

**LHC VE VLHC BAZINDA LEPTON-HADRON ÇARPIŞTIRICILARI:  
E-LİNAK İLE E-HALKA KARŞILAŞTIRILMASI**

**Hande KARADENİZ**

**DOKTORA TEZİ  
FİZİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MART 2007  
ANKARA**

Hande KARADENİZ tarafından hazırlanan LHC VE VLHC BAZINDA LEPTON - HADRON ÇARPIŞTIRICILARI: E-LİNAK VE E-HALKA KARŞILAŞTIRILMASI adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylım.

Tez Yöneticisi  
Prof. Dr. Saleh SULTANSOY

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Fizik Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Abbas Kenan ÇİFTÇİ

Üye : Prof. Dr. Saleh SULTANSOY

Üye : Prof. Dr. Ömer YAVAŞ

Üye : Prof. Dr. Orhan ÇAKIR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Metin YILMAZ

Tarih : 08.03.2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hande KARADENİZ

**LHC VE VLHC BAZINDA LEPTON-HADRON ÇARPIŞTIRICILARI:  
E-LİNAK İLE E-HALKA KARŞILAŞTIRILMASI  
(Doktora Tezi)**

**Hande KARADENİZ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Mart 2007**

**ÖZET**

1 TeV'den büyük kütle merkezi enerjisine sahip lepton hadron çarpıştırıcıları hem kuvvetli etkileşmelerin temel yönlerini açıklamak hem de çoklu-TeV Büyük Hadron Çarpıştırıcısının (LHC) deneysel verilerini yorumlamak için gereklidir. LHC ve VLHC tünellerinde elektron halkasının eklenmesi birçok teknik problemlere neden olabilir. Tezde gösterildiği gibi, linaklar daha kısa uzunluk ile aynı elektron demet enerjisi elde etmeye fırsat verecektir. Bugün QCD Araştırmacısı ve LHeC isimli iki gerçekçi proje vardır. Hem QCD-E hem de LHeC'de kuvvetli etkileşmeleri araştırmak için yeterince yüksek ışınlık değerine ulaşmaya fırsat verecektir. QCD-E projesinin bir dizi avantaja sahip olduğu gösterilmiştir. QCD-E ve LHeC projelerinin her ikisinin de ana amacı kuvvetli etkileşmelerin temel yönlerini açıklamaktır. Bunların Standart Model Ötesi fizik araştırmaları kapasitesi kütle merkezi enerjisi ile sınırlandırılır. Böylece çok yüksek ışınlık değeri önemli değildir. QCD-E için ağır kuark çift üretimi incelenmiştir ve bu sürecin küçük  $x_g$  bölgesi için önemi gösterilmiştir.

**Bilim Kodu : 202.1.149**  
**Anahtar Kelimeler : QCD, LHC, VLHC, lepton hadron çarpıştırıcıları**  
**Sayfa Adedi : 66**  
**Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Saleh SULTANSOY**

**LHC AND VLHC BASED LEPTON-HADRON COLLIDERS:  
COMPARISON OF E-RING WITH E-LINAC  
(Ph.D Thesis)**

**Hande KARADENİZ**

**GAZİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**March 2007**

**ABSTRACT**

The lepton-hadron colliders with center of mass energy higher than 1 TeV are necessarily both to clarify the nature of strong interactions and for adequate interpretation of experimental data from Large Hadron Collider (LHC). The addition of electron ring might cause a lot of technical problems in LHC and VLHC tunnels. As shown in thesis, Linacs will give opportunity to obtain the same electron beam energy with much shorter lengths. Today, there are two realistic projects, namely, QCD Explorer and LHeC. Both QCD-E and LHeC will give opportunity to achieve sufficiently high luminosity to explore crucial aspects of the strong interactions. It is shown that QCD-E a number of advantages. The main goal of both QCD-E and LHeC projects is to clarify fundamental aspects of strong interactions. Their potential for the BSM physics search is restricted by center of mass energy. Therefore, very high luminosity is not so important. The pair production of heavy quarks for QCD-E have been studied and the significance of this process for small  $x$  region has shown.

**Science Code : 202.1.149**  
**Key Words : QCD, LHC, VLHC, lepton hadron colliders**  
**Page Number : 66**  
**Adviser : Prof. Dr. Saleh SULTANSOY**

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőması sũresince bũyũk ilgi ve değerli yardımlarını gũrdũęũm danıőman hocam Sayın Prof. Dr. Saleh SULTANSOY'a, tecrũbelerinden yararlandığım hocalarım Sayın Prof. Dr. A. Kenan ÇİFTÇİ'ye, Sayın Prof. Dr. Engin ARIK'a, Sayın Prof. Dr. Orhan ÇAKIR'a, Sayın Prof. Dr. Ömer YAVAŞ'a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Metin YILMAZ'a ve katkılarından dolayı Sayın Dr. Erdal RECEPOęLU'na teőekkũrlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	.vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. PARÇACIK FİZİĞİ VE PARÇACIK HIZLANDIRICILARI.....	3
2.1. Parçacık Fiziği.....	3
2.1.1. Standart Model.....	4
2.1.2. Yeni fizik.....	10
2.2.Parçacık Hızlandırıcıları.....	12
2.3.Çarpıştırıcılar.....	18
3. LEPTON-HADRON ÇARPIŞTIRICILARI.....	22
3.1.Lepton-Hadron Çarpıştırıcılarının Önemi.....	22
3.2.Linak-Halka Tipi Çarpıştırıcılar.....	23
4. KUANTUM RENK DİNAMİĞİ ARAŞTIRICISI (QUANTUM CHROMODYNAMIC-EXPLORER QCD-E) .....	25
4.1.Parametreler .....	25
4.2. QCD-E ve LHeC Önerilerinin Karşılaştırılması.....	28

**Sayfa**

4.3. QCD-E ve LHeC Çarpıştırıcılarında Yeni Fizik.....	30
4.4. Lepton-Hadron Çarpışmalarında Enerji Öncephesi. ....	38
4.4.1. Parametreler (VLHC bazlı elektron-proton çarpıştırıcısı) .....	40
5. FİZİK ARAŞTIRMA ÖRNEKLERİ .....	43
5.1. QCD-E için Fizik Örneği: Ağır Kuarkların Çift Üretimi.....	43
5.2. LHC, ILC ve ILC*LHC çarpıştırıcılarının fizik araştırma potansiyellerinin karşılaştırılması .....	49
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	58
KAYNAKLAR .....	60
ÖZGEÇMİŞ .....	65



## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Bilinen temel fermiyonların GeV cinsinden kütleleri.....	5
Çizelge 2.2. Temel etkileşmelerin ayar bozonları.....	7
Çizelge 4.1. LEP-LHC bazında elektron-proton parametreleri .....	25
Çizelge 4.2. TESLA ve CLIC elektron demetlerinin nominal parametreleri .....	27
Çizelge 4.3. Nominal LHC demeti ile “TESLA”-LHC ve “CLIC”-LHC çarpıştırıcılarının ana parametreleri .....	27
Çizelge 4.4. LHC proton demet parametrelerinin THERA benzeri yenilenmesi ile TESLA”-LHC ve “CLIC”-LHC ana parametreleri.....	28
Çizelge 4.5. LHeC demetlerinin ana parametreleri.....	29
Çizelge 5.1. Standart tip VLHC elektron-proton parametreleri.....	41
Çizelge 5.2. LHC proton demet parametresinin THERA benzeri iyileştirilmesi ile “TESLA”-VLHC and “CLIC”-VLHC temel parametreleri.....	42

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Türk Hızlandırıcı Kompleksi projesinin ilk şekli .....	15
Şekil 2.2. DESY’de incelenen yapıların boyutu .....	16
Şekil 2.3. DESY hızlandırıcı kompleksinden görüntüler.....	17
Şekil 2.4 Rutherford deneylerinden CLIC-VLHC’ye kadar maddenin yapısını araştırmak için yapılan ve önerilen deneylerin çözüm gücünün zamana göre gelişimi.....	19
Şekil 4.1. Yüksek $Q^2$ ’de LHeC ve QCD Araştırmacısın’daki elektron-proton saçılma kinematığı .....	31
Şekil 4.2. LHeC ve QCD-E’de leptokuark aranması .....	32
Şekil 4.3. LHeC’de ve LHC’de tek leptokuark üretiminin tesir kesiti.....	33
Şekil 4.4. LHeC ve QCD-E çarpıştırıcılarında düşük x bölgesinde ep çarpışması kinematığı.....	35
Şekil 4.5. LHeC’de nötr (sol) ve yüklü (sağ) akı elektron-proton saçılmaları.....	37
Şekil 5.1. c-kuark ve b-kuarkların üretiminin diferansiyel tesir kesiti.....	44
Şekil 5.2. $\theta^{c,b} < 179^0$ , $\theta^{c,b} < 175^0$ ve $\theta^{c,b} < 170^0$ ek cut’larla THERA için öngörü a) charm kuark b) beauty kuark .....	45
Şekil 5.3. QCD-E için öngörü a) charm kuarkın çift üretimi b) beauty kuarkın çift üretimi .....	47
Şekil 5.4. Linak-VLHC için öngörü a) charm kuarkın çift üretimi b) beauty kuarkın çift üretimi.....	48
Şekil 5.5. LHC, ILC ve Linak*LHC çarpıştırıcılarının yeni fizik araştırma potansiyelinin karşılaştırılması .....	50
Şekil 5.6. $\sqrt{s} = 0,5$ TeV olan $e^-e^+$ çarpıştırıcısı, $\sqrt{s} = 3,74$ TeV olan ep çarpıştırıcısı ve $\sqrt{s} = 19$ TeV olan pp çarpıştırıcısında uyarılmış elektronun tek üretim tesir kesitleri.....	51
Şekil 5.7. ep çarpıştırıcısında uyarılmış elektronun tek üretimi.....	52

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.8. Elektron-pozitron çarpıştırıcısında sinyal ve fonun $m_{e\gamma}$ invariant kütlesine göre dağılımı.....	53
Şekil 5.9. LC için uyarılmış leptonların üretimi için istatistiksel değerin kütle bağımlılığı .....	54
Şekil 5.10. Elektron-proton çarpıştırıcısında uyarılmış elektronun tek üretimi için Feynman diyagramları .....	54
Şekil 5.11. Elektron-proton çarpıştırıcısında uyarılmış elektronun tek üretimi.....	55
Şekil 5.12. Uyarılmış elektronun gözlenmesi için istatistik anlam eğrileri .....	56
Şekil 5.13. Proton-proton çarpıştırıcısında uyarılmış elektronların tek üretimi için Feynman diyagramları .....	56
Şekil 5.14. Proton-proton çarpıştırıcılarında istatistiksel değerin kütle bağımlılığı .....	57

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamalarıyla birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>e</b>	Elektron
<b><math>\gamma</math></b>	Foton
<b>GeV</b>	Giga elektron volt
<b>g</b>	Gluon
<b>G</b>	Graviton
<b>Hz</b>	Hertz
<b>H</b>	Higgs bozonu
<b>MW</b>	Megawatt
<b>nm</b>	Nanometre
<b>ns</b>	Nanosaniye
<b>p</b>	Proton
<b>TeV</b>	Tera elektron volt
<b>W</b>	W-ara bozonu
<b>Z</b>	Z-ara bozonu
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>BSM</b>	Standart Model Ötesi
<b>LHC</b>	Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
<b>LHeC</b>	Büyük Hadron-elektron Çarpıştırıcısı
<b>QCD</b>	Kuantum Renk Dinamiği
<b>VLHC</b>	Çok Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

## 1. GİRİŞ

Parçacık Fiziği (Yüksek Enerji Fiziği) 21. yüzyılın öncelikli AR-GE alanlarında ilk sıralarda yer almaktadır. Parçacık hızlandırıcıları ise 21. yüzyılın jenerik (stratejik, kritik) teknolojilerinden biridir. Aynı zamanda bilim ve teknolojinin hemen hemen tüm alanlarının gelişmesinde lokomotif rolü oynamaktadır [1-5]. Hızlandırıcı teknolojisinin önemi Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı Bilim Ofisi'nin beyanatında şöyle ifade edilmiştir [4]:

“Hızlandırıcılar, Bilim Ofisi'nin her aktivitesini ve giderek artan tüm bilimsel teşebbüsleri destekler. Biyolojiden tıba, malzemedan metalürjiye, parçacık fiziğinden uzaya kadar birçok alanda hızlandırıcılar mikroskobik bilgi sağlamaktadırlar. Bu da bilimin anlaşılması ve uygulamaları için temel oluşturur. Yeryüzü ve uydu bazlı rasathane ve parçacık hızlandırıcılarının kombinasyonu dünyamızın, galaksimizin ve evrenimizin anlaşılmasını sağlayacaktır”.

Rutherford'un meşhur deneyi ile 20. yüzyıldaki bilim ve teknolojinin temeli oluşturulmuştur. Bu deney sonucunda; alfa parçacıklarının çekirdekten saçılmasından dolayı maddenin çekirdek ve etrafında dönen elektronlardan oluştuğu görülmüştür. Çağdaş kimya, biyoloji ve başta elektronik olmak üzere bilişim teknolojisinin temelini oluşturan gelişmeler bu deneye dayanmaktadır. Hızlandırıcı teknolojisi ise 1930'lu yıllarda gelişen bir teknoloji olup, son 20–30 yıl içinde çok büyük aşama kaydetmiştir. Günümüzde deneyler çok daha yüksek enerjilerde yapılmakta ve çok daha küçük mesafeleri incelemeye imkân sağlamaktadır. Örneğin; proton ve elektron gibi elektrik yüklü parçacıklar yüksek enerjilere ulaşınca kadar hızlandırılır ve durgun hedef ile veya birbirlerine çarptırılarak maddenin yapısı hakkında en temel bilgilerin elde edilmesine yardımcı olur. Ne kadar yüksek enerjiye ulaşırsa o kadar küçük mesafeleri görmek mümkün olur.

Bu çalışmada, güçlü etkileşmeler için Kuantum Renk Dinamiği'nin (Quantum Chromodynamics - QCD) temel prensiplerinin açıklanması ve multi-TeV hadron çarpıştırıcılarının deneysel verilerinin yorumlanması için TeV kütle merkezi enerjili lepton-hadron çarpıştırıcılarının gerekliliği incelenmiştir.

İkinci bölümde parçacık fiziği ve parçacık hızlandırıcıları hakkında genel bilgi verilmiştir. Elektromanyetik zayıf ve güçlü etkileşmeleri aynı temele dayandıran Standart Model bugün mevcut olan tüm deneysel verileri yorumlamaya imkan vermekle birlikte birçok temel soruya cevap verememektedir. Bu nedenle bölümde Standart Model'in genişlemeleri ile ilgili kısa bilgiler verilmiştir. Bölümün devamında günümüzde temel parçacıklar ve etkileşmeler konusunda elde ettiğimiz bilgilerin büyük çoğunluğu parçacık hızlandırıcıları sayesinde temin edildiği anlatılmaktadır.

Üçüncü bölümde lepton-hadron çarpıştırıcılarının maddenin en derin temel yapısının incelenmesi açısından önemi vurgulanmıştır. Bu çarpışmalarda TeV skalasına ulaşmanın en gerçekçi yolun linak-halka tipi çarpıştırıcılar olduğu ifade edilmiştir.

Dördüncü bölümde Kuantum Renk Dinamiği Araştırıcısı (Quantum Chromo Dynamic-Explorer, QCD-E ) önerisi tartışılmıştır. 70 GeV linak'tan gelen elektronlar ile LHC'nin 7 TeV protonlarının çarpıştırılmasını öngören bu projenin parametreleri incelenmiş, benzer projelerle karşılaştırılması yapılmıştır.

Beşinci bölümde linak-halka tipli lepton-hadron çarpıştırıcılarının fizik araştırma potansiyeli ile ilgili bazı örnekler verilmiştir. QCD-E için ağır kuarkların çift üretimi sürecinin incelenmesi sonucunda küçük  $x_g$  bölgesinde önemli bilgiler edinileceği gösterilmiştir. Enerji ön cephesi açısından LHC, ILC ve ILC\*LHC çarpıştırıcılarının fizik araştırma potansiyellerinin genel karşılaştırılması yapılmıştır.

