie2=381, ID=-11 - (M1,M2,D1,D2)=-11,90,90,90
(Px, Py, Pz, E)= (-3.444, 14.340, 17.738, 23.068) - PT(e2)=14.748
status = 51- proper lifetime = 0.000 - mass = 0.001
(xProd, yProd, zProd, tProd)=(0.000, 0.000, 0.000, 0.000)
rapidity = 1.018 - pseudorapidity = 1.018
-----
im1=384, ID=13 - (M1,M2,D1,D2)=-24,90,13,22
(Px, Py, Pz, E)= (-4.406, -15.365, 31.341, 35.182) - PT(m1)=-15.984
status = -23- proper lifetime = 0.000 - mass = 0.106
(xProd, yProd, zProd, tProd)=(0.000, 0.000, 0.000, 0.000)
rapidity = 1.426 - pseudorapidity = 1.426
.
im2=386, ID=13 - (M1,M2,D1,D2)=13,90,90,90
(Px, Py, Pz, E)= (-4.345, -15.189, 31.035, 34.825) - PT(m2)=-15.798
status = 51- proper lifetime = 0.000 - mass = 0.106
(xProd, yProd, zProd, tProd)=(0.000, 0.000, 0.000, 0.000)
rapidity = 1.428 - pseudorapidity = 1.428
-----

```

Şekil 4.4: Olay listesinde meydana gelen elektron ve muonların sayısını ve özelliklerini gösteren kısım

Olay listesinin içinde, her olay için elektron ve muonlar sayılmış ve bu parçacıkların bazı özellikleri listelenmiştir.


```

----- PYTHIA CellJet Listing, eTjetMin = 20.000, coneRadius = 0.700 -----
no    eTjet  etaCtr  phiCtr  etaWt  phiWt  mult    p_x    p_y    p_z    e      m_
0    77.391 -0.700 -1.669 -0.754 -1.690  42    -9.142 -76.501 -64.594 101.435 13.441
1    66.337  1.700  0.098  1.720  0.072  33     65.757  4.731 182.686 194.736 14.201
2    27.720  2.900 -2.062  2.847 -1.930  22    -9.508 -25.241 243.289 244.927  8.476
3    22.626  1.100  1.865  1.109  1.866  10    -6.574  21.596  30.701  38.183  2.402

```

Şekil 4.5: LHC’de pp çarpışmasında meydana gelen bir olaydaki örnek jet listesi

Şekil 4.5’de belirtilen ifadelerin anlamları aşağıdaki gibidir [43]:

- $eTjetMin()$: Bir jet olarak kabul edilmesi için minimum enine enerjidir.
- $coneRadius()$: Jetin geometrik merkezi etrafında çizilen (eta, phi) uzaydaki koninin boyutudur.
- $size()$: Bulunan jetlerin sayısı.
- $eT(i)$: i.jetin eT’si.
- $etaCenter(i)$, $phiCenter(i)$: i.jetin geometrik merkezinin eta ve phi koordinatlarıdır.
- $etaWeighted(i)$, $phiWeighted(i)$: i.jetin eT-ağırlık merkezinin eta ve phi koordinatlarıdır.
- $multiplicity(i)$: i.jette parçacık gruplarının sayısıdır.

4.2. TEVATRON’DA $p\bar{p} \rightarrow t\bar{t}$ ÜRETİMİ

Top kuarkların ilk üretildiği yer Tevatron’dur. LHC’nin tersine burada $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$ süreci % 85 olasılıkla, $gg \rightarrow t\bar{t}$ bozunum süreci %15 olasılıkla meydana gelmektedir. LHC’deki top kuark üretimine benzer şekilde adımlar uygulanarak Monte Carlo yöntemi ile top kuarkın bozunum süreci elde edilmiştir.

Programda kart içinde gerekli değişiklikler şu şekilde yapılmıştır:

- Olay sayısı 10000 seçildi.
- Çarpışmanın kütle merkez enerjisi $\sqrt{s} = 1960$ GeV olarak seçildi.
- Çarpışacak olan parçacıkların kimlikleri şu şekilde belirlendi:

$$Beams:idA = 2212$$

$$Beams:idB = -2212$$