## 2. PARÇACIK FİZİĞİ VE PARÇACIK HIZLANDIRICILARI

### 2.1. Parçacık Fiziği

Parçacık hızlandırıcılarında ulaşılan yüksek enerjilerde atom çekirdeğini oluşturan proton ve nötronların yarıçapının yüzde birine kadar olan uzaklıklar incelenmiş ve bunların kuark ve gluonlardan meydana geldiği anlaşılmıştır. Maddenin temel yapı taşları leptonlar ve kuarklar olarak bilinmektedir. Kütle çekim etkileşmelerini dahil etmezsek, bu temel yapı taşları arasındaki etkileşmeler kuvvetli, elektromanyetik ve zayıf etkileşmeler olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Fizikçiler, evrendeki bütün madde ve kuvvetleri tanımlamak için (yerçekimi hariç) Standart Model teorisini geliştirmişlerdir. Bu modelin özelliği, yüzlerce parçacığı ve karmaşık etkileşmeleri birkaç temel parçacık ve etkileşme ile açıklayabilmesidir. Standart Modelde Parçacıklar; madde parçacıkları (elektronlar ve kuarklar gibi) ve kuvvet taşıyıcı parçacıklar (foton, gluonlar,  $W^{\pm}$  ve Z bozonlar gibi) olarak iki gruba ayrılmıştır.

Kuark ve anti-kuark tarafından oluşturulan tüm bileşik parçacıklara hadron adı verilmiştir. Hadronlar; üç kuarktan meydana gelen baryonlar ve kuark ile anti kuarktan meydana gelen mezonlar olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Kuantum istatistiği açısından baryonlar fermiyon, mezonlar ise bozondur. Gluonlar aracılığı ile oluşan kuvvetli etkileşmeler; proton, nötron ve mezon oluşturmak üzere kuarkları bir arada tutar. Kuarklar arası etkileşmeleri sağlayan güçlü kuvvet çok karmaşık yapı göstermektedir. Kuvvetli etkileşmelerin ayar teorisi olan Kuantum Renk Dinamiği, temel parçacıkları “renk” ve “çeşni” serbestlik dereceleri ile açıklar. Kuarklar ve şiddetli kuvveti taşıyan gluonlar renk yüklerine sahiptir. Bu teoride, kuarklar elektrik yüküne benzer şekilde “renk yükü” de taşımaktadırlar. Kuarklar arasındaki etkileşmeler, kütsüz gluonlar aracılığı ile olur. Renk yüklerinden dolayı kuarklar birbirleriyle etkileşir ve bağlı durum oluştururlar. Kuark, bir gluon aldığı veya verdiği zaman renk değiştirir. Leptonlar ise sadece elektromanyetik ve zayıf etkileşmelerde rol alır.

### 2.1.1. Standart Model

Standart Modelin teorik olarak oluşturulması ve zayıf etkileşmeleri taşıyan W ve Z bozonlarının keşfedilmesi 20. yüzyıl biliminin en büyük başarılarından biridir. Elektrozayıf etkileşmelerin Glashow-Weinberg-Salam modeli ve güçlü etkileşmelerin Kuantum Renk Dinamiği teorisi,  $SU_C(3) \times SU_W(2) \times U_Y(1)$  ayar simetrisine bağlı renormalize bir kuantum alan teorisi olan Standart Model içersine dahil edilmiştir. Bunun 19. yüzyıldaki benzeri, elektrik ile manyetizmanın aynı çatı altında birleştirilmesi olmuştur.

Standart Modele göre spini  $\frac{1}{2}$  olan noktasal leptonlar ve kuarklar maddenin temel objeleridir. Leptonlar ve kuarklar arasında etkileşmeler, spini 1 olan foton, gluonlar, W ve Z bozonlarının değiş-dokuşu ile gerçekleşir. Fermiyonlar (leptonlar ve kuarklar) ile W ve Z bozonlara kütle veren 0 spinli Higgs bozonu Standart Model'in ayrılmaz bir parçasıdır.

Bugün 3 fermiyon ailesine ait 6 lepton, 6 kuark ve bütün ara bozonların varlığı ispat edilmiştir. Higgs bozonunun ise 2010 yılına kadar FNAL Tevatron'da veya CERN LHC'de keşfedilmesi beklenmektedir. Standart Model ile W ve Z bozonundan farklı olarak, Higgs bozonun kütlesi tahmin edilememektedir. CERN LEP'te (1990'larda çalışan ve  $\sqrt{s} = 210$  GeV kütle merkezi enerjisine sahip olan elektron-pozitron çarpıştırıcısı)  $m_H > 114$  GeV olduğu gösterilmiştir. Teorik açıdan  $m_H < 1$  TeV olmalıdır. Higgs bozonunun keşfi ile Standart Modelin temel prensiplerinin doğruluğu belirlenmiş olacaktır.

Elektromanyetik, zayıf ve güçlü etkileşmeleri aynı temele dayandıran Standart Model bugün mevcut olan tüm deneysel verileri yorumlamaya imkân vermektedir. Ancak Standart Model birçok temel soruya cevap verememektedir. Bunlar, temel fermiyonların sayısı (veya fermiyon ailelerinin sayısı) ve sağ-sol simetrisinin bozulmasıdır. Bu sorulara cevap bulmak üzere Standart Model için çeşitli genişletilme önerileri verilmiştir. Bunlar, demokratik kütle matrisi, sağ-sol simetrik



modeller, büyük birleşim teorileridir. Daha radikal genişletilmelere örnek olarak süpersimetrik ve preonik modeller gösterilmiştir. Bu genişletilmelerin büyük çoğunluğu TeV skalasında yeni parçacıkların ve etkileşmelerin varlığını ön görmektedir.

### Temel Parçacıklar ve Temel Etkileşmeler

Evrenin temel yapısını oluşturan çok küçük parçacıklar spinlerine göre fermiyonlar ve bozonlar olmak üzere ikiye ayrılır. Spinleri kesirli olan ( $s=1/2$ ) fermiyonlar, leptonlar ve kuarklar olarak sınıflandırılır. Bugüne kadar deneysel olarak gözlenebilen leptonlar, elektrik yükleri  $Q = -1$  olan elektron  $e^-$ , muon  $\mu^-$ , tau  $\tau^-$  ve elektrik yükleri  $Q = 0$  olan  $\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$  nötrinolarıdır. Bilinen kuarklar ise yükleri  $Q = 2/3$  olan u, c, t ve  $Q = -1/3$  yüküne sahip olan d, s ve b kuarklarıdır. Kuarklar leptonlardan farklı olarak renk kuantum sayısına sahiptir. Renk kuantum sayısı üç tip olabilir: kırmızı, mavi ve yeşil. Renkli objeler doğada serbest olarak görülmemektedir. Bu nedenle kuarkların ve gluonların deneysel olarak gözlenebilen renksiz hadronların içinde hapsedildiği varsayılmaktadır. Renksiz ve çok küçük parçacıklar olan hadronlar, baryonlar ve mezonlar olarak ikiye ayrılır. Baryonlar üç kuarktan oluşan fermiyonlardır. Örneğin, proton  $p=uud$  ve nötron  $n=udd$  yapısındadır. Mezonlar ise bir kuark ve bir antiquarktan oluşur ve spinleri tamsayı olduğu için bozondurlar. Örneğin, pion  $\pi^+ = u, \pi^- = d$  gibi. Bugüne kadar deneysel olarak görünmüş olan temel fermiyonların kütle değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bilinen temel fermiyonların GeV cinsinden kütleleri

Nötrinolar	Yüklü leptonlar	Üst kuarklar	Alt kuarklar
$\nu_e : < 3 \times 10^{-9}$	$e : 0,51099890 \times 10^{-3}$	$u : (1,5-4,5) \times 10^{-3}$	$d : (5-8,5) \times 10^{-3}$
$\nu_\mu : < 0,19 \times 10^{-3}$	$\mu : 0,105658357$	$c : 1,0-1,4$	$s : (80-155) \times 10^{-3}$
$\nu_\tau : < 0,0182$	$\tau : 1,77699$	$t : 174,3 \pm 5,1$	$b : 4,0-4,5$

Temel fermiyonlar arasındaki etkileşmeler bir ara parçacık değiş-tokuşuyla gerçekleşir. Elektromanyetik etkileşmelerin ara bozonu spini  $s = 1$  olan fotondur. Spini  $s = 1$  olan 8 tane gluon, kuarklar arasındaki kuvvetli etkileşmelere aracılık eder. Son olarak da spini  $s = 1$  olan üç tane bozon ( $W^\pm$  ve  $Z^0$ ) zayıf etkileşmelerin ara parçacıklarıdır. Teorik olarak spini çift tamsayı olan bozonlar etkileşmelere aracılık etmektedir. Örneğin, spini  $s = 0$  olan Higgs parçacığı ve kütle çekim etkileşmelerinin ara parçacığı spini  $s = 2$  olan graviton gibi.

Standart Model elektromanyetik, zayıf ve güçlü etkileşmeleri başarılı bir şekilde açıklamaktadır. Teoriksel olarak Standart Model,  $SU_C(3) \times SU_W(2) \times U_Y(1)$  ayar simetrisine dayalı bir kuantum alan teorisidir. Bu ayar grubu kuvvetli etkileşmelerin  $SU_C(3)$  simetri grubundan ve elektrozayıf etkileşmelerin  $SU_W(2) \times U_Y(1)$  ayar grubundan oluşur. Elektromanyetik etkileşmelerin grup simetrisi olan  $U_{EM}(1)$  elektrozayıf etkileşmelerin simetri grubunun bir alt grubu olarak bulunur. Dolayısıyla elektrozayıf etkileşmeler elektromanyetik ve zayıf etkileşmelerin birleştirildiği tek bir etkileşme olarak göz önüne alınmaktadır.

$SU_C(3)$  simetri grubunun ayar bozonları 8 gluondan oluşur.  $SU_W(2) \times U(1)$  simetri grubunun ayar bozonları ise  $\gamma$ ,  $W^\pm$  ve  $Z^0$  parçacıklarıdır. Gluonlar kütsüz ve yüksüz olup renk kuantum sayısı taşırlar. Farklı renk kuantum sayısına sahip 8 tane gluon vardır. Gluonlar renk kuantum sayısına sahip oldukları için sadece kuarklarla değil, aynı zamanda kendi aralarında da etkileşirler (hapis varsayımının teoriksel nedeni bu olabilir, fakat QCD'nin temellerinden yola çıkarak ispatlanamamıştır).  $W^\pm$  ve  $Z^0$  bozonları ise kütleli parçacıklardır ve kendi aralarında etkileşirler.  $W^\pm$  bozonlarının elektrik yükü  $Q = \pm 1$ 'dir,  $Z^0$  ise yüksüzdür. Foton, kütsüz ve yüksüzdür, kendisi ile etkileşmeye girmez. Ara bozonların özellikleri Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Temel etkileşmelerin ayar bozonları

Adı	Simgesi	Kütlesi (GeV)	Yükü	Renk	Simetri grubu
Spini 1 olan ayar bozonları					
Foton	$\gamma$	0	0	-	U(1)
Zayıf etkileşmelerin ara bozonları	$Z^0$	91,1876±0,0021	0	-	SU(2)
	$W^+$	80,423±0,039	+1	-	
	$W^-$	80,423±0,039	-1	-	
Gluon	g	0	0	8	SU(3)
Spini 0 olan Higgs bozonu					
Higgs	$H^0$	> 114	0	-	
Spini 2 olan graviton bozonu					
Graviton	G	0	0	-	

Foton kütesiz olduğu için, elektromanyetik etkileşmelerin menzili sonsuz olur. Zayıf etkileşmelerin menzili W ve Z bozonların kütesinden dolayı yaklaşık  $10^{-18}$  m civarındadır. Kuvvetli etkileşmelerin menzili ise, ara parçacıkların kütesiz gluonlar olmasına rağmen, sonludur. Çünkü gluonların ve kuarkların hapsolme özelliği vardır. Kuvvetli etkileşmelerin menzili  $10^{-15}$  m olup, hafif kuarklardan oluşan hadronların tipik boyutlarına karşılık gelmektedir.

Günümüze kadar deneysel olarak gözlenebilen temel fermiyonlar aşağıdaki gibi 3 aile olarak sınıflandırılmıştır:

1-ci aile

$$\begin{pmatrix} \nu_{eL} \\ e_L^- \end{pmatrix}, \nu_{eR}, e_R^-; \begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix}, u_R, d_R$$

2-ci aile

$$\begin{pmatrix} \nu_{\mu L} \\ \mu_L^- \end{pmatrix}, \nu_{\mu R}, \mu_R^-; \begin{pmatrix} c_L \\ s_L \end{pmatrix}, c_R, s_R$$

3-cü aile

$$\begin{pmatrix} \nu_{\tau L} \\ \tau_L^- \end{pmatrix}, \nu_{\tau R}, \tau_R^-; \begin{pmatrix} t_L \\ b_L \end{pmatrix}, t_R, b_R$$

Bu aileler kütle hariç benzer özelliklere sahiptir. Yukarıda belirttiğimiz gibi Standart Model temel fermiyon ailelerinin sayısını öngörmez. Sadece Kuantum Renk Dinamiği'nin asimptotik serbestliği için bu sayı 8'den küçük olmalıdır. Öte yandan aile sayısının 4 olduğu yönünde esaslı iddialar mevcuttur [6-9].

4-cü aile

$$\begin{pmatrix} \nu_{4L} \\ l_{4L}^- \end{pmatrix}, \nu_{4R}, l_{4R}^-; \begin{pmatrix} u_{4L} \\ d_{4L} \end{pmatrix}, u_{4R}, d_{4R}$$

Dördüncü Standart Model ailesi fermiyonları bugüne kadar gözlenilmemiş olup (mevcut çarpıştırıcıların kütle merkezi enerjisi bunların ağırlığından dolayı çift üretimine imkân sağlayamaz) bunların kütleleri için deneysel alt limitleri,  $m_{\nu 4} > 100$  GeV,  $m_{l 4} > 100$  GeV,  $m_{u 4} > 250$  GeV ve  $m_{d 4} > 200$  GeV şeklindedir. Dördüncü aile kuarklarının CERN LHC'de, leptonlarının ise ILC ve CLIC'te gözleneceği beklenilmektedir. Ayrıca, dördüncü aile kuarkları, Higgs bozonunun hadron çarpıştırıcılarında  $gg \rightarrow H$  tesir kesitini yaklaşık 8 kat artırması beklenir. Bu durum Higgs bozonun gözlenmesi için önemli sürprizlere yol açar.

Standart Modelde bazı problemleri çözmek için 20 yıl önce Çeşni Demokrasi Yaklaşımı önerilmiştir [6-9].

### Standart Modelin Problemleri

Üç fermiyon aileli Standart Model, parçacık fiziğinin büyük bir kısmını açıklar. Fakat Standart Model çerçevesinde çözümlenemeyen problemler vardır. Aşağıda bu problemlerin listesi verilmektedir [10] :

1. Kuark ve lepton kütlelerini ve CKM matrislerinin karışım açıları ile fazlarını ne belirler?
2. Kuark ve lepton aileleri neden tekrarlanır? Doğada kaç aile mevcuttur?
3. Kuark-lepton simetrisinin orijini nedir? Doğada sağ-elli nötrino bileşenleri var mıdır? Nötrinolar Dirac veya Majorana parçacıkları mıdır?
4. Sağ-sol (L-R) simetri kırılmasının orijini nedir?
5. Neden çok sayıda keyfi parametreler vardır?

Üç aileli Standart Model;

- 3 adet bağlanma sabitleri  $\alpha_s$ ,  $\alpha_{em}$  ve  $\sin \theta_w$ ,
- 6 adet kuark kütlesi,
- 3 adet karışım açısı,
- 1 adet faz,
- 2 adet Higgs potansiyeli,
- 3 adet yüklü lepton kütleleri,
- 1 adet QCD vakum faz açısı,
- 3 adet nötrino kütlesi (Majorana durumunda 6),
- 3 adet lepton karışım açıları (Majorana durumunda 15),
- 1 adet faz (Majorana durumunda)

olmak üzere toplam 26 adet keyfi parametreyi kapsar.

6. Neden bilinen etkileşmeler ayar simetrisinden kaynaklanır?
7. Madde-antimadde simetri (CP) ihlalinin gerçek orijini nedir?
8. Yerçekimi nasıl birleştirmeye dahildir?

9. Kuarklar ve leptonlar gerçekten temel parçacıklar mıdır? Bunlar daha temel yapıtaşlarından mı oluşur?

Üç aileli Standart Model;

- 18 adet kuark,
- 6 adet lepton,
- 1 adet foton,
- 8 adet gluon,
- 3 adet kütleli IVB,
- 1 adet  $H^0$ ,
- 1 adet graviton

olmak üzere toplam 38 adet temel parçacığı kapsamaktadır.