```

----- PYTHIA Event Listing (hard process) -----
no   id   name      status  mothers  daughters  colours  p_x    p_y    p_z    e      m
0    90   (system) -11     0  0      0  0  0  0  0.000  0.000  0.000 1960.000 1960.000
1    2212 (p+)    -12     0  0      3  0  0  0  0.000  0.000  980.000 980.000  0.938
2   -2212 (pbar-) -12     0  0      4  0  0  0  0.000  0.000 -980.000 980.000  0.938
3     2   (u)     -21     1  0      5  6 101  0  0.000  0.000  315.997 315.997  0.000
4    -2   (ubar)  -21     2  0      5  6  0 102  0.000  0.000 -161.685 161.685  0.000
5     6   (t)     -22     3  4      7  8 101  0 -107.653 -64.628  4.769 215.406 174.961
6    -6   (tbar) -22     3  4      9 10  0 102 107.653  64.628 149.543 262.276 175.100
7    24   (W+)    -22     5  0     11 12  0  0 -30.573 -49.278 -59.414 113.821  77.861
8     5   b       23     5  0      0  0 101  0 -77.081 -15.350  64.183 101.585  4.800
9   -24   (W-)    -22     6  0     13 14  0  0  60.907 -4.179  14.616 103.695  82.535
10   -5   bbar    23     6  0      0  0  0 102  46.747  68.806 134.927 158.581  4.800
11  -13   mu+     23     7  0      0  0  0  0 -44.816 -26.745 -68.087  85.788  0.106
12   14   nu_mu   23     7  0      0  0  0  0  14.244 -22.533  8.674 28.033  0.000
13   11   e-      23     9  0      0  0  0  0 -14.034 -15.802 18.032 27.782  0.001
14  -12   nu_ebar 23     9  0      0  0  0  0  74.941 11.624 -3.416  75.914  0.000
Charge sum: 0.000      Momentum sum: -0.000 -0.000 154.312 477.683 452.071

```

Şekil 4.6: $p\bar{p}$ çarpışmasında elde edilen PYTHIA olay kaydı içindeki Sert Süreç listesi

Gerekli bilgiler eklenip, program derlendiğinde olay kaydını elde edilmiştir. Şekil 4.5’de olay kaydının içinde meydana gelen sert süreç olan $p\bar{p} \rightarrow t\bar{t} \rightarrow W^+b W^- \bar{b} \rightarrow \mu^+ \nu_\mu e^- \bar{\nu}_e$ görünmektedir. LHC’deki proton proton çarpışmasında olduğu gibi bu listede parçacıkların *kimlik*, *durum (status)*, *mothers*, *daughters*, *colours*, *dörtlü-momentum* ($p(x), p(y), p(z), e$) ve *kütle* özelliklerini göstermektedir.

```

----- PYTHIA Event Listing (complete event) -----
no   id   name      status  mothers  daughters  colours  p_x    p_y    p_z    e      m
0    90   (system) -11     0  0      0  0  0  0  0.000  0.000  0.000 1960.000 1960.000
1    2212 (p+)    -12     0  0     62  0  0  0  0.000  0.000  980.000 980.000  0.938
2   -2212 (pbar-) -12     0  0     63  0  0  0  0.000  0.000 -980.000 980.000  0.938
3     2   (u)     -21    10 10      5  6 101  0  0.000  0.000  315.997 315.997  0.000
4    -2   (ubar)  -21     9  9      5  6  0 102  0.000  0.000 -161.685 161.685  0.000
5     6   (t)     -22     3  4     12 12 101  0 -107.653 -64.628  4.769 215.406 174.961
6    -6   (tbar) -22     3  4      7  8  0 102 107.653  64.628 149.543 262.276 175.100
7    -6   (tbar) -51     6  0     13 13  0 103 107.673  65.921 148.231 261.861 175.100
8    21   (g)     -51     6  0     14 14 103 102 -0.020 -1.293  0.379  1.348  0.000
9   -2   (ubar) -53    11  0      4  4  0 102 -0.000 -0.000 -162.618 162.618  0.000
10   2   (u)     -42    16  0      3  3 101  0 -0.000  0.000  315.997 315.997  0.000
11  -2   (ubar) -41    17 17     15  9  0 104  0.000 -0.000 -189.086 189.086  0.000
12   6   (t)     -44     5  5     18 18 101  0 -105.297 -68.870  4.497 215.551 174.961
13  -6   (tbar) -44     7  7     19 19  0 103 108.944  63.633 147.621 261.476 175.100
14   21   (g)     -44     8  8     20 20 103 102 -0.009 -1.313  0.403  1.373  0.000
15   21   (g)     -43    11  0     21 21 102 104 -3.637  6.550 -25.610 26.684  0.000
16   2   (u)     -41    40 40     22 10 105  0  0.000 -0.000  321.808 321.808  0.000
17  -2   (ubar) -42    37 37     11 11  0 104 -0.000  0.000 -189.086 189.086  0.000
18   6   (t)     -44    12 12     49 49 101  0 -106.176 -67.706  7.080 215.682 174.961
19  -6   (tbar) -44    13 13     65 65  0 103 107.311  65.796 150.926 263.217 175.100
20   21   (g)     -44    14 14     25 25 103 102 -0.016 -1.303  0.426  1.371  0.000
21   21   (g)     -44    15 15     23 24 102 104 -3.642  6.556 -25.334 26.420  0.000
22   21   (g)     -43    16  0     38 39 105 101  2.522 -3.342 -0.377  4.204  0.000
23   21   (g)     -51    21  0     28 28 106 104 -1.539  2.976 -4.857  5.900  0.000
24   21   (g)     -51    21  0     26 27 102 106 -2.105  3.337 -20.397 20.775  0.000
25   21   (g)     -52    20 20     31 31 103 102 -0.013 -1.061  0.347  1.116  0.000
26   21   (g)     -51    24  0     29 30 102 107 -0.791  3.103 -14.418 14.769  0.000
27   21   (g)     -51    24  0     70 70 107 106 -1.620  0.825 -6.944  7.178  0.000
28   21   (g)     -52    23 23     35 36 106 104 -1.233  2.385 -3.893  4.729  0.000
29   21   (g)     -51    26  0     43 43 108 107  0.185  1.551 -9.961 10.083  0.000
30   21   (g)     -51    26  0     34 34 102 108 -0.978  1.472 -4.430  4.770  0.000
31   21   (g)     -52    25 25     32 33 103 102 -0.012 -0.981  0.321  1.032  0.000
32   21   (g)     -51    31  0     66 66 103 109 -0.595 -1.086 -0.630  1.389  0.000

```

Şekil 4.7: $p\bar{p}$ çarpışmasında elde edilen PYTHIA olay kaydı içindeki tüm olayların listesi

```

** Event Num= 0 - N. Electrons=1 - N. Muons=2
-----
iel=186, ID=11 - (M1,M2,D1,D2)=-24,90,90,90
(Px, Py, Pz, E)= (-15.631, -11.833, 23.256, 30.417) - PT(e1)=-19.604
status = 23- proper lifetime = 0.000 - mass = 0.001
(xProd, yProd, zProd, tProd)= (0.000, 0.000, 0.000, 0.000)
rapidity = 1.007 - pseudorapidity = 1.007
-----
im1=184, ID=-13 - (M1,M2,D1,D2)=24,90,90,90
(Px, Py, Pz, E)= (-43.751, -26.487, -64.245, 82.117) - PT(m1)=51.144
status = 23- proper lifetime = 0.000 - mass = 0.106
(xProd, yProd, zProd, tProd)= (0.000, 0.000, 0.000, 0.000)
rapidity = -1.051 - pseudorapidity = -1.051
.
im2=415, ID=-13 - (M1,M2,D1,D2)=511,90,90,90
(Px, Py, Pz, E)= (0.875, -1.316, 1.176, 1.973) - PT(m2)=1.580
status = 91- proper lifetime = 801423.521 - mass = 0.106
(xProd, yProd, zProd, tProd)= (0.040, -0.016, -0.013, 0.060)
rapidity = 0.687 - pseudorapidity = 0.689
-----

```

Şekil 4.8: $p\bar{p}$ çarpışmasında olay listesinde çıkan elektron ve mounların sayısını ve özelliklerini gösteren kısım