10. Renk objelerinin hapsedilme orijini nedir?

### 2.1.2. Yeni fizik

Günümüzde Standart Model, binlerce deneysel sonucu yorumlamaya imkân vermektedir. Ancak, yukarıda da belirttiğimiz birçok nedenden dolayı fizikçiler Standart Modelin ötesinde daha temel ve açıklayıcı kuramların olduğunu düşünmektedir [11].

#### Standart Model'in Standart Genişletilmeleri

##### *Higgs kesimi*

- İki veya daha fazla Higgs çifti ,
- isodoublet  $\phi$  (Dirac kütle terimleri), vektör isotriplet  $\xi$  (sol-elli nötrinolar için Majonara kütle terimi), isotriplet  $\Phi$  ( $\rho = 1$ )

olarak iki şekilde düşünülmektedir. Bu durumda yeni nötral ve yüklü Higgs bozonlarının varlığı öngörülmektedir.

### *Fermiyon kesimi*

- Dördüncü Standart Model ailesi,
- Yeni isosinglet sol-elli  $\nu_L$ ,
- Yeni isosinglet kuarklar ve vektör benzeri lepton isodoubletler ( $E_6$ ),
- Fermiyon isotripletler

gibi düşünülmektedir. Bu durumda yeni (standart olmayan) lepton ve kuarkların varlığı öngörülmektedir.

### *Ayar kesimi*

Standart Modelin  $SU_c(3) \times SU_w(2) \times U_y(1)$  ayar simetrisinde;

- Ek U(1) faktörü (leptonik foton veya  $E_6$ ),
- Ek SU(2) faktörü (L-R “simetrik” elektrozayıf sektör),

şeklinde düşünülmektedir. Yeni (kütleli) nötral ve yüklü vektör bozonların varlığı öngörülmektedir.

### Standart Model'in Radikal Genişletilmesi

#### *Kompozitlik*

- Kompozit Higgs,
- Kompozit kuarklar ve leptonlar,
- Kompozit W ve Z,
- Kompozit  $\gamma$  ve g

olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır. Yeni egzotik parçacıkların (leptokuark, leptogluon, uyarılmış fermiyonlar ve bozonlar gibi) ve etkileşmelerinin varlığı öngörülmektedir.

### *SUSY*

Süper Simetrik Model ile ilgili parçacık ve etkileşmeler;

- 3 aileli MSSM,
- 4 aileli MSSM,
- SUSY GUT,
- SUGRA

olmak üzere dört grupta incelenir. Temel parçacıkların spektrumu süper eşlerin dahil edilmesi ile zenginleştirilir.

## **2.2. Parçacık Hızlandırıcıları**

Atom altı parçacıklar bağımsız olarak ömürleri çok kısa olduğu için normal şartlar altında gözlemlenemezler. Bu amaçla oluşturulan ve parçacık hızlandırıcısı adı verilen düzeneklerde, yüksek elektrik veya manyetik alan etkisiyle hızlandırılan parçacıkların çarpıştırılması ile ortaya çıkan farklı parçacıklar incelenebilir duruma getirilir. Hızlandırılan parçacığın önemli iki özelliği, elektrik yükünün sıfırdan farklı ve yaşama ömrünün hızlandırmaya yeterli olmasıdır.

Temel parçacık fiziği araştırmaları bakımından hızlandırıcılar iki ana sınıfa ayrılır. Bunlar, TeV skalasının incelenmesine yönelik hızlandırıcılar ve parçacık fabrikalarıdır. Birinci tip hızlandırıcılara hadron çarpıştırıcıları (Tevatron, LHC, VLHC), lineer elektron-pozitron çarpıştırıcıları (TESLA, JLC, CLIC), muon çarpıştırıcıları ve linak-halka tipli elektron-hadron çarpıştırıcıları dahildir. İkinci tip hızlandırıcılar ise daha düşük enerjili B (KEK-B, PEP-B),  $c$ - $\tau$  ve  $\phi$  (DAΦNE, TAC) fabrikaları içerir.



21. yüzyılın stratejik teknolojilerinden biri olan hızlandırıcıların 300'den fazla kullanım alanları vardır [12]. Örneğin, İnsan Geni Haritalanması (GENOM) Projesi'nde DNA'ların yüzde 90'ını hızlandırıcılar kullanılarak çözülmüştür. İyon hızlandırıcılarının kullanıldığı çağdaş mikro elektronik teknolojisinde önemli gelişmeler görülmüştür. Bu örnekler sonsuza kadar uzatılabilir ve buradaki örneklerden hızlandırıcıların önemi bir kez daha anlaşılmaktadır. Dünyada 15 binden fazla orta ve büyük çaplı hızlandırıcılar kullanılmaktadır. Bu hızlandırıcılardan sadece 110'u parçacık ve nükleer fizikte temel araştırmalar için kurulmuş olup, kalanlar ise başta tıp ve sanayi olmak üzere diğer alanlarda da kullanılmaktadır.

Parçacık hızlandırıcılarının uygulama alanları incelenecek olursa, bugün dünyada çalışan 15000 hızlandırıcının yarısına yakını sanayide kullanılmaktadır. Bu hızlandırıcılarının en yaygın olanı, mikro-elektronik alanında yarıiletken aletlerin yapımı için kullanılan iyon implanatörleridir. Bir diğer yaygın kullanım alanı da kimya sanayisinde polimerlerin modifikasyonudur. Ayrıca yüzey modifikasyonu için kullanılan hızlandırıcılar da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Hızlandırıcılar tıp alanında da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunların en yaygını tümör tedavisinde kullanılan elektron linaklardır. Diğer hızlandırıcı türleri ise izotop üretimi için kurulmuş siklotronlar ve tümör tedavisinde kullanılan proton hızlandırıcılarıdır. Gelecekte çok önemli bir gelişme olarak, tümör tedavisinde kullanılacak hafif çekirdek hızlandırıcıları da görülecektir.

Malzeme bilimi, kimya ve biyoloji gibi alanlardaki temel ve uygulamalı araştırmalara yönelik hızlandırıcılar iki sınıfa ayrılır:

1. Sinkrotron ışınımı kaynakları ve serbest elektron lazerleri,
2. Hadron (proton ve çekirdek) hızlandırıcıları ve hızlandırılmış protonların durgun hedef ile çarpıştırılması sonucu oluşan ikincil demetler (nötron, mezon, muon gibi).

Ülkemizde, parçacık hızlandırıcıları ile ilgili hem temel hem de uygulamalı araştırmaların yapılması öngörülen linak-halka tipli bir charm-tau fabrikası ve sinkrotron ışınımı kaynağını içeren bölgesel bir proje önerisi 1993 yılında yayınlanmıştır (Şekil 2.1) [13]. Bu projenin fizibilite çalışmaları 2000 yılında, genel tasarım çalışmaları 2005 yılında tamamlanmıştır [3-5]. 2006 yılından itibaren projenin üçüncü aşaması Yaygınlaştırılmış Ulusal ve Uluslararası Proje (YUUP) şeklinde yürütülmektedir. Türk Hızlandırıcı Kompleksi (TAC) adı ile bilinen bu proje iki ana kısımdan oluşmaktadır;

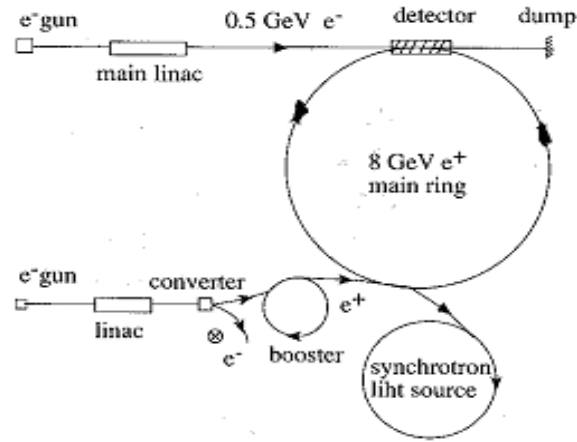
1. Linak-halka tipli charm fabrikası
2. GeV enerjili proton hızlandırıcısı.

TAC projesinin linak-halka tipli charm fabrikası kısmında;

- i. Charm fiziği ile ilgili temel araştırmalar
- ii. e-linak bazında kurulacak serbest elektron lazeri ve pozitron halkası bazında kurulacak sinkrotron ışınımı kaynağı ile uygulamalı araştırmalar yapılacaktır.

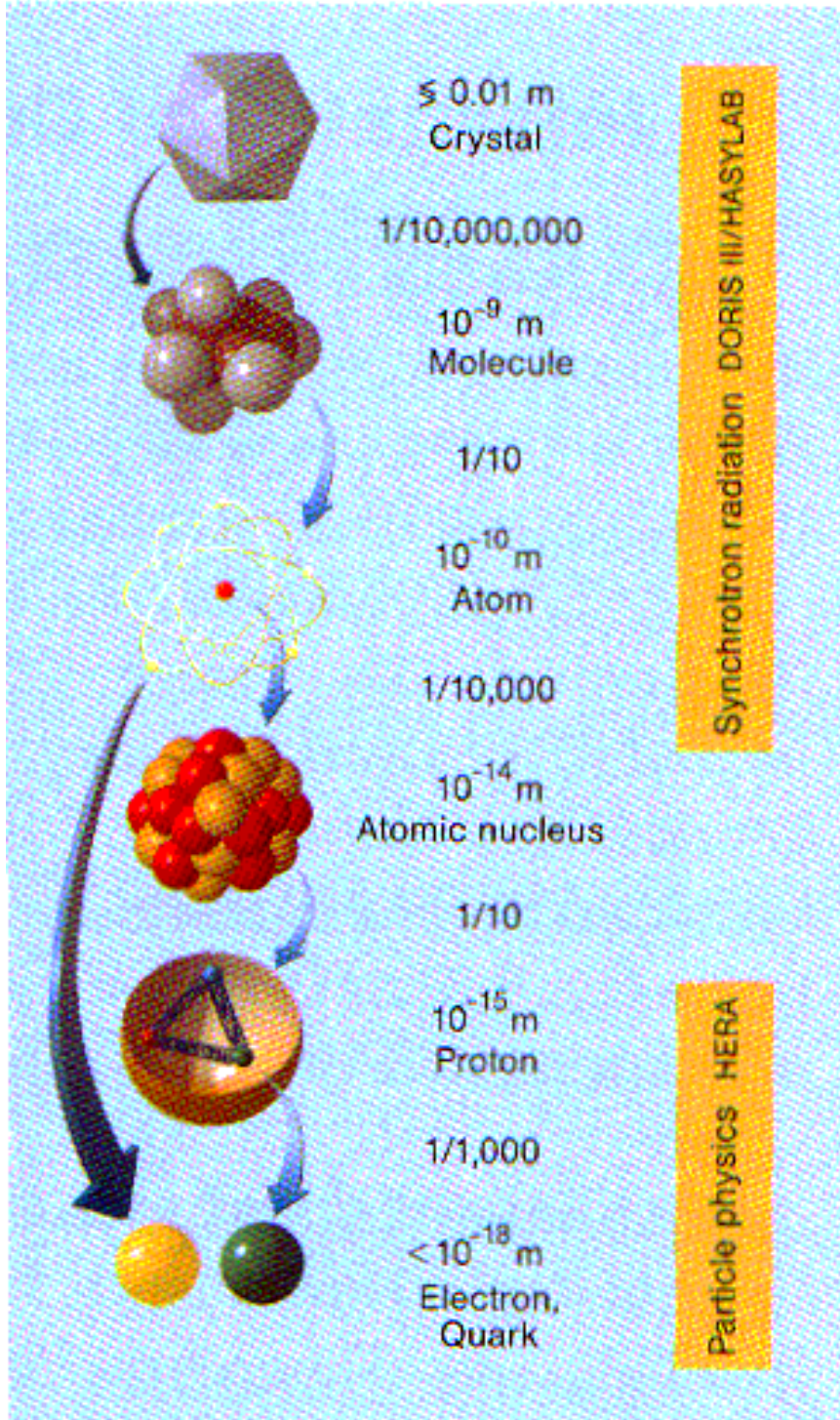
Ayrıca, TAC projesinin proton hızlandırıcısı nötron ve müon bölgelerinde uygulamalı araştırmalar yapılacaktır.

Parçacık hızlandırıcılarının enerji üretiminde kullanım alanlarından biri ise hızlandırıcı sürümlü (Enerji Yükselteci) sistemlerdir. Nobel ödülü sahibi Prof. Dr. C. Rubbia'nın önderliğinde bir grup fizikçi 1993 yılından itibaren CERN'de yeni tip Nükleer Reaktör ile ilgili "Energy Amplifier" isimli bir proje geliştirmişlerdir. Yoğun akımlı proton hızlandırıcısına dayalı olan bu yeni nükleer teknolojinin iki önemli avantajı vardır. Bunlar, toryumun nükleer yakıt olarak kullanılması ve zararlı atıkların en aza indirilmesidir.



Şekil 2.1. Türk Hızlandırıcı Kompleksi projesinin ilk şekli [13]

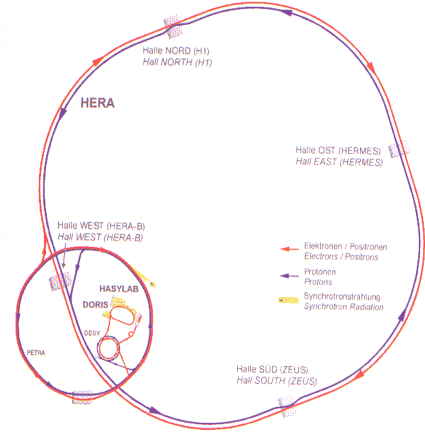
Dünyadaki parçacık hızlandırıcılarının merkezleri; CERN, FNAL, SLAC, DESY, KEK ve benzeri olarak sıralanabilir. Örneğin, 1959 yılında Hamburg kentinde kurulmuş olan DESY bugün dünyanın en saygın hızlandırıcı laboratuvarlarından biri olup, Almanya'nın 16 ulusal araştırma merkezinin en büyüğüdür. Çevresi 6336 metre olan HERA (Hadron Elektron Halka Hızlandırıcısı) çarpıştırıcısında kurulmuş dört büyük detektör vasıtası ile temel araştırmalar yapılmaktadır ve protonların iç yapısı bugüne kadar ulaşılan en küçük mesafelerde ( $10^{-18}$  m) incelenmektedir (Şekil 2.2). Aynı zamanda HASYLAB'da (Hamburg Sinkrotron Işınımı Laboratuvarı) bilim ve teknolojinin birçok alanında çalışmalar yapılmaktadır (Şekil 2.3).