```

----- PYTHIA CellJet Listing, eTjetMin = 20.000, coneRadius = 0.700 -----
no   eTjet  etaCtr  phiCtr  etaWt  phiWt  mult   p_x    p_y    p_z    e      m
0    72.226  0.500   -2.847  0.610  -2.918  24    -70.049 -15.927  48.008  87.995  16.666
1    65.289  1.300   1.080   1.273  0.961  36     36.882  52.845  108.253 126.660  13.087
2    51.144  -1.100  -2.651  -1.100 -2.651  1     -45.105 -24.109  -68.310  85.335  0.000
3    23.544  1.100  -2.454  1.131  -2.487  6     -18.514 -14.219  32.925  40.575  4.161

```

Şekil 4.9: Tevatron'da $p\bar{p}$ çarpışmasında meydana gelen bir olaydaki örnek jet listesi

4.3. ILC'DE $e^-e^+ \rightarrow t\bar{t}$ ÜRETİMİ

Hadron çarpıştırıcılarında, yeni parçacıklar keşfedebilmek için genellikle yararlı olan, en yüksek kütle merkezi enerjilerine ulaşmak teknik olarak mümkün iken, e^-e^+ çarpışmalarında ise dikkate alınan bir ölçüm için en yüksek hassasiyetle sonuç elde edilebilir.

Programda gerekli değişiklikler şu şekilde yapılmıştır:

- Olay sayısı 10000 seçildi.
- Çarpışmanın kütle merkez enerjisi $\sqrt{s} = 500$ GeV olarak seçildi.
- Çarpışacak olan parçacıkların kimlikleri şu şekilde belirlendi:

$$Beams:idA = 11$$

$$Beams:idB = -11$$

- Top kuarkın çift üretimi için süreçleri şu şekilde seçilmiştir ve “on” komutu ile bütün bozunum kanalları açılmıştır:

$$Top:all = on$$

Gerekli düzeltmeler yapıldıktan ve program derlendikten sonra olay kaydı elde edilmiştir.

```

----- PYTHIA Event Listing (hard process) -----
no   id   name      status  mothers  daughters  colours  p_x    p_y    p_z    e      m
0    90   (system)  -11    0 0 0    0 0 0    0.000  0.000  0.000  500.000  500.000
1    11   (e-)      -12    0 0 3    0 0 0    0.000  0.000  250.000  250.000  0.001
2    -11  (e+)      -12    0 0 4    0 0 0    0.000  0.000  -250.000  250.000  0.001
3    11   (e-)      -21    1 0 5    6 0 0    0.000  0.000  249.952  249.952  0.000
4    -11  (e+)      -21    2 0 5    6 0 0    0.000  0.000  -250.000  250.000  0.000
5    6    (t)       -22    3 4 7    8 101 0    114.919  92.355  97.520  250.812  177.935
6    -6   (tbar)    -22    3 4 9    10 0 101  -114.919  -92.355  -97.568  249.140  175.543
7    24   (W+)      -22    5 0 11   12 0 0    41.122  -14.445  76.428  119.206  80.431
8    5    b         23    5 0 0    0 0 101  73.797  106.800  21.092  131.606  4.800
9    -24  (W-)      -22    6 0 13   14 0 0    -121.825  -36.354  -18.572  151.943  81.110
10   -5   bbar      23    6 0 0    0 0 101  6.906  -56.001  -78.996  97.197  4.800
11   -11  e+        23    7 0 0    0 0 0    54.162  16.599  56.853  80.258  0.001
12   12   nu_e      23    7 0 0    0 0 0    -13.040  -31.044  19.574  38.948  0.000
13   13   nu-       23    9 0 0    0 0 0    -65.513  -59.029  -22.818  91.089  0.106
14   -14  nu_mubar  23    9 0 0    0 0 0    -56.312  22.676  4.247  60.854  0.000
Charge sum: 0.000      Momentum sum: 0.000  0.000  -0.048  499.952  499.952

```

Şekil 4.10: e^-e^+ çarpışmasında elde edilen PYTHIA olay kaydı içindeki Sert Süreç listesi

```

----- PYTHIA Event Listing (complete event) -----
no   id   name      status  mothers  daughters  colours  p_x    p_y    p_z    e      m
0    90   (system)  -11    0 0 0    0 0 0    0.000  0.000  0.000  500.000  500.000
1    11   (e-)      -12    0 0 68   0 0 0    0.000  0.000  250.000  250.000  0.001
2    -11  (e+)      -12    0 0 69   0 0 0    0.000  0.000  -250.000  250.000  0.001
3    11   (e-)      -21    37 0 5    6 0 0    0.000  0.000  249.952  249.952  0.000
4    -11  (e+)      -21    38 38 5    6 0 0    0.000  0.000  -250.000  250.000  0.000
5    6    (t)       -22    3 4 7    8 101 0    114.919  92.355  97.520  250.812  177.935
6    -6   (tbar)    -22    3 4 9    9 0 101  -114.919  -92.355  -97.568  249.140  175.543
7    6    (t)       -51    5 0 13   14 102 0    99.241  103.185  85.708  243.931  177.935
8    21   (g)       -51    5 0 12   12 101 102  -0.855  -24.118  -2.223  24.235  0.000
9    -6   (tbar)    -52    6 6 10   11 0 101  -98.385  -79.068  -83.532  231.785  175.543
10   -6   (tbar)    -51    9 0 40   40 0 103  -99.114  -82.191  -83.659  233.223  175.543
11   21   (g)       -51    9 0 24   24 103 101  0.643  0.724  -0.095  0.973  0.000
12   21   (g)       -52    8 8 15   15 101 102  -0.770  -21.719  -2.002  21.824  0.000
13   6    (t)       -51    7 0 39   39 104 0    98.382  100.953  85.290  242.499  177.935
14   21   (g)       -51    7 0 18   18 102 104  0.841  1.719  0.370  1.949  0.000
15   21   (g)       -52    12 12 16   17 101 102  -0.752  -21.205  -1.955  21.308  0.000
16   21   (g)       -51    15 0 22   23 101 105  0.810  -11.342  -3.003  11.761  0.000
17   21   (g)       -51    15 0 19   20 105 102  -1.451  -9.635  1.097  9.805  0.000
18   21   (g)       -52    14 14 21   21 102 104  0.729  1.491  0.321  1.691  0.000
19   21   (g)       -51    17 0 25   26 105 106  -1.091  -8.582  -0.019  8.651  0.000
20   21   (g)       -51    17 0 27   27 106 102  -0.237  -0.802  1.170  1.439  0.000
21   21   (g)       -52    18 18 31   32 102 104  0.607  1.240  0.267  1.407  0.000
22   -1   (dbar)    -51    16 0 41   41 0 105  0.522  -3.660  -0.014  3.712  0.330
23   1    (d)       -51    16 0 46   46 101 0    0.371  -7.588  -3.001  8.175  0.330
24   21   (g)       -52    11 11 42   42 103 101  0.560  0.630  0.082  0.847  0.000
25   21   (g)       -51    19 0 44   44 105 107  -0.315  -3.611  0.990  3.758  0.000
26   21   (g)       -51    19 0 30   30 107 106  -0.845  -5.207  -0.665  5.317  0.000
27   21   (g)       -52    20 20 28   29 106 102  -0.167  -0.566  0.826  1.015  0.000
28   21   (g)       -51    27 0 33   33 108 102  -0.939  -2.100  0.890  2.467  0.000
29   21   (g)       -51    27 0 48   48 106 108  0.365  -0.969  -0.384  1.105  0.000
30   21   (g)       -52    26 26 47   47 107 106  -0.439  -2.703  -0.345  2.760  0.000

```

Şekil 4.11: e^-e^+ çarpışmasında elde edilen PYTHIA olay kaydı içindeki tüm olayların listesi

```

=====
** Event Num= 0 - N. Electrons=13 - N. Muons=4
-----
ie1=1, ID=11 - (M1,M2,D1,D2)=90,90,11,90
(Px, Py, Pz, E)= (0.000, 0.000, 250.000, 250.000) - PT(e1)=-0.000
status = -12- proper lifetime = 0.000 - mass = 0.001
(xProd, yProd, zProd, tProd)= (0.000, 0.000, 0.000, 0.000)
rapidity = 13.794 - pseudorapidity = 52.266
.
ie2=2, ID=-11 - (M1,M2,D1,D2)=90,90,-11,90
(Px, Py, Pz, E)= (0.000, 0.000, -250.000, 250.000) - PT(e2)=0.000
status = -12- proper lifetime = 0.000 - mass = 0.001
(xProd, yProd, zProd, tProd)= (0.000, 0.000, 0.000, 0.000)
rapidity = -13.794 - pseudorapidity = -52.266
.
ie3=3, ID=11 - (M1,M2,D1,D2)=11,90,6,-6
(Px, Py, Pz, E)= (0.000, 0.000, 249.952, 249.952) - PT(e3)=-0.000
status = -21- proper lifetime = 0.000 - mass = 0.000
(xProd, yProd, zProd, tProd)= (0.000, 0.000, 0.000, 0.000)
rapidity = 52.266 - pseudorapidity = 52.266
.
im1=104, ID=13 - (M1,M2,D1,D2)=-24,90,13,22
(Px, Py, Pz, E)= (-59.561, -55.352, -17.875, 83.252) - PT(m1)=-81.311
status = -23- proper lifetime = 0.000 - mass = 0.106
(xProd, yProd, zProd, tProd)= (0.000, 0.000, 0.000, 0.000)
rapidity = -0.218 - pseudorapidity = -0.218
.
im2=106, ID=13 - (M1,M2,D1,D2)=13,90,90,90
(Px, Py, Pz, E)= (-58.231, -54.506, -17.436, 81.644) - PT(m2)=-79.761
status = 51- proper lifetime = 0.000 - mass = 0.106
(xProd, yProd, zProd, tProd)= (0.000, 0.000, 0.000, 0.000)
rapidity = -0.217 - pseudorapidity = -0.217
.
im3=163, ID=13 - (M1,M2,D1,D2)=221,90,90,90
(Px, Py, Pz, E)= (-0.076, -1.013, -0.464, 1.122) - PT(m3)=-1.016
status = 91- proper lifetime = 859194.537 - mass = 0.106
(xProd, yProd, zProd, tProd)= (0.000, 0.000, 0.000, 0.000)
rapidity = -0.440 - pseudorapidity = -0.442

```

Şekil 4.12 : e^-e^+ çarpışmasında olay listesinde çıkan elektron ve mounların sayısını ve özelliklerini gösteren kısım