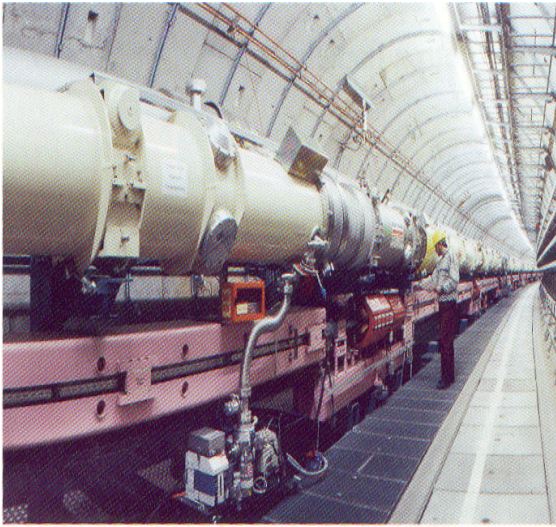
Şekil 2.2. DESY’de incelenen yapıların boyutu [14]



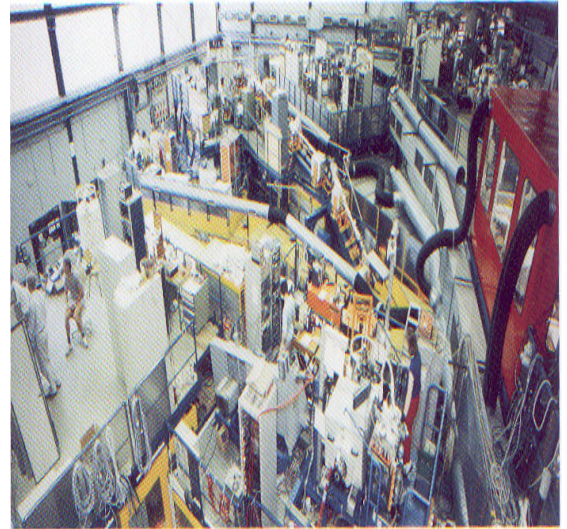
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 2.3. a) DESY araştırma merkezinin genel görünümü b) DESY hızlandırıcılarının şeması c) HERA tüneline bir görünüm d) DESY HASYLAB 'dan bir görünüm [14]

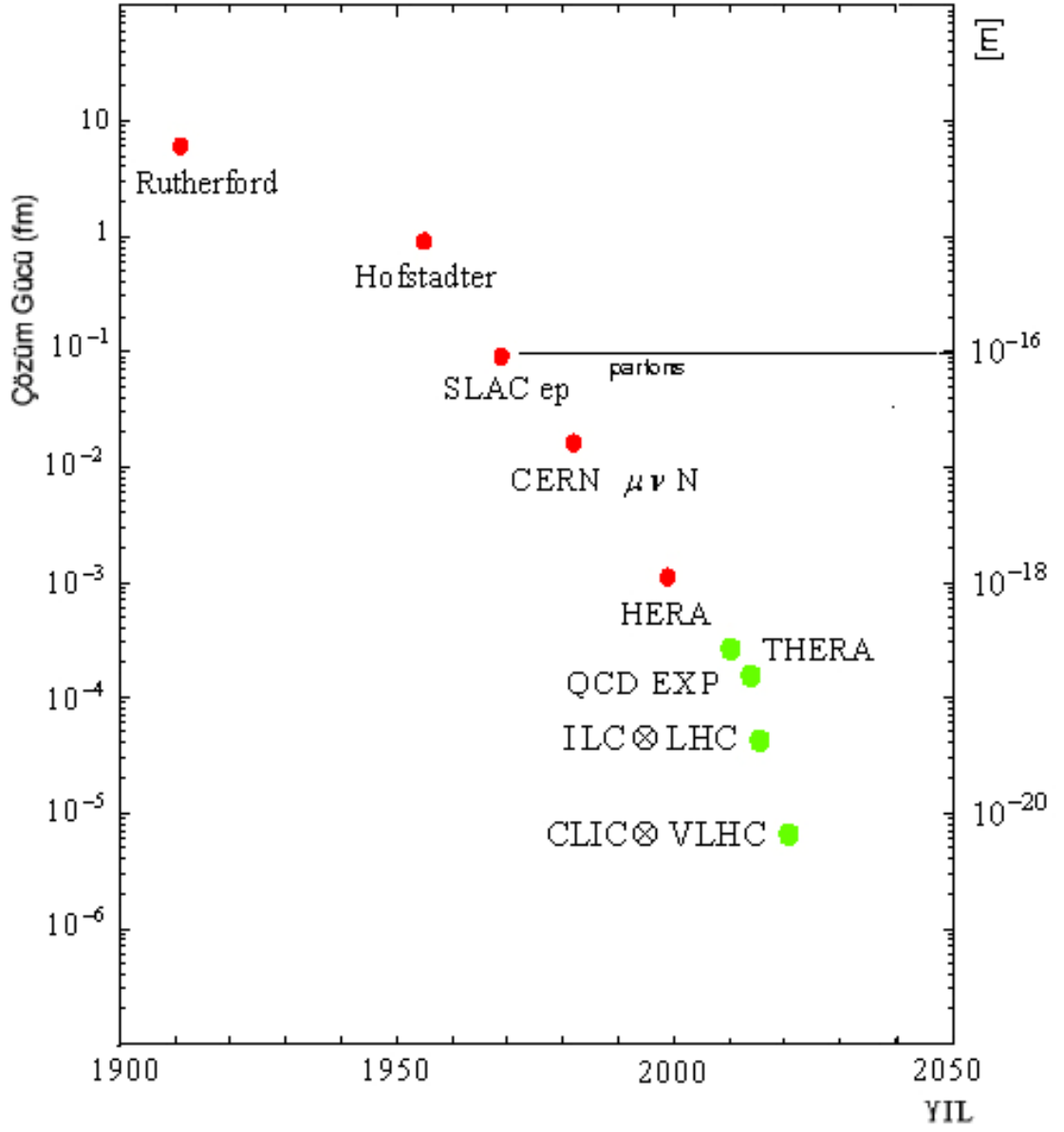
### 2.3. Çarpıştırıcılar

İlk parçacık hızlandırıcıları 1930'larda kurulmasına rağmen 1950'lere kadar temel parçacıklarla ilgili önemli buluşlar kozmik ışın deneylerinde elde edilmiştir. Bunun temel nedeni o zamanki hızlandırıcılarda ulaşılabilen enerjilerin düşük olmasıdır. Bu enerjilerin yükselmesi ve özellikle çarpıştırıcıların kurulması sonucunda hızlandırıcılar, maddenin yapıtaşlarını, özelliklerini ve etkileşmelerini inceleyen en önemli aygıtlar durumuna gelmiştir. Rutherford deneylerinden CLIC-VLHC'ye kadar zaman diliminde maddenin yapısını araştırmak için yapılan gelişmeler Şekil 2.4'de gösterilmiştir [15].

Bugüne kadar hızlandırıcılar vasıtası ile elde edilen bulgulardan bazıları; BNL'de elektron ve muon nötrinolarının farklı parçacık olduğunun ispatlanması, SLAC'da hadronların kuark-parton yapısının bulunması, çeşitli hızlandırıcı merkezlerinde  $\tau$ -leptonun, c ve b kuarklarının bulunması, CERN Spp(bar)S'de zayıf etkileşmelerin taşıyıcısı olan W ve Z bozonlarının keşfi, DESY PETRA'da kuvvetli etkileşmelerin taşıyıcısı gluonların doğada mevcut olduğunun ispatlanması ve FNAL Tevatron'da t kuarkın keşfidir.

Gelecek nesil çarpıştırıcıların ana amacı alt-süreç düzeyinde TeV skalasına ulaşmaktır. Alt-süreç düzeyinde TeV skalasına dört şekilde ulaşmak mümkündür (Bölüm 4.4'de bu tür çarpıştırıcılar ile ilgili açıklama yapılmıştır):

1. Halka tipli hadron çarpıştırıcıları
2. Lineer elektron-pozitron çarpıştırıcıları
3. Halka tipli müon çarpıştırıcıları
4. Linak-halka tipli lepton-hadron çarpıştırıcıları



Şekil 2.4. Rutherford deneylerinden CLIC-VLHC'ye kadar maddenin yapısını araştırmak için yapılan ve önerilen deneylerin çözüm gücünün zamana göre gelişimi [15,16]

Temel parçacıkların ve etkileşmelerin özelliklerinin incelenmesi bakımından, düşük enerjili ve yüksek ışınlığa sahip (incelenen olay sayısında yüksek istatistiklere ulaşmak için) tasarımların gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu tasarımlara genelde parçacık fabrikaları adı verilir ve üç sınıfa ayrılır:

1. Halka-halka tipli lepton çarpıştırıcıları
2. Linak-halka tipli lepton çarpıştırıcıları
3. Proton demetinin durgun hedefle çarpıştırılması

#### Halka-Halka Tipli Çarpıştırıcılar

Bugün dünyada SLAC ve KEK’de olmak üzere iki asimetric (elektron ve pozitron enerjileri farklı olan) B fabrikası çalışmaktadır. Ana parametreleri  $\sqrt{s} = 10$  GeV ve  $L = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  olan B fabrikalarının amacı, B-mezonların bozunumunda CP simetrisinin kırılmasını incelemektir. Üçüncü parçacık fabrikası Frascati (İtalya)’da kurulmuş olan DAΦNE’dir. Kütle merkezi enerjisi ve ışınlık değeri sırasıyla  $\sqrt{s} = 1$  GeV ve  $L = 5 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ’dir. Tasarlanmış ışınlık değerine ulaşamayan DAΦNE’de çok sayıda acayip parçacık üretilmektedir.

#### Linak-Halka Tipli Lepton Çarpıştırıcıları

Bu tip çarpıştırıcılara örnek, SLAC ve CERN’de geliştirilen linak-halka tipli B fabrikası projesidir. Bu proje halka-halka tipli B fabrikaların çalıştırılması ile güncelliğini kaybetmiş durumdadır. Daha düşük enerjili c-τ fabrikası güncelliğini korumaktadır.

#### Proton Demetinin Durgun Hedefle Çarpıştırılması

Bu tip çarpıştırıcılara örnek olarak, DESY’de çalışmakta olan HERA-B ve CERN’de yapılması planlanan LHC-B verilebilir. Daha hafif parçacıkların üretimine örnek olarak da Kanada’da çalıştırılan TRIUMPH kompleksi gösterilebilir. Bu tür deneyler



daha çok temel parçacıkların nadir bozunumlarını incelemeye yöneliktir. Son yıllarda nötrino salınımlarını incelemek amacı ile yeni yoğun akılı proton hızlandırıcıları tasarlanmaktadır.

### 3. LEPTON-HADRON ÇARPIŞTIRICILARI

#### 3.1. Lepton Hadron Çarpıştırıcılarının Önemi

Lepton-hadron çarpıştırıcıları maddenin en derin temel yapısının incelenmesi için önemli bir rol oynar. Örneğin, kuark-parton modeli elektron-çekirdek saçılması araştırmasından ortaya çıkmıştır. Sabit hedef deneylerinden sonra  $\sqrt{s_{ep}} \approx 0,3$  TeV kütle merkezi enerjili HERA elektron-proton çarpıştırıcısı kinematik bölgeyi yüksek  $Q^2$  ve küçük  $x$  değerlerine uzatarak bu alanda yeni bir çağ açmıştır. Fakat parton yoğunluk doyma oranının belirtilmesi gereken yeterince küçük  $x$  ( $\leq 10^{-5}$ ) ve yüksek  $Q^2$  ( $\geq 10 \text{ GeV}^2$ ) bölgesine ulaşamamıştır. Küçük  $x$  ve yüksek  $Q^2$ 'de fizik olaylarını araştırmak çekirdekten partonlara kadar güçlü etkileşmelerin doğasını anlamak için çok önemlidir. Aynı zamanda lepton-hadron çarpıştırıcılarının sonuçları gelecek hadron çarpıştırıcılarında fizik yorumu için gerekli olacaktır. LHC çarpıştırıcısı 2007'de çalışmaya başladıktan sonra, 2010'larda  $\sqrt{s} \approx 1$  TeV kütle merkezi enerjisi ile elektron-proton çarpıştırıcısının kurulması çok yararlı sonuçlar verecektir. Bugün linak-halka tipi makinalar lepton-hadron çarpıştırıcılarında TeV skalasına ulaşmak için temel yol olarak görülmektedir [15]. Gelecek lineer çarpıştırıcılarının veya özel tasarlanmış e-linakın mevcut olan (HERA, TEVATRON, RHIC) veya planlanan (LHC, VLHC) hadron halkalarına teğet olarak kurulması ep ve eA opsiyonları ile birlikte aşağıdaki gibi yeni güçlü araçlar sağlanacaktır:

1. TeV skalasında  $\gamma p$  ve  $\gamma A$  çarpıştırıcıların fotonları yüksek enerjili elektron demetinden Compton geri saçılması kullanılarak yüksek enerjili foton demetine dönüştürülür [17-24]. Foton-hadron opsiyonları standart (halka-halka) tipi elektron-hadron çarpıştırıcılarında gerçekleştirilemez [17].
2. FEL-çekirdek çarpıştırıcıları [25]. keV enerjili lazer demetinin üretimi için e-linak kullanılabilir. Nükleer rezonans flüoresans deneyleri için FEL-çekirdek çarpıştırıcılarında ideal foton kaynağı olarak bütün istenenler karşılanmaktadır [26].

1 TeV'den büyük kütle merkezi enerjilerinde birkaç standart (halka-halka tipi) elektron-proton çarpıştırıcı önerileri mevcuttur. Bu önerilerden biri LHC için elektron-proton opsiyonudur [27]. Tüneldeki 67,3 GeV elektron halka yapısı LHC programının bir parçası olarak düşünülmüştür [28]. Diğeri ise, elektron-proton çarpıştırıcısına yönelik VLHC tüneline 180 GeV e-halka yapısıdır [29]. Ancak LHC ve VLHC tünellerinde elektron-halkasının eklenmesi birçok teknik problemlere neden olabilecektir. Son zamanlarda, bu önerilerin linak-halka tipi çarpıştırıcıları tartışılmaktadır. Linaklarda daha kısa uzunluklar ile aynı uygun kütle merkezi enerjileri ve ışınlıkları sağlanacaktır.

Bu çalışmada, LHC ve VLHC'ye dayalı standart tip elektron-proton çarpıştırıcılarının doğrusal-halka benzeri incelenmektedir. Buna göre aşağıdaki gibi iki temel varsayım verilmelidir:

- 1- Doğrusal ve halka demetleri aynı elektron enerjilerine sahiptir
- 2- Doğrusal demet gücü e-halka sinkrotron ışınma gücüne eşittir

### 3.2. Linak-Halka Tipi Çarpıştırıcılar

Çarpıştırıcı parametreleri kütle merkezi enerjisi ve ışınlık değeri olmak üzere iki önemli kısma ayrılır. Kütle merkezi enerjisi yeni parçacıkların ulaşılabilir kütlelerini belirler. Işınlık ile tesir kesiti çarpımı olay sayısını verir. Demet polarizasyonu, enerji yayılımı, çarpışma frekansı ve çarpışma başına ışınlık parametreleri değişik sınırlamalar için önemli olmaktadır. Ultra-relativistik kafa kafaya çarpışan parçacıklar için kütle merkezi enerjisi  $\sqrt{s} = 2\sqrt{E_e E_p}$  ile verilir. Linak-halka tipi elektron-proton çarpıştırıcılarının ışınlığı için en açık ifade,

$$L_{ep} = \frac{1}{4\pi} \frac{P_e}{E_e} \frac{N_p}{\epsilon_p^N} \frac{\gamma_p}{\beta_p^*} \quad (3.1)$$

şeklinde verilir [30]. Burada  $E_e$  elektronun enerjisi,  $P_e$  elektron demet gücü,  $N_p$  ve  $\epsilon_p^N$  proton demetinde parçacıkların sayısı ve proton demetinin normalize emitans,  $\gamma_p$  Lorentz faktörü ve  $\beta_p^*$  etkileşme noktasındaki proton demetinin beta fonksiyonunu tanımlar. Elektron demeti için ilk sınırlama demet gücünden gelir ve,

$$P_e = N_e E_e n_b f_{rep} \quad (3.2)$$

ile ifade edilir. Burada,  $N_e$  elektron demetinde parçacıkların sayısı,  $n_b$  linak pulse'da demetlerin sayısı ve  $f_{rep}$  linak tekrarlama frekansıdır. Hızlandırma verimi dikkate alınır,  $P_e$ 'nin makul değeri birkaç MW'dır. Demet başına elektronların maksimum sayısı proton demetinin demet-demet ayar kayması ile,

$$\Delta Q_p = \frac{N_e r_0 \beta_p^*}{2\pi \gamma_p \sigma_{xe} (\sigma_{xe} + \sigma_{ye})} \quad (3.3)$$

şeklinde verilir. Burada,  $r_0$ , protonun klasik yarıçapıdır ve değeri  $1,54 \cdot 10^{-18}$  m'dir.  $\sigma_{xe}$  ve  $\sigma_{ye}$  etkileşme noktasındaki elektron demetinin yatay ve düşey bileşenleridir. Halka-halka çarpıştırıcılarında protonlar için kabul edilebilir demet-demet ayar kayması değeri  $\Delta Q_p \leq 0,003$ 'dür. Bu sınır değer linak-halka tipi çarpıştırıcılar için daha büyük olabilir. Elektronlar için bozma parametresi,

$$D = \frac{2N_p r_e}{\gamma_e} \frac{\sigma_{zp}}{\sigma_{xp} (\sigma_{xp} + \sigma_{yp})} \quad (3.4)$$

ile verilir. Burada,  $r_e$  klasik elektron yarıçapı,  $\sigma_{zp}$  proton demet boyu,  $\sigma_{xp}$  ve  $\sigma_{xy}$  yatay ve düşey proton demet bileşenleridir. Emitans büyümesine yol açan, proton demetinde en önemli sınırlama demet içi saçılmasından (IBS) meydana gelir. Linak-halka tipi çarpıştırıcılar için IBS büyüme zamanı  $\tau_{IBS} \geq 1$  saat kabul edilir. Kıyaslama yaparsak, LHC proton demeti için doldurma zamanı 7,5 dakika ve hızlandırma periyodu 1200 s olur. Yapılan hesaplarda referansdaki formülasyon kullanılmıştır [31-33].