```

----- PYTHIA CellJet Listing, eTjetMin = 20.000, coneRadius = 0.700 -----
no   eTjet  etaCtr  phiCtr  etaWt  phiWt  mult   p_x    p_y    p_z    e      m
0   125.335  0.100  1.080  0.101  1.081  15    58.955 110.470 12.730 126.094 7.644
1    82.142 -0.300 -2.454 -0.298 -2.454  5   -63.364 -52.071 -24.865  85.852 5.081
2    57.298 -1.100 -1.473 -1.088 -1.361 20    11.756 -55.137 -76.685  96.420 15.427
3    53.161  0.900  0.295  0.896  0.296  2    50.833  15.525  54.311  76.028 2.328

```

Şekil 4.13: ILC'de e^-e^+ çarpışmasında meydana gelen bir olaydaki örnek jet listesi

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Top kuarkın nadir bozunumları, yeni fizik için üzerinde çalışılabilecek kanal olabilir. SM içerisinde, $BR(t \rightarrow s+W) \simeq 1.5 \times 10^{-3}$ 'e sahiptir. Sağ El (RH) top kuark akımlarına izin verdiğinde, CKM matris elemanı öyle bir biçimde değişime uğrar ki $t \rightarrow s W$ bozunumu için BR bastırılmış hale gelir. MSSM'de, ILC'de dedekte edilmesine yardımcı olabilecek % 50 mertebesinde bir geliştirme elde edilebilir. $\sqrt{s}=500$ GeV bir kütle merkezi enerjisini ve ILC'de 1 ab^{-1} 'lik bir toplam bütünleştirilmiş ışınlık varsayarak, BR'ler için 10^{-3} 'e kadar bir duyarlılığa ulaşmak mümkün olacağı sonucuna ulaşılabilir. Böylece elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Top kuarkın nadir bozunumları, yeni fiziğin ilginç denemeleri olabilir.
- SM'de $BR(t \rightarrow s+W) \simeq 1.5 \times 10^{-3}$ 'e ulaşılmıştır.
- Bir sağ-el top kuark akımını varsaymak, V_{ts} 'nin bir baskılanmasına ve dolayısıyla $BR(t \rightarrow s W)$ 'da sonuçlanır.
- MSSM'de, ILC'de test edilmesine yardımcı olabilecek, yüzde 50 mertebesinde bir geliştirme elde edilebilir.
- Böylece, gelecek ILC'de, $t \rightarrow s W$ CKM-bastırılmış bozunumunu ölçebilmek, top kuark fiziğinin anlaşılmasını tamamlamaya izin verecektir.

KAYNAKÇA

1. Celebrating CERN, 2004, *CERN-Brochure-2004-003*[online], European Organization for Nuclear Research, <http://doc.cern.ch/archive/electronic/cern/others/multimedia/brochure/brochure-2004-003.pdf> [Ziyaret Tarihi: 31 Mart 2009].
2. YALÇIN, C., 2008, Demokrites'ten Higgs'e Maddenin Öyküsü, *Bilim ve Ütopya*, 167, 5-21.
3. PAK, N. K., 2008, Mikroevrenin Standart Modeli ve Süper Simetri, *Bilim ve Ütopya*, 167, 22-31.
4. DIAZ-CRUZ J. L., GAITAN-LOZANO R., LOPEZ CASTRO G., PAGLIARONE C. E., 2007, *CKM-suppressed Top Quark Decays $t \rightarrow q + W$ in the SM and Beyond*, arXiv:0712.3782v1.
5. HOOFT, G., 2003, *Maddenin Son Yapıtaşları*, Tübitak, Başak Matbaacılık-Ankara, 975- 403-193-2.
6. DERELİ, T., 2000, Elektrozayıf Etkileşmelerin Kuantumlu Yapısı, *Bilim ve Teknik*, 1-7.
7. GRIFFITHS, D., 1987, *Introduction To Elementary Particles*, John Wiley & Sons, Inc., ABD, 0-471-60386-4.
8. CECCUCCI, A., LIGETI. AND SAKAI, Y., 2006, The CKM Quark-Mixing Matrix, *Journal of Physics G*, 33, 138.