#### 4. KUANTUM RENK DİNAMIĞI ARAŞTIRICISI (QUANTUM CHROMODYNAMIC-EXPLORER, QCD-E)

##### 4.1. Parametreler

LHC tünelindeki 67,3 GeV'lik elektron halkası ile elektron-proton seçeneği için elektron ve proton demet parametreleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.  $\sqrt{s_{ep}} = 1,37$  TeV kütle merkezi enerjisi ve  $L_{ep} = 1,2 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ışınlık değeri elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. LEP-LHC bazında elektron-proton parametreleri [26]

Elektron demeti parametreleri	
Enerji, $E_e$ (GeV)	67,3
Paketçik başına elektron sayısı, $N_e$	$6,4 \times 10^{10}$
Emitans, $\epsilon_e$ (nm)	9,5/2,9
Beta fonksiyonu, $\beta_{xe} / \beta_{ye}$ , (m)	0,85/0,26
Demet-demet ayar kayması, $\Delta Q_x / \Delta Q_y$	0,027/0,027
Işıma gücü, W [MW]	34,5
Proton demeti parametreleri	
Enerji, $E_p$ (TeV)	7
Paketçik başına proton sayısı, $N_p$	$10^{11}$
Emitans, $\epsilon_p$ (nm)	0,5
Beta fonksiyonu, $\beta_{xp} / \beta_{yp}$ , (m)	16/1,50
Demet-demet ayar kayması, $\Delta Q_x / \Delta Q_y$	0,0032/0,0010
Çarpışma parametreleri	
Kütle merkezi enerjisi, $\sqrt{s}$ (TeV)	1,37
Işınlık, ( $10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	1,2

Daire çevresi yaklaşık 27 km olan elektron halkası yerine elektron linak kullanılırsa,  $E_e = 67,3$  GeV,  $P_e = 34,5$  MW ve nominal LHC proton demet parametreleri  $N_p = 1,1 \times 10^{11}$ ,  $\epsilon_p = 0,5$  nm,  $\beta_p^* = 0,5$  m ile Eş. 3.1'den linak-halka seçeneği için ışınlık değeri  $L_{ep} = 1,1 \times 10^{31}$  cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> olarak hesaplanır [34]. Eğer  $N_p = 10^{11}$ ,  $\epsilon_p^N = 10^{-6}$  m ve  $\beta_p^* = 10$  cm olan THERA proton demet parametreleri seçilirse, “ideal” elektron linak için ışınlık değeri  $L_{ep} = 1,9 \times 10^{32}$  cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> olarak hesaplanır [35].

“Gerçek” elektron linak teknolojileri olarak TESLA ve CLIC örnek alalım. Çizelge 4.2’de TESLA (THERA seçeneği) ve CLIC elektron demet parametrelerinin nominal değerleri verilmiştir [35-37]. Nominal LHC demeti ile “TESLA”-LHC ve “CLIC”-LHC çarpıştırıcılarının ana parametreleri Çizelge 4.3’de verilmiştir. Çizelge 4.3’de görüldüğü gibi TESLA seçeneği durumunda tüm elektron demetleri kullanılır. Oysa CLIC elektron demetlerinin sadece yaklaşık %3’ü LHC proton demetleri ile çarpıştırır. LHC için süper paketçik seçeneği bütün CLIC demetini kullanmak için uygundur, fakat enjektörden ana halkaya kadar tüm hızlandırıcı sisteminde kökten değişiklik yapılması istenir [38,39]. Nominal LHC parametreleri ile “TESLA” için  $L_{ep} = 1,9 \times 10^{30}$  cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> ve “CLIC” için  $L_{ep} = 1,4 \times 10^{28}$  cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> ışınlık değerleri elde edilir (Çizelge 4.3). LHC proton demetinin THERA benzeri değişikliği ile ışınlık sırayla  $L_{ep} = 3,3 \times 10^{31}$  cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> ve  $L_{ep} = 2,3 \times 10^{29}$  cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> değerlerine ulaşır (Çizelge 4.4).  $L_{ep} = 1,2 \times 10^{32}$  cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> ışınlık değerine ulaşmak için TESLA ve CLIC teknolojilerinde sırayla yaklaşık 3.5 ve 500 faktöre ihtiyaç vardır.

HERA ile karşılaştırıldığında 7 kez daha büyük proton demet enerjisinden dolayı LHC demetinde proton sayısı artırılabilir. Örneğin,  $N_p = 5 \times 10^{11}$  ve  $\epsilon_p^N = 10^{-6}$  m için LHC demet yaşama ömrü yaklaşık 5 saattir. Bu durumda TESLA teknolojisi ile  $L_{ep} = 10^{32}$  cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> ışınlık değeri elde edilir. CLIC teknolojisi durumunda ise elektron demetinin parametreleri üzerinde radikal değişiklikler yapılmalıdır. Örneğin,

$N_e$  değeri yaklaşık 2,5 faktör ile arttırılabilir. CLICHÉ şeması kullanılırsa radyo frekansı puls başına demet sayısının artmasından dolayı etkin çarpışma frekansı 10 faktör büyütülebilir [40]. Kalan 4 faktör “dinamik odaklama” ile sağlanabilir [41,42].

Çizelge 4.2. TESLA ve CLIC elektron demetlerinin nominal parametreleri

	TESLA	CLIC
Hızlandırma gradyanı, MeV/m	23,4	150
Paketçik aralığı, $\tau_e$ (ns)	211,37	0,66
Paketçik sayısı, $n_b$	5600	154
Tekrarlama frekansı, $f_{tek}$ , (Hz)	5	200
Paketçik başına elektron sayısı, $N_e$ ( $10^{10}$ )	2	0,4

Çizelge 4.3. Nominal LHC demeti ile “TESLA”–LHC ve “CLIC”–LHC çarpıştırıcılarının ana parametreleri

	“TESLA”	“CLIC”
Etkin linak uzunluğu, (km)	2,88	0,45
Paketçik aralığı, $\tau_e$ (ns)	211,37	0,66
Paketçik aralığı, $\tau_p$ (ns)	25	25
$\tau_p/\tau_e$ ( $\tau_p = 25$ ns)	0,118	37,88
Etkin paketçik sayısı, $n_b^{etk}$	5600	5
Paketçik başına proton sayısı, $N_p$	$1,1 \times 10^{11}$	$1,1 \times 10^{11}$
Beta fonksiyonu, $\beta_p^*$ (m)	0,5	0,5
Emitans, $\epsilon_p$ (nm)	0,5	0,5
Işınlık, $L_{ep}$ ( $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	$1,9 \times 10^{30}$	$1,4 \times 10^{28}$

Böylece, yaklaşık 27 km elektron halkası yerine sırayla yaklaşık 2,9 km ve 0,45 km aktif uzunluklardaki TESLA ve CLIC benzeri elektron linaklar aynı kütle merkezi enerjisini verir. TESLA ve LHC demetlerinin uygun parametre seçilmesiyle  $L_{ep} = 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  ışınlık değeri elde edilir. Aynı ışınlık değerini elde etmek için ise CLIC elektron demet parametrelerinin daha “radikal” seçilmesi gerekir.

Çizelge 4.4. LHC proton demet parametrelerinin THERA benzeri yenilenmesi ile “TESLA”-LHC ve “CLIC”-LHC ana parametreleri

	“TESLA”	“CLIC”
Paketçik başına proton sayısı, $N_p$	$10^{11}$ ( $5 \times 10^{11}$ )	$10^{11}$ ( $5 \times 10^{11}$ )
Beta fonksiyonu, $\beta_p^*$ (cm)	10	10
Normalize emitans, $\epsilon_p^N$ ( $\mu\text{m}$ )	1	1
Demet ayar kayması, $\Delta Q_p$	0,0024	0,0005
Bozma parametresi, D	12 (60)	12 (60)
Işınlık, $L_{ep}$ ( $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	$3,3 \times 10^{31}$ ( $1,6 \times 10^{32}$ )	$2,3 \times 10^{29}$ ( $1,2 \times 10^{30}$ )

## 4.2. QCD-E ve LHeC Önerilerinin Karşılaştırılması

Bugün kuvvetli etkileşmelerin incelenmesi ile ilgili olarak iki önemli elektron-proton çarpıştırıcısı proje önerisi vardır. Bunlar, LHC tüneline kurulacak 70 GeV’lik elektron (pozitron) demeti ile LHC’nin hadron demetinin çarpışmasını öngören Büyük Hadron Elektron Çarpıştırıcısı (LHeC) ve bu bazda incelenecek linak-halka tipi elektron-proton çarpıştırıcısı olan Kuantum Renk Dinamiği Araştırıcısı (QCD-E) projeleridir [43-45].

LHeC projesinin lepton ve proton demetlerinin ana parametreleri Çizelge 4.5’de verilmiştir. Kütle merkezi enerjisi ve beklenen ışınlık değerleri sırayla



$\sqrt{s_{ep}} = 1,4 \text{ TeV}$  ve  $L_{ep} = 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , dir. LHC tüneline elektron halkasının eklenmesinin bir takım teknik problemlere neden olabileceği düşünülerek (LHC tüneline yeniden elektron halkası kurulması LHC'nin uzun süre devre dışı kalması anlamına gelmektedir, ATLAS ve CMS dedektörlerinin yerleştiği çarpışma bölgelerini by-pass etmek için toplam uzunluğu kilometrelerce olan ek tünellerin kazılması gerekir gibi) alternatif bir linak-halka tipi elektron-proton seçeneğinin göz önüne alınması gerekmektedir.

Çizelge 4.5. LHeC demetlerinin ana parametreleri [43]

	Lepton	Proton
Demet enerjileri, (GeV)	70	7 000
Paketçik başına parçacık sayısı, $10^{10}$	1,04	17
Paketçik aralığı, (ns)	25	25
Yatay emitans, (nm)	25,9	0,5
Düşey emitans, (nm)	5	0,5
Etkileşme noktasındaki yatay $\beta$ , cm	3,77	180
Etkileşme noktasındaki düşey $\beta$ , cm	4,44	50
Dönme başına enerji kaybı, (GeV)	0,676	$6 \times 10^{-6}$
Işıma gücü, (MW)	50	0,003

Linak-halka tipi elektron-proton çarpıştırıcısı için en açık ifade:

$$L = 4.8 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1} \frac{n_p}{10^{11}} \frac{10^{-6} \text{ m}}{\varepsilon_p} \frac{\gamma_p}{1066} \frac{10 \text{ cm}}{\beta_p} \frac{P_e}{22.6 \text{ MW}} \frac{250 \text{ GeV}}{E_e} \quad (4.1)$$

şeklinde verilir [46]. Burada,  $P_e$  elektron halka ışına gücüne eşit elektron demet gücünü gösterir.  $E_e = 70 \text{ GeV}$ ,  $P_e = 50 \text{ MW}$  ve LHC proton demet parametreleri ile linak-halka tipli elektron-proton çarpışmaları için ışınlık değeri

$L_{ep} = 2,4 \times 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  olarak elde edilir. Eğer THERA  $n_p = 10^{11}$ ,  $\epsilon_p^N = 10^{-6} \text{ m}$  ve  $\beta_p^* = 10 \text{ cm}$  proton demet parametreleri seçilirse “ideal” elektron linak için ışınlık değeri  $L_{ep} = 2,6 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ’dir [35]. 3-4 faktörün eklenmesi dinamik odaklama sayesinde sağlanabilir [41,42]. Böylece QCD-E’da elektron-proton çarpışmaları için LHeC ile aynı ışınlık değeri elde edilir.

Kütle merkezi enerjisi açısından THERA’ya yakın olan LHeC ve QCD-E çarpıştırıcıları kinematik açıdan düşük x bölgesini incelemek için daha avantajlıdır. THERA durumunda olduğu gibi QCD-E’nin de  $\gamma A$  opsiyonu kuvvetli etkileşmelerin derinlemesine incelenmesi açısından daha avantajlı olduğu düşünülmektedir.

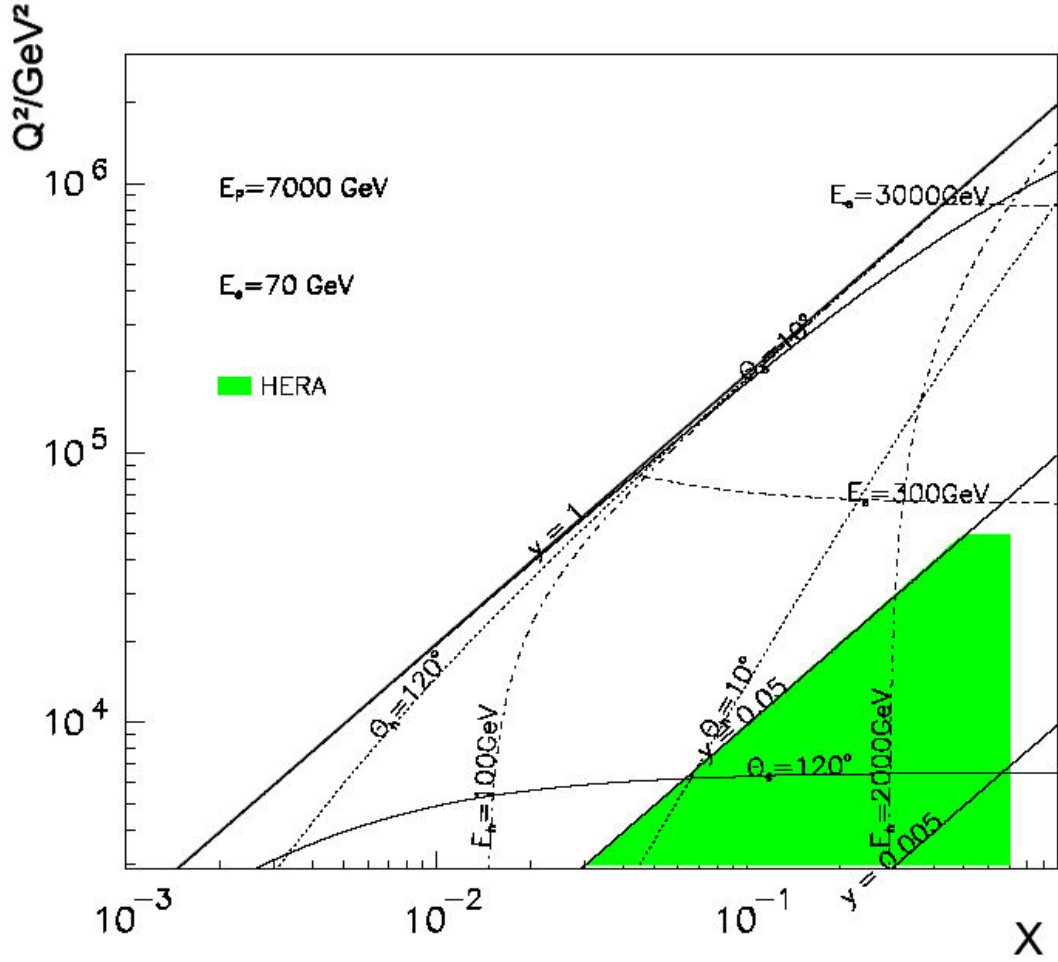
### 4.3. QCD-E ve LHeC Çarpıştırıcılarında Yeni Fizik

#### Standart Model Ötesi Fizik

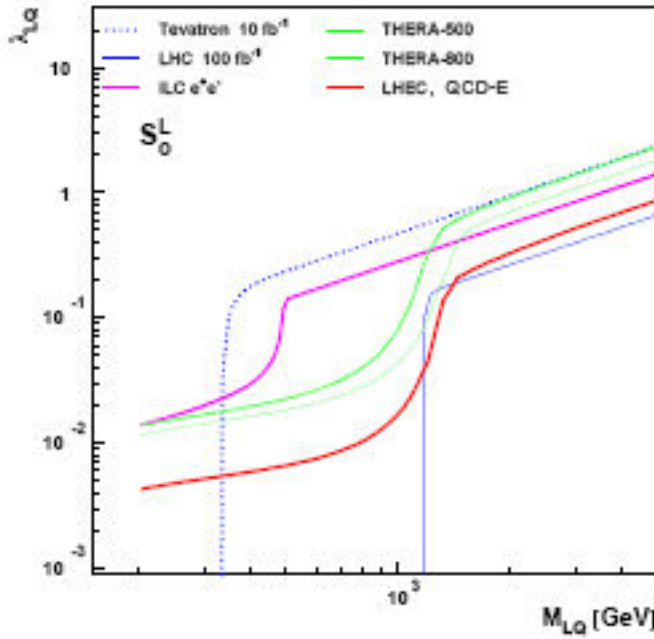
LHeC ve QCD-E elektron-kuark kütesinin  $M^2 = s \cdot x$  değerindeki derin elastik olmayan saçılma (DIS) fiziği için incelenebilir kinematik bölgenin genişlemesini sağlar (Şekil 4.1). Elektron-proton çarpıştırıcısı başlangıç durumundaki baryonik ve leptonik kuantum sayılarından dolayı elektron-kuark çiftlerinin oluşturduğu yeni bozonların (leptokuarkların) özelliklerinin araştırılması için en uygun ortamı sağlar. Standart Model (SM) ötesi teorilerde öngörülen parçacıklar, R-parite ihlali ile meydana gelen süper simetrik parçacıklar (skuarklar) veya birinci aile leptokuark (LQ) bozonlarıdır. Bu parçacıklar, protonlarda kuarklar ile elektronların füzyonu yoluyla tek s-kanal rezonanslar şeklinde üretilir. Üretilen rezonanslara “leptokuark” adı verilir.

Şekil 4.2’de Tevatron, LHC, ILC, THERA, LHeC ve QCD-E çarpıştırıcılarındaki skaler leptokuark üretimi için beklenen duyarlılık gösterilmiştir. Tek leptokuark üretim tesir kesiti elektron-kuark çifti için  $\lambda$  bağlanma sabitine bağlıdır. 1 TeV’in altında leptokuark kütlelerinin LHeC ve QCD-E’da gözlenmesi beklenmektedir. LHC’deki proton-proton etkileşmelerindeki leptokuarklar, gluonlar veya çift üretimi

yoluyla üretilmektedir. Elektron-proton çarpıştırıcılarında leptokuark üretimi için lepton-jet bozunumu ile kuantum sayılarını doğrudan ve kesin incelemek LHeC ve QCD-E'da mümkün olacaktır.



Şekil 4.1. Yüksek  $Q^2$ 'de LHeC ve QCD-E'daki elektron-proton saçılma kinematiği [43]



Şekil 4.2. LHeC ve QCD-E’de leptokuark aranması [43]

### Fermiyon Sayısı (F)

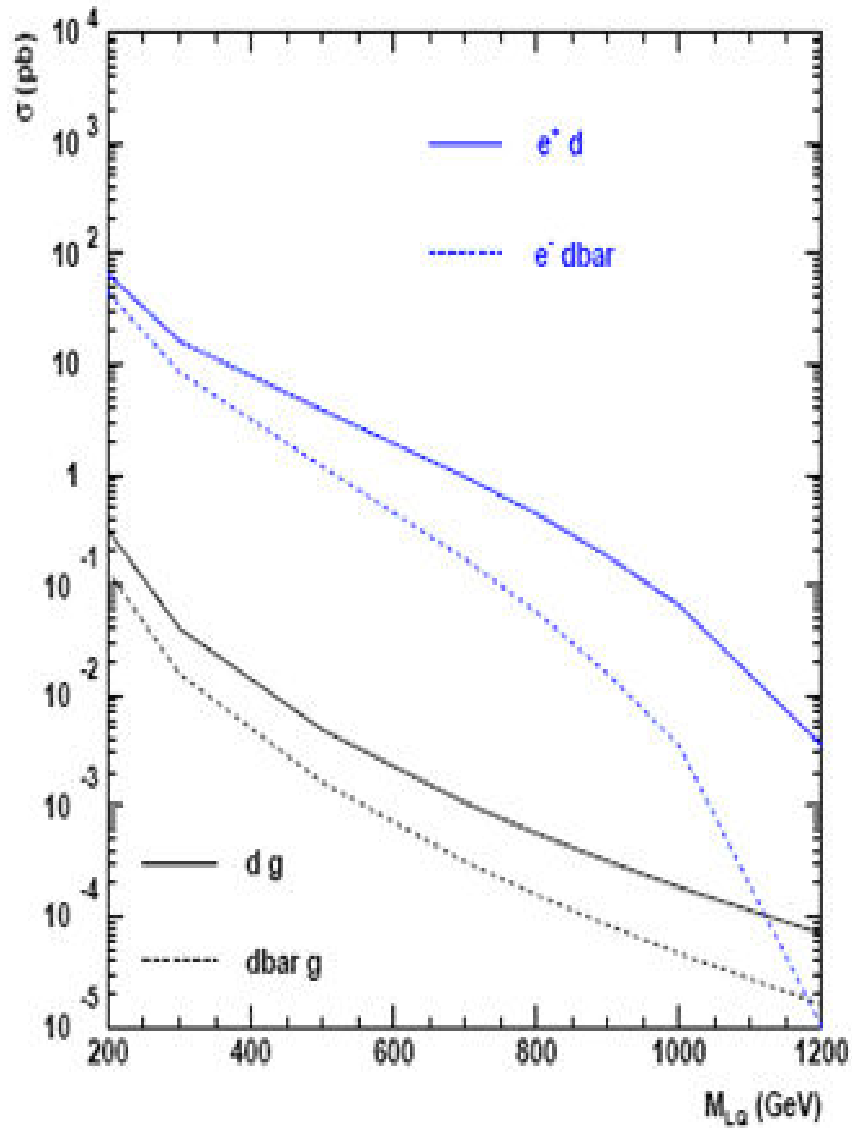
LHeC ve QCD-E’deki leptokuarklar için üretim tesir kesiti pozitron-proton (elektron-proton) çarpıştırıcılarında  $F = 0$  ( $F = 2$ ) fermiyon sayısı için daha yüksek değer alır. Çünkü yüksek  $x$ ’de  $u$  ve  $d$  için parton yoğunluğu  $\bar{u}$  ve  $\bar{d}$ ’dan daha yüksek değerdedir. Pozitron-proton ve elektron-proton çarpıştırıcılarındaki leptokuark tesir kesitlerinin asimetric ölçümü ile fermiyon sayıları belirlenebilir. LHC’de leptokuarkların çift üretimi süreci bu sayıların belirlenmesine imkan vermez. LHC’deki tek leptokuark üretim tesir kesiti değeri LHeC ve QCD-E’den 2 merteye daha düşüktür (Şekil 4.3) [47].

### Spin

LHeC ve QCD-E’de leptokuark bozunumu sonucu oluşan ürünlerin açısız dağılımı doğrudan leptokuarkın spinine bağlıdır.

### $\lambda$ Bağlanma Sabiti

LHeC ve QCD-E'da  $\lambda$  bağlanma sabitinin küçük değeri için bile hassasiyet fazladır. LHC'deki proton-proton etkileşmesi tek leptokuark ve t-kanal leptokuark yoluyla dilepton üretiminde bağlanma sabiti hassasiyeti ile ilgili bilgi vermektedir. Tek leptokuark üretim tesir kesiti,  $\lambda$  bağlanma sabiti ve kuark çeşnisine bağlıdır.



Şekil 4.3. LHeC'de ve LHC'de tek leptokuark üretiminin tesir kesiti [43]

### Yüksek Parton Yoğunluk Fiziği (Küçük $x$ )

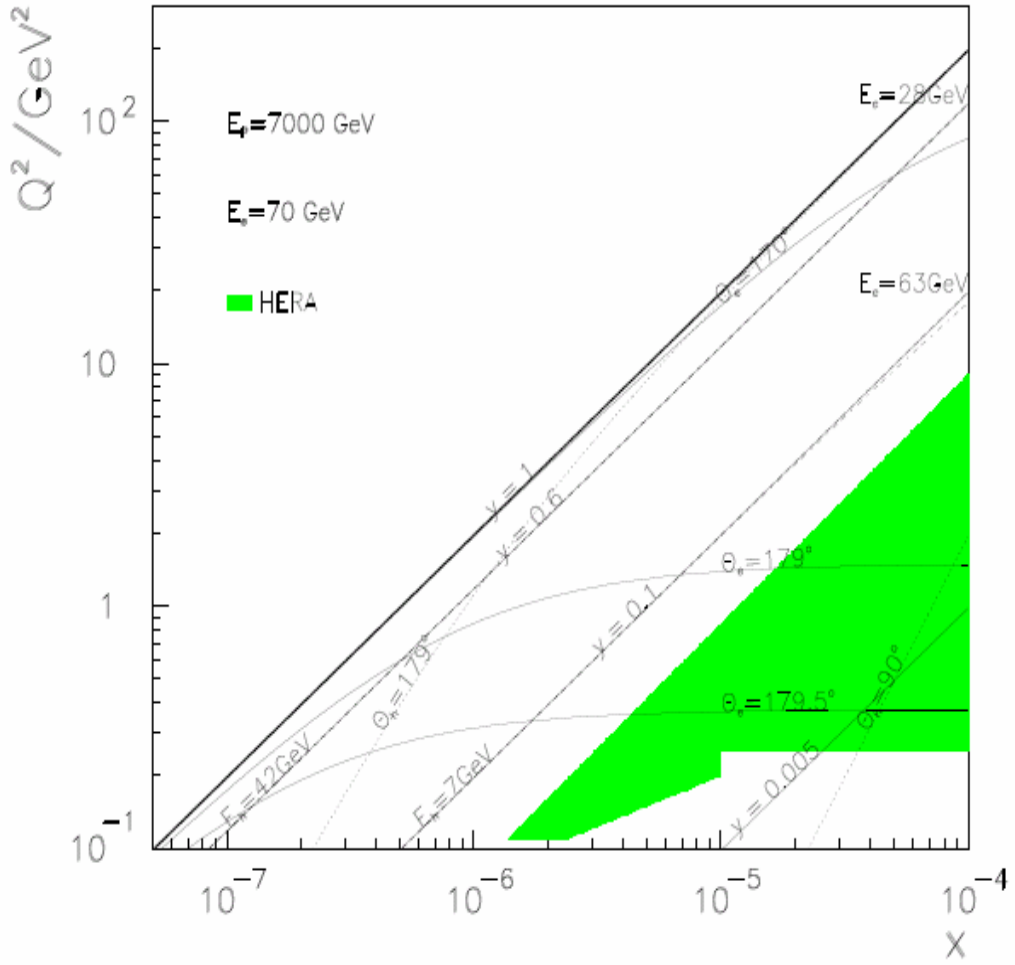
HERA'da gözlenen küçük  $x$  değerindeki kuark ve gluon katkıları,  $\partial \ln F_2 / \partial \ln Q^2$  türevi ve  $F_2(x, Q^2)$  yapı fonksiyonu ile ifade edilir. Düşük  $x$ 'de proton yapısı gluon ve kuark-antikuark çifti ile oluşur. Proton yükü valans kuarklarla belirlenirse, gluonların kinetik ve potansiyel enerjileri kütle değeri belirler. Bu nedenle kuark-gluon dinamiğini anlamak evrenin kütle değerine anahtar rolü oynar [48].

Protondaki gluonların yoğunluğunun artması doğrusal olmayan parton etkileşmesinin gerçekleşmesine sebep olur [49]. Partonun yeni yoğun durumu yüksek parton yoğunluğu ve küçük bağlanma sabiti ile tanımlanır. LHeC ve QCD-E ile mümkün olan düşük  $x$ 'de kinematik bir artış beklenir (Şekil 4.4).

LHC'de yüksek yoğunluklu parton faz araştırmaları (Kuark Gluon Plazma) Pb-Pb (Kurşun-Kurşun) çarpışmaları gibi çekirdek etkileşmelerinde oluşturulur. Çekirdek dengesi (tek renk) ve parton (tek olmayan renk, Kuark Gluon Plazma) fazları hakkında bilgi elde etmek için LHeC ve QCD-E'da eA saçılması ve nükleer parton dağılımlarının belirlenmesi önemli olacaktır.

### Kuantum Renk Dinamiği

Kuantum Renk Dinamiği (QCD) kuvvetli etkileşmelerin temel yapısını açıklar. Standart Model'de elektrozayıf teorisindeki gibi hadronik olayların deney ile karşılaştırılması ve yorumlanması gerekir. Lepton-hadron etkileşmelerinin hadronik yapıda incelenmesi yukarıda bahsedilen amaçların başarılmasıyla son derece önem kazanır. LHeC ve QCD-E'da elektron-proton deneylerinin kinematik etkisinden dolayı test edilebilen, ölçülebilen ve geliştirilebilen Kuantum Renk Dinamiği ile ilgili büyük gelişmeler beklenmektedir.



Şekil 4.4. LHeC ve QCD-E çarpıştırıcılarında düşük  $x$  bölgesinde ep çarpışması kinematığı [43]

#### LHC İçin Yapı Fonksiyonları ve Partonlar

LHeC ve QCD-E’da nötr akımın (NC) ve yüklü akımın (CC) derin elastik olmayan saçılma tesir kesitindeki kesin ölçümler LHC’deki fizik araştırma sonuçlarının doğru yorumlanması için çok önemlidir (Şekil 4.5). Bu ölçümlerin öncelikli amacı, protonun önemli yapı fonksiyonlarını çıkarmak ve buradan da çekirdek için parton yoğunluk fonksiyonlarını belirlemektir.

LHC’deki kuantum renk dinamiğinde ağır kuarklar önemli rol oynar. Bu nedenle ağır kuarkların proton yapısına katkılarının anlaşılması önemlidir. Özellikle  $b$  kuark dağılımı oldukça iyi bilinmelidir. Çünkü  $b$  kuarklar yeni parçacıkların üretim

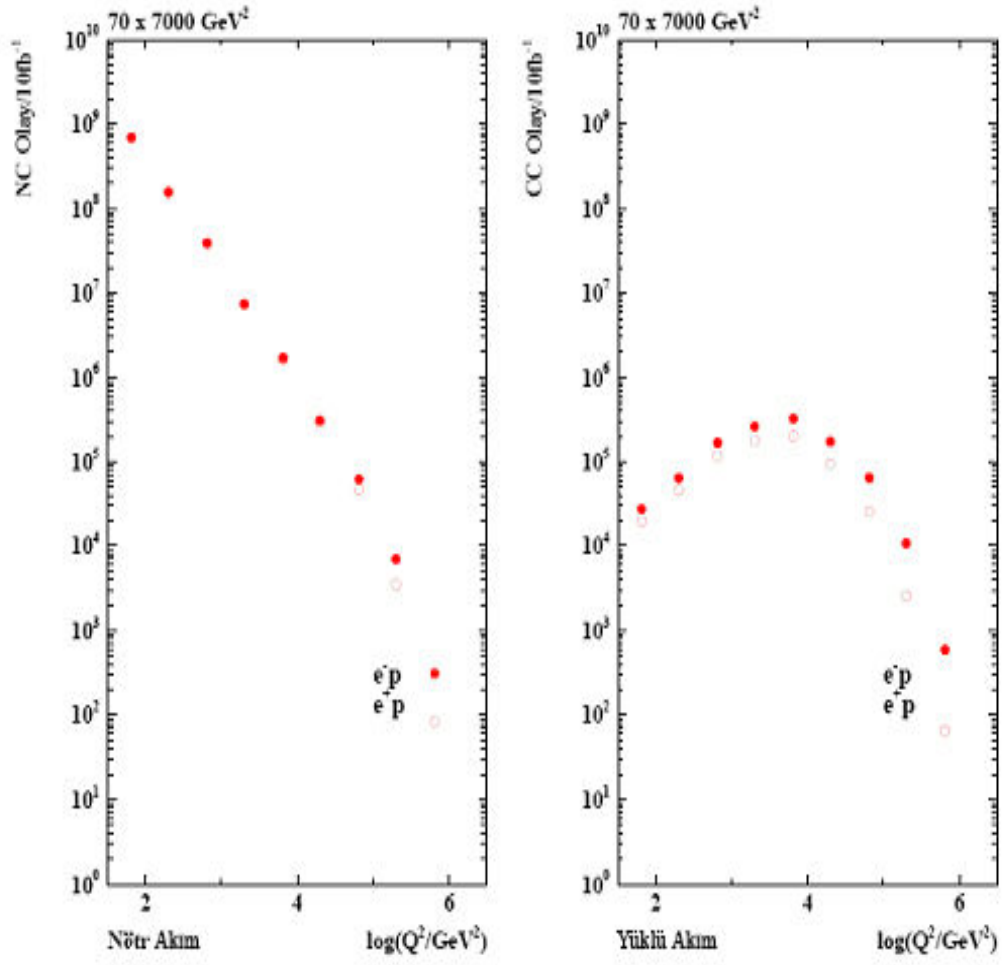
mekanizmasına önemli katkıda bulunur.  $b$  kuarkları için  $Q^2$ 'nin değerinin artmasıyla ağır kuark katkıları LHeC ve QCD-E'da yaklaşık % 5'e kadar artar. LHeC ve QCD-E'da  $s W \rightarrow c$  ve  $b W \rightarrow t$  prosesleri kullanılarak protondaki  $s$  ve  $b$  kuark yoğunluklarının ölçümü mümkündür. HERA yapı fonksiyon ölçümleri ile LHeC ve QCD-E ölçümlerinin kombinasyonu  $x$ 'in genişletilmiş bir aralığında protondaki gluon dağılımının belirlenmesini sağlar.