9. KUDAY, S., 2006, *Üst Kuarkın FCNC Üretimi*, Yüksek Lisans, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
10. Celebrating CERN, 2006, *CERN-LHC The Guide*[online], European Organization for Nuclear Research, <http://doc.cern.ch/archive/electronic/cern/others/multimedia/brochure/brochure-2006-003-eng.pdf> [Ziyaret Tarihi: 1 Nisan 2009].
11. Celebrating CERN, 2007, *CERN-Brochure-2007-001*[online], European Organization for Nuclear Research, <http://doc.cern.ch/archive/electronic/cern/others/multimedia/brochure/brochure-2007-001-eng.pdf> [Ziyaret Tarihi: 2 Nisan 2009].
12. ÖZPİNECİ, A., 2007, Standart Model ve Ötesi, *Bilim ve Teknik- Yeni Ufuklara*, 473, 2-13.

13. ADIGÜZEL, A., 2007, *CMS Deneyindeki Süpersimetri Araştırmaları*, Yüksek Lisans, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
14. QUIGG, C., 2008, The Coming Revolutions in Particle Physics, *Scientific American*.
15. SURROW, B., 2007, *Introduction to Nuclear and Particle Physics*[online], MIT (Massachusetts Institute of Technology) <http://web.mit.edu/mgreytak/MacData/afs.course/8/8.701/junk/material/lecture1.pdf> [Ziyaret Tarihi: 4 Nisan 2009].
16. YAVAŞ, Ö., 2004, *Parçacık Hızlandırıcıları*[online], Ankara, 443, <http://www.taek.gov.tr/uphuk2/parcacik.htm> [Ziyaret Tarihi: 3 Nisan 2009].
17. ALTIN, V., 2004, Hızlandırıcılar, *Bilim ve Teknik- Yeni Ufuklara*, 443 ,2-13.
18. CERN Coll., 2008, *The LHC Experiments*[online], Cenevre, <http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/LHCExperiments-en.html> [Ziyaret Tarihi : 3 Nisan 2009]
19. CERN Coll., *Collisions*[online], <http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/collisions.htm> [Ziyaret Tarihi: 2Nisan 2009].
20. COLLINS, G., P., 2008, The Future of Physics, *Scientific American*.
21. BARISH, B., WALKER, N., YAMAMOTO, H., Building the Next-Generation Collider, *Scientific American*.
22. ILC Coll., *What is The ILC?*[online], <http://www.linearcollider.org/cms/?pid=1000000> [Ziyaret tarihi: 2 Nisan 2009].
23. QUIGG, C., 1996, *Discovery of the Top Quark*[online], Fermi National Accelerator Laboratory, <http://lutece.fnal.gov/Papers/PhysNews95.html> [Ziyaret Tarihi: 6 Nisan 2009]
24. LISS, T. M., QUADT, A., 2008, *The Top Quark*, *Physics Letters B*, 667, 563 – 571.
25. YOUNG, B., 1997, Effective Lagrangian Approach to Physics Beyond the Standard Model, *Chinese Journal of Physics*, 35, 418-419.
26. MARCIANO, WILLIAM J., 2004, *Precision Electroweak Measurements and the Higgs Mass*, arXiv:hep-ph/0411179v2.
27. W. M. Yao *et al.* , 2006, [Particle Data Group], *J. Phys. G* 33, 1.
28. CABRERA, S., 2009, *Top Physics Studies at the LHC in the Standard Model and Beyond with the ATLAS Detector* [online], Instituto de Física Corpuscular, <http://cdsweb.cern.ch/record/1161125/files/ATL-PHYS-PROC-2009-042.pdf> [Ziyaret Tarihi: 3 Nisan 2009].

29. BENEKE, M., EFTHYMIOPOULOS. I., MANGANO. M. L., WOMERSLEY J., 2000, *Top Quark Physics*, arXiv:hep-ph/0003033v1.