### Güçlü Bağlanma Sabiti

Günümüzde güçlü bağlanma sabiti  $\alpha_s$  % 1–2'lik deneysel bir hata ile belirlenmiştir. Bu değer sırayla ince yapı sabiti ve Fermi sabitinin deneysel hata değerinden daha küçüktür. Yerçekimi kuvveti sabiti % 0,1 deneysel hata ile ölçülmüştür. Birleşik teorilerde elektromanyetik zayıf ve güçlü bağlanmalarının ortak bir sınır değerine yaklaşması beklenir. Bu ekstrapolasyonun doğruluğu  $\alpha_s$  güçlü bağlanma sabiti belirsizliği ile sınırlıdır. Derin elastik olmayan saçılmadaki güçlü bağlanma sabitinin belirlenmesi  $x_g$  gluon ve kuark dağılımının eşzamanlı belirlenmesini gerektirir.

HERA'da güçlü bağlanma sabiti yaklaşık % 1'lik bir deneysel doğruluk ile ölçülmüştür [50].





(a)

(b)

Şekil 4.5. a) LHeC’de nötr (sol) akı elektron-proton saçılmaları b) LHeC’de yüklü (sağ) akı elektron-proton saçılmaları [43]

#### 4.4. Lepton-Hadron Çarpışmalarında Enerji Öncephesi

Bugüne kadar yapılmış olan yüzlerce deney Standart Modelin (SM = kuantum renk dinamiği + elektrozayıf teori), 100 GeV skalasına kadar geçerli olduğunu göstermiştir. Standart Model düzeyinde temel parçacık sayısının çokluğu (6 lepton, 3x6 kuark, foton, W-bozon, Z-bozon, 8 gluon ve Higgs bozonu), çok sayıda serbest parametrenin mevcut olması (kütleler ve karışımlar) gibi nedenlerden dolayı Standart Modelin son aşama olmadığını aksine yeni bir yapı düzeyi (preonlar) olması gerektiğini göstermektedir. Bu yeni düzeye ulaşılması için bugün elde ettiğimiz enerji değerlerinin üzerine çıkılmalıdır.

Alt-süreç düzeyinde TeV skalasına ulaşmak dört şekilde mümkündür:

- i) Hadron çarpıştırıcıları
- ii) Lineer elektron-pozitron çarpıştırıcıları
- iii) Muon çarpıştırıcıları
- iv) Linak-halka tipli lepton-hadron çarpıştırıcıları

##### Hadron Çarpıştırıcıları

Bugün ulaşılan en yüksek enerji FNAL'de (ABD) çalıştırılan Tevatron ile elde edilmiştir. Burada TeV enerjili protonlarla anti-protonlar çarpıştırılmaktadır. Burada kütle merkezi enerjisi ve ışınık değeri sırasıyla  $\sqrt{s} = 2$  TeV ve  $L = 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 'dir. Protonların kuark ve gluonlardan oluştuğunu göz önüne alırsak alt süreçlerde ulaşılan etkin enerji 300-400 GeV mertebesindedir.

CERN'de kurulmakta olan LHC'de zıt yönde hızlandırılan iki proton demeti çarpıştırılarak kütle merkezi enerjisi ve ışınık değeri sırasıyla  $\sqrt{s} = 14$  TeV ve  $L=10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  elde edilecektir. 2007 yılında çalıştırılması planlanan LHC'de çeşitli çekirdek demetlerinin çarpıştırılması da düşünülmektedir. LHC'nin öncelikli amaçları arasında temel parçacıkların kütlelerinden sorumlu Higgs parçacığının ve

maddenin yeni durumu olan kuark-gluon plazmasının bulunmasıdır. Aynı zamanda LHC enerjilerinde çok sayıda yeni parçacık ve etkileşmenin de keşfedilmesi söz konusudur.

Hadron çarpışmalarında daha yüksek enerjileri gelince ABD’de kütle merkezi enerjisi 100 TeV mertebesindeki VLHC projesi geliştirilmektedir.

### Lineer Elektron-Pozitron Çarpıştırıcıları

Lepton çarpışmalarında en yüksek enerji ( $\sqrt{s} = 0.2$  TeV) CERN’de bulunan LEP’de elde edilmiştir. LEP çarpıştırıcısı, aynı tünelde uzunluğu 28 km olan LHC çarpıştırıcısının kurulması nedeniyle 2000 yılında sökülüştür. Halka tipli elektron hızlandırıcılarında sinkrotron ışınımı nedeniyle oluşan büyük enerji kaybından dolayı yeni elektron-positron çarpıştırıcıları lineer şekilde tasarlanmaktadır. Bu tasarlanan projeler arasında en gelişmiş DESY’de tasarlanan ve kütle merkezi enerjisi ile ışınık değeri sırasıyla  $\sqrt{s} = 0.5$  TeV ve  $L = 10^{34}$  cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> olan TESLA’dır. Daha sonraki proje aşamalarında hem enerji hem de ışınığın artırılması düşünülmektedir. Lineer lepton çarpıştırıcılarının diğer önemli özelliği de foton-lepton ve foton-foton çarpıştırıcılarının kurulmasına imkan sağlamasıdır. Daha yüksek enerjilerdeki lineer hızlandırıcılara örnek olarak CERN’de tasarlanan CLIC ( $\sqrt{s} = 3$  TeV,  $L = 10^{35}$  cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) çarpıştırıcısı gösterilebilir.

### Muon Çarpıştırıcıları

Muonun yaşama müddetinin nispeten uzun olması ( $2,2 \times 10^{-6}$  s) ve Lorentz faktörü (1 TeV’lik muonlar için yaklaşık  $10^4$ ) muon demetinin zıt yönde hızlandırılmış başka bir muon veya antimuon demeti ile çarpıştırılmasını mümkün kılar. Konu ile ilgili çok sayıda teknik probleme (yeterli sayıda muon üretimi ve muon demetinin soğutulması ile ilgili gereken yeni teknolojik gelişmeler) çözüm getirilirse önümüzdeki yıllarda muon çarpıştırıcılarının kurulması önemli ölçüde dikkate alınır. Bugün gelinen noktada konu ile ilgili üç aşama düşünülmektedir. Bunlar, nötrino

fabrikası, 100–200 GeV’lik Higgs fabrikası ve 3 TeV’lik HEMC’dir (Yüksek Enerjili Muon Çarpıştırıcısı).

#### Linak-Halka Tipli Lepton-Hadron Çarpıştırıcıları

Elektron-proton çarpışmalarında TeV mertebesine ulaşmak için linak-halka tipli makinelere ihtiyaç vardır. Linak-halka tipli çarpıştırıcılar daha iyi çarpışma kinematiği sağlarlar. En önemli avantajları linak-halka tipli çarpıştırıcılarına dayanan gama proton çarpıştırıcılarının yapılmasına imkan sağlamasıdır. Bu tip makineler uyarılmış kuark üretimi ve küçük x fiziği gibi parçacık fiziği problemlerinin çözümünde çok önemli olacaklardır.

Lepton-hadron çarpışmalarında ulaşılan en yüksek enerji ( $\sqrt{s} = 0,3 \text{ TeV}$ ) DESY’de bulunan HERA’da elde edilmiştir. Bugün bu çarpışmalarda TeV skalasına ulaşmanın en etkin yolu olarak lineer hızlandırıcılardan alınan elektronlarla halka tipli hızlandırıcılardaki hadronların çarpıştırılmasıdır. Örneğin, DESY’de tasarlanan THERA çarpıştırıcısı elektron-proton opsiyonu ( $\sqrt{s} = 1 \text{ TeV}$  ve  $L = 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) ile birlikte,  $\gamma p$ ,  $eA$  ve  $\gamma A$  opsiyonlarını da içermektedir. Bir diğer linak-halka tipi hızlandırıcı da CERN’de LHC’ye teğet kurulması düşünülen lineer elektron hızlandırıcısıdır. Linak\*LHC çarpıştırıcısı da elektron-proton opsiyonu ( $\sqrt{s} = 5 \text{ TeV}$  ve  $L = 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) ile birlikte  $\gamma p$ ,  $eA$  ve  $\gamma A$  opsiyonlarını içerir.

#### **4.4.1. Parametreler (VLHC bazlı elektron-proton çarpıştırıcısı)**

Standart tip elektron-proton çarpıştırıcı olan VLHC’de 180 GeV enerjili e-halkasının kullanılması düşünülmektedir [29]. Bu durumda, halka uzunluğu 531 km, elektron için ışınma güç kaybı 50 MW, kütle merkezi enerjisi 6 TeV ve ışınlık değeri  $1,4 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  olur [29]. Makinenin ana parametreleri Çizelge 5.1’de listelenmiştir.

Linak-halka opsiyonu ile ilgili, Eş. 3.1'e göre  $E_e = 180 \text{ GeV}$ ,  $P_e = 50 \text{ MW}$ ,  $N_p = 10^{11}$ ,  $\epsilon_p^N = 10^{-6} \text{ m}$  ve  $\beta_p^* = 10 \text{ cm}$  olan VLHC proton demet parametrelerinin THERA benzeri modifikasyonu ile "ideal" e-linak için  $L_{ep} = 7,3 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ışınlık değeri elde edilebilir. TESLA ve CLIC benzeri 180 GeV'lik elektron linak hızlandırıcıları için aktif boylar sırasıyla 7,7 km ve 1,2 km'dir.

VLHC hızlandırıcısındaki proton demetinin THERA çarpıştırıcısı benzeri modifikasyonu ile "TESLA"-VLHC ve "CLIC"-VLHC opsiyonlarının ana parametreleri Çizelge 5.2'de verilmiştir. Nominal TESLA hızlandırıcısı parametreleri  $2 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ışınlık değeri elde edilirken, CLIC teknolojisi kullanılırsa yaklaşık 70 faktör kazanmak gerekir.

Çizelge 5.1. Standart tip VLHC elektron-proton parametreleri [29]

Elektron demeti parametreleri	
Enerji, $E_e$ (GeV)	180
Paketçik başına elektron sayısı, $N_e$	$10,1 \times 10^{10}$
Demet-demet ayar kayması, $\Delta Q_x / \Delta Q_y$ ( $10^{-3}$ )	6,1/2,9
Işıma gücü, $P_e$ [MW]	50
Proton demeti parametreleri	
Enerji, $E_p$ (TeV)	50
Paketçik başına proton sayısı, $N_p$	$12,5 \times 10^{10}$
Demet-demet ayar kayması, $\Delta Q_x / \Delta Q_y$ ( $10^{-3}$ )	4/0,3
Çarpışma parametreleri	
Kütle merkezi enerjisi, $\sqrt{s}$ (TeV)	6
Işınlık, ( $10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	1,4
Çevre, (km)	531

Çizelge 5.2. LHC proton demet parametresinin THERA benzeri iyileştirilmesi ile “TESLA”-VLHC and “CLIC”-VLHC temel parametreleri

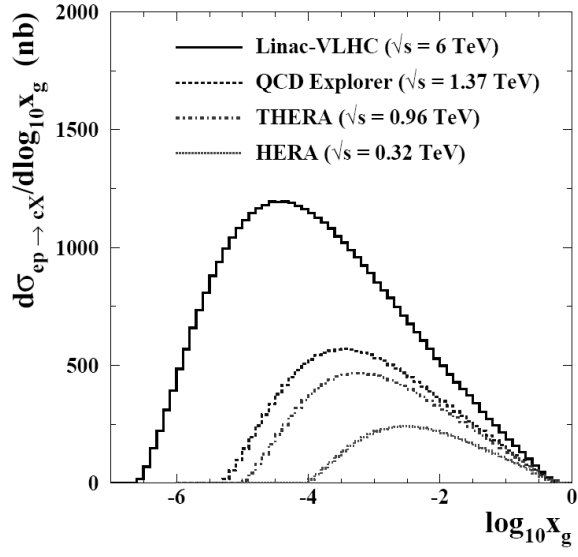
	“TESLA”	“CLIC”
Paketçik başına elektron sayısı, $N_p$	$10^{11}$	$10^{11}$
Beta fonksiyonu, $\beta_p^*$ (cm)	10	10
Normalize emitans, $\epsilon_p^N$ ( $\mu\text{m}$ )	1	1
Demet ayar kayması, $\Delta Q_p$	0,0024	0,0005
Bozma parametresi, D	31,8	31,8
Etkin linak uzunluğu, (km)	7,69	1,2
Paketçik aralığı, $\tau_e$ (ns)	211,37	0,66
Paketçik aralığı, $\tau_p$ (ns)	19	19
$\tau_p/\tau_e$ ( $\tau_p = 19$ ns)	0,089	28,78
Etkin demet sayısı, $n_b^{\text{eff}}$	5600	6
Işınlık, $L_{ep}$ ( $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	$2,3 \times 10^{32}$	$2 \times 10^{30}$

## 5. FİZİK ARAŞTIRMA ÖRNEKLERİ

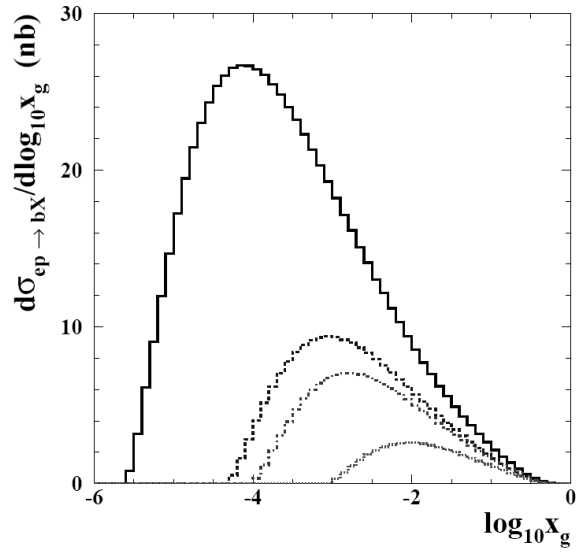
### 5.1. QCD-E için fizik örneği: ağır kuarkların çift üretimi

Gluon dağılım fonksiyonunun hassas ölçümü LHC’de Higgs fiziğini başta olmakla birçok sürecin incelenmesi için çok önemlidir. Bunun nedeni proton-proton çarpıştırıcılarında gluon-gluon füzyonun Higgs bozonu üretiminin baskın modu olmasıdır. Kütle merkezi enerjisi  $\sqrt{s} = 1$  TeV olan elektron-proton çarpıştırıcısı için fizik araştırmaları potansiyeli THERA çarpıştırıcısında yapılan çalışmalar ile de belirlenmiştir [51-59]. Bu bölümde, QCD-E ve LHeC elektron-proton çarpıştırıcılarında ağır kuarkların çift üretimi kullanılarak protonda gluon dağılım fonksiyonun belirlenmesi imkanı incelendi [44,45].

Foton-gluon füzyon (Photon-Gluon Fusion - PGF) sürecinde üretilen ağır kuarkların incelenmesi protonun gluon yapısını doğrudan belirlenmesine imkan sağlamıştır [60]. HERA, THERA, QCD-E ve Linak-VLHC çarpıştırıcılarında foton-gluon füzyonu sürecinde oluşan charm ve beauty kuarkların diferansiyel tesir kesiti ( $d\sigma / d \log_{10} x_g$ , burada  $x_g$  gluon momentumunun proton momentumuna oranıdır) Şekil 5.1’de gösterilmiştir.  $Q^2 < 1 \text{ GeV}^2$  için tesir kesiti NLO (next-to-leading order) QCD ile hesaplanmıştır [61]. Proton yapı fonksiyonu için GRV 98 parametrisasyonu kullanıldı [62]. Elektron demetinin enerjisinin artması THERA çarpıştırıcısında HERA’ya göre bir merteye daha küçük  $x_g$  değerlerini araştırma imkanı sağlar. Şekil 5.1’den görüldüğü gibi THERA ve QCD-E çarpıştırıcılarında charm ve beauty üretiminde  $x_g$  ölçümlerinin kinematik limitleri sırasıyla  $10^{-5}$  ve  $10^{-4}$  mertebesindedir. Linak-VLHC çarpıştırıcısı  $x_g$  ölçümlerinin daha düşük değer limitleri için araştırmaya fırsat verecektir. Kinematik limitlere yakın bölgede  $x_g$  değerlerine duyarlı olmak için THERA çarpıştırıcısında ağır kuarklar elektron demeti yönüne yakın bölgede gözlenebilmelidir.