30. MELE, B., 2001, *Top Quark Rare Decays in the Standard Model and Beyond*, arXiv:hep-ph/0003064v2.
31. BAR-SHALOM, S., EILAM, G., FRANK M., TURAN, İ., 2005, *Width Effects on Near Threshold Decays of the Top Quark $t \rightarrow cWW$, cZZ and of Neutral Higgs Bosons*, arXiv:hep-ph/0506167v2.
32. BENEKE, M., EFTHYMIOPOULOS. I., MANGANO. M. L., WOMERSLEY J., 2000, *Top Quark Physics*, arXiv:hep-ph/0003033v1.
33. GUASCH, J., HOLLIK, W., ILLANA, J. I., SCHAPPACHER, C., SOLÀ, J., 2000, *Top-Quark Production and Decay in the MSSM*, arXiv:hep-ph/0003109v2.
34. WACKEROTH, D., 2008, *Top quark theory review for the Tevatron, LHC, and ILC*, arXiv:0810.4176v1.
35. CORTI, G., 2008, *Monte Carlo Simulations in High Energy Experiments*[online], Calcolo Scientifico nella Fisica Italiana, <http://lhcb-doc.web.cern.ch/lhcbdoc/presentations/TalksNotDirectlyRelatedLHCb/Postscript/GCorti-MCinHEP-2008.pdf> [Ziyaret Tarihi: 5 Nisan 2009].
36. SJOSTRAND, T.,2004, *The Pythia Event Generation*[online], Lund University,http://home.fnal.gov/~mrenna/041207_pythia_tutorial/01_041207_pythia_tutorial_TS_1_intro4.pdf [Ziyaret Tarihi: 5 Nisan 2009].
37. RICHARDSON, P., 2009, *Introduction to Monte Carlo Event Generators*[online], Durham University, conference.ippp.dur.ac.uk/getFile.py/access?contribId=0&resId=0&materialId=slides&confId=51 [Ziyaret Tarihi: 5 Nisan 2009].
38. SJOSTRAND, T., MRENNNA, S., SKANDS, P., *Introduction to PYTHIA*[online], Lund University, <http://home.thep.lu.se/~torbjorn/Pythia.html> [Ziyaret Tarihi: 5 Nisan 2009].
39. SJOSTRAND, T., 2007, *The PYTHIA 8.1 Release* [online], Lund University-CERN, <http://home.thep.lu.se/~torbjorn/talks/release81.pdf> [Ziyaret Tarihi: 5 Nisan 2009].
40. ÇAKIR, O., 2009, *PYTHIA 6.4-PYTHIA 8.1-JavaPYTHIA* , Ankara Üniversitesi, <http://hpfokul09.web.cern.ch/HPFokul09/> [Ziyaret Tarihi: 31 Mart 2009].
41. KOTZINIAN, ARAM., 2004, *Monte Carlo Events Generators*[online], Torino,www.to.infn.it/~kotzinia/lectures/ppt/111-generators.ppt [Ziyaret Tarihi: 5 Nisan 2009].
42. SJOSTRAND, TORBJORN., MRENNNA, STEPHEN., SKANDS, PETER., 2007, *A Brief Introduction to PYTHIA 8.1*, arXiv:0710.3820.

43. SJOSTRAND, T., MRENNNA, S., SKANDS, P., 2007, *Event Analysis* [online], Lund University, <http://home.thep.lu.se/~torbjorn/php8100/Welcome.php> [Ziyaret Tarihi : 17 Şubat 2009]

ÖZGEÇMİŞ

Zeynep Tavukoğlu, Aralık 1984'te İstanbul'da doğdu. İlkokulu Edirnekapı İlköğretim Okulu'nda, orta okulu Hattat Rakım İlköğretim Okulu'nda, ardından da liseyi Beyođlu Fındıklı Lisesi'nde okudu. 2003 yılında kayıt olduğu İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü'nden 2007 yılında mezun olup lisans diplomasını aldı. Şuan hala İstanbul'da yaşamakta ve 2007 yılında başlamış olduğu İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Programı'nda yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.