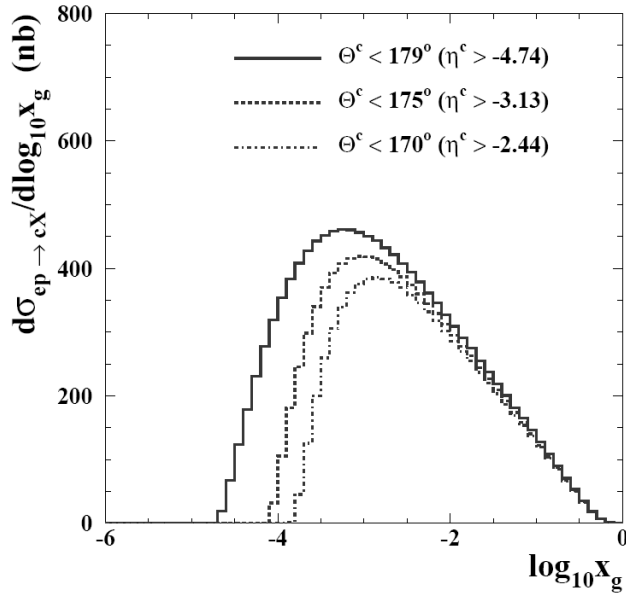
(a)



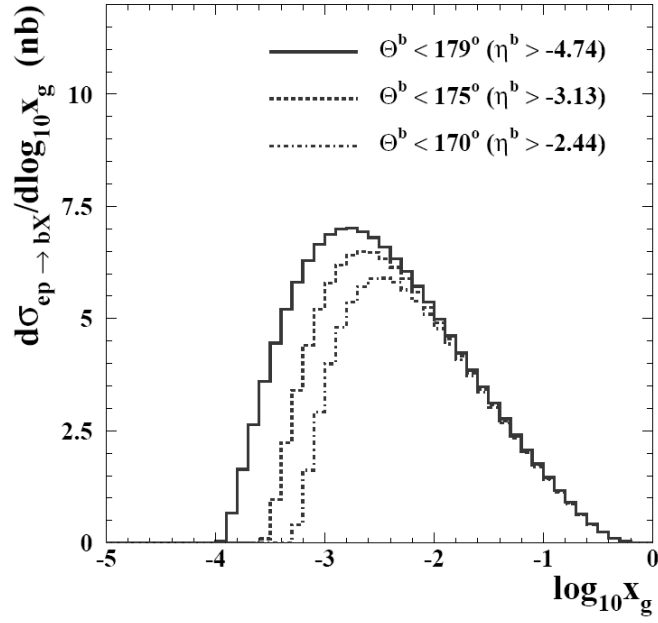
(b)

Şekil 5.1. a) c kuarkların üretiminin diferansiyel tesir kesiti b) b kuarkların üretiminin diferansiyel tesir kesiti [45]





(a)



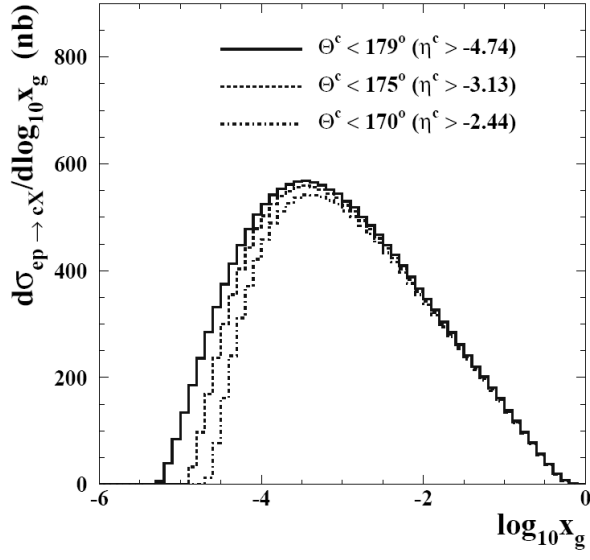
(b)

Şekil 5.2.  $\theta^{c,b} < 179^0$ ,  $\theta^{c,b} < 175^0$  ve  $\theta^{c,b} < 170^0$  ek cut'larla THERA için öngörü a) charm kuark b) beauty kuark [45]

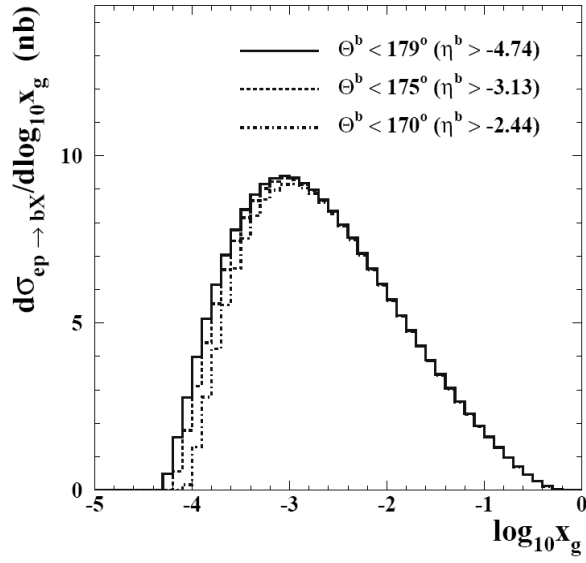
Elektron ve proton enerjileri sırasıyla  $E_e = 250$  GeV ve  $E_p = 1$  TeV durumunda  $\theta^{c,b} < 179^0$ ,  $\theta^{c,b} < 175^0$  ve  $\theta^{c,b} < 170^0$  ek cut'larla THERA için öngörüler Şekil 5.2(a) ve Şekil 5.2(b)'de verilmiştir. Görüldüğü gibi bugüne kadar deneysel araştırılmamış  $2 \times 10^{-5} \leq x_g < 10^{-4}$  bölgesinin incelenbilmesi yalnız  $179^0 < \theta < 175^0$  c kuarklarla mümkündür. QCD-E için benzer öngörüler Şekil 5.3'de verilmiştir. Biraz daha yüksek kütle merkezi enerjisi ve özellikle demet enerjilerinin daha asimetric olması sayesinde QCD-E çarpıştırıcısı  $10^{-5} \leq x_g < 10^{-4}$  bölgesini  $\theta^c < 175^0$  c kuarklarla incelenmesine imkân sağlayacaktır.

Şekil 5.2(a) ile Şekil 5.3(b)'nin karşılaştırılmasından THERA'da  $\theta^c < 175^0$  charm kuarklarla incelenebilecek  $x_g$  bölgesi QCD-E'da  $\theta^b < 175^0$  sahip beauty kuarklarla incelenebilecektir. QCD-E'da  $b\bar{b}$  çift üretimi ile THERA'da  $c\bar{c}$  çift üretimi için yaklaşık 40 kez tesir kesiti farkı QCD-E'nin daha yüksek ışınlık değeri ile karşılanabilir. Şekil 5.4(b)'de görüldüğü gibi, Linak-VLHC çarpıştırıcıları  $10^{-5} < x_g < 10^{-4}$  bölgesini  $\theta^b < 175^0$  sahip beauty kuarklarla incelenmesine imkan sağlayacaktır. Düşük  $x_g \approx 10^{-6}$  bölgesinin c kuarklar için duyarlı olduğu Şekil 5.4(a)'da görülmektedir.

Kütle merkezi enerjisi  $\sqrt{s} = 1$  TeV 'de charm ve beauty üretimi için toplam tesir kesiti sırasıyla  $2 \mu\text{b}$  ve  $25 \text{ nb}$  değerlerini alır. Işınlık değeri  $L = 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  için çalışma yılı başına ( $10^7 \text{ s}$ )  $2 \times 10^7 c\bar{c}$  ve  $2 \times 10^5 b\bar{b}$  çifti sağlanacaktır. Böylece, Linak-halka tipi elektron-proton çarpıştırıcıları protondaki gluon katkısını detaylı incelemeye fırsat verilecektir.

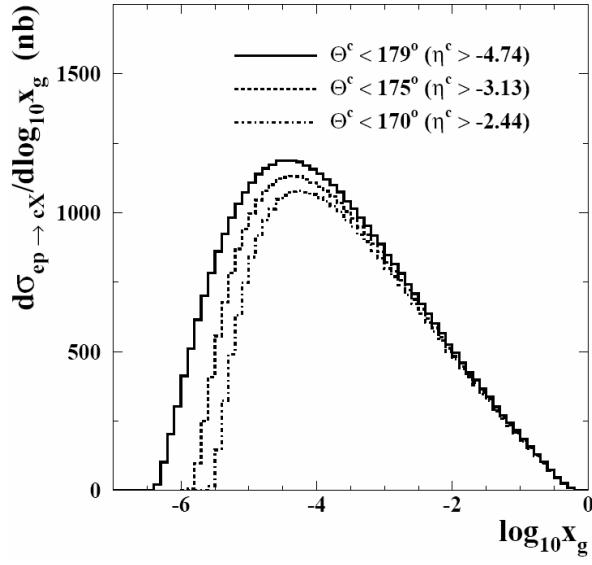


(a)

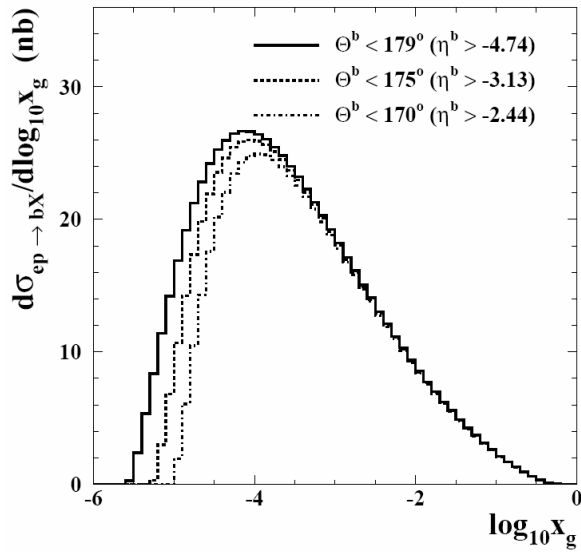


(b)

Şekil 5.3. QCD-E için öngörü a) charm kuarkın çift üretimi b) beauty kuarkın çift üretimi [45]



(a)



(b)

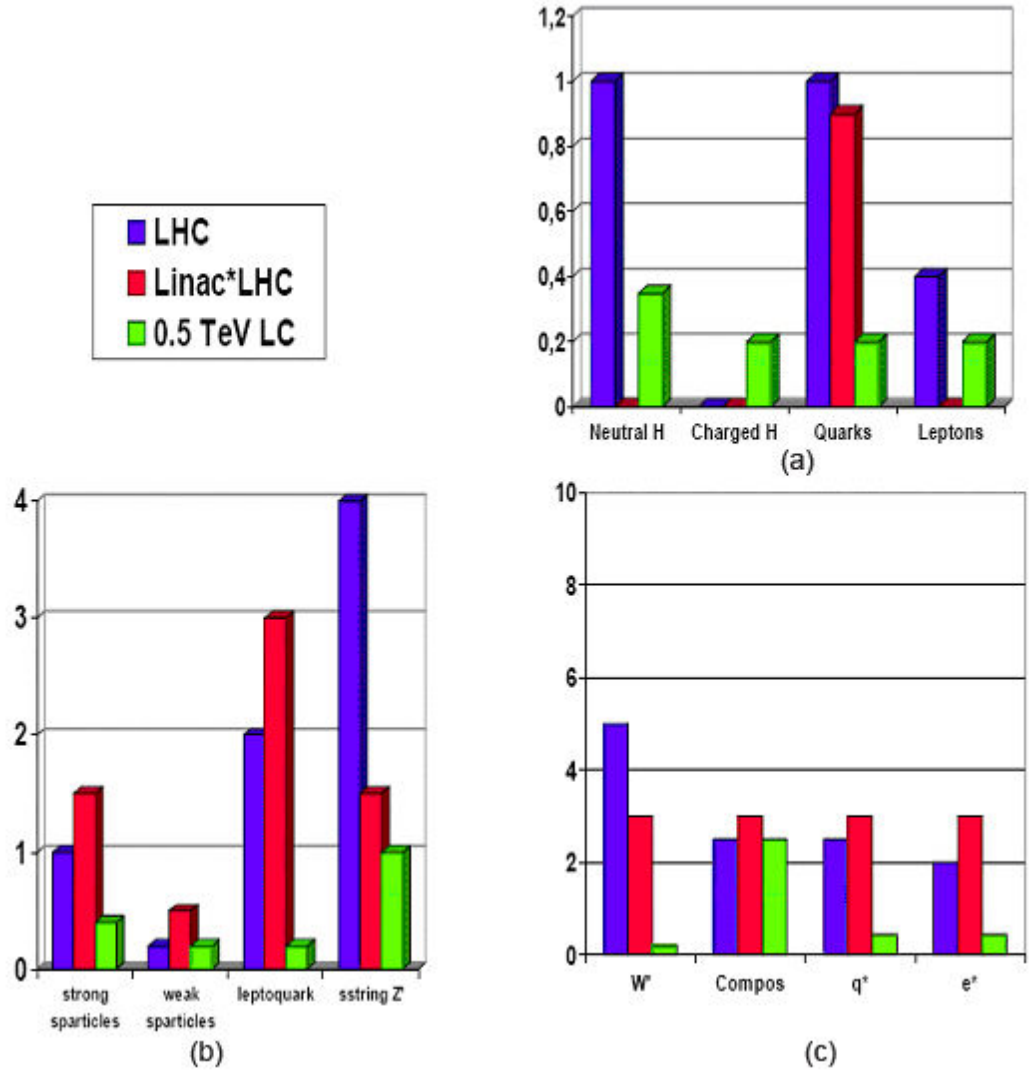
Şekil 5.4. Linak-VLHC için öngörü a) charm kuarkın çift üretimi b) beauty kuarkın çift üretimi [45]

## 5.2. LHC, ILC ve ILC\*LHC Çarpıştırıcılarının Fizik Araştırma Potansiyellerinin Karşılaştırılması

TeV skalasında lepton-hadron ve foton-hadron çarpıştırıcılarının çekirdek seviyesinden kuark-parton seviyesine kadar kuvvetli etkileşmeler hakkında kesin bilgi elde etmek ve gelecek hadron çarpıştırıcılarından (LHC ve VLHC gibi) alınacak deneysel verileri doğru yorumlamak için önemli amaçları vardır.

Bu bölümde, 14 TeV kütle merkezi enerjiye ve  $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ışınlığa sahip LHC pp çarpıştırıcısı, 0.5 TeV kütle merkezi enerjiye ve  $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ışınlığa sahip ILC ee ( $\gamma e, \gamma\gamma$ ) çarpıştırıcısı ve 3.7 TeV kütle merkezi enerjiye ve  $10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ışınlığa sahip Linak\*LHC ep ( $\gamma p$ ) çarpıştırıcısı yeni fizik araştırma potansiyeli açısından karşılaştırılmaktadır [15,16].

LHC'nin 7 TeV enerjili proton demeti ve ILC'nin 0.5 TeV enerjili elektron demetleri çarpıştırılması ile ulaşılabilecek kütle merkezi enerjisi HERA çarpıştırıcısından 12 kat daha yüksek değerdedir. LHC hızlandırıcısının süper paketçik yapısı ve 0.5 TeV enerjili CLIC hızlandırıcısının nominal parametreleri ile "CLIC"-LHC için  $10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ışınlık değeri elde edilir [38,39]. Elektron-proton çarpıştırıcı opsiyonu Standart Model ve Standart Model Ötesi araştırmalar için çok önemli bir rol oynar. Şekil 5.5'te nötr Higgs bozonu, yüklü Higgs bozonu, yeni (4.SM ailesi) kuarkları ve leptonları, güçlü s-parçacıkları (skuarklar ve gluinolar), zayıf s-parçacıklar (sleptonlar, nötralinolar, çarcinolar), leptokuarklar,  $E_6$  modelinin öngördüğü  $Z'$ ,  $W'$ , kompozitlik skalası, uyarılmış kuarklar ve leptonlar için keşif limitleri ile ilgili "parmakhesabı" sonuçlar verilmiştir [15,16]. Görüldüğü gibi, birçok süreç için Linak\*LHC (düşük ışınlık değerine rağmen) daha avantajlıdır.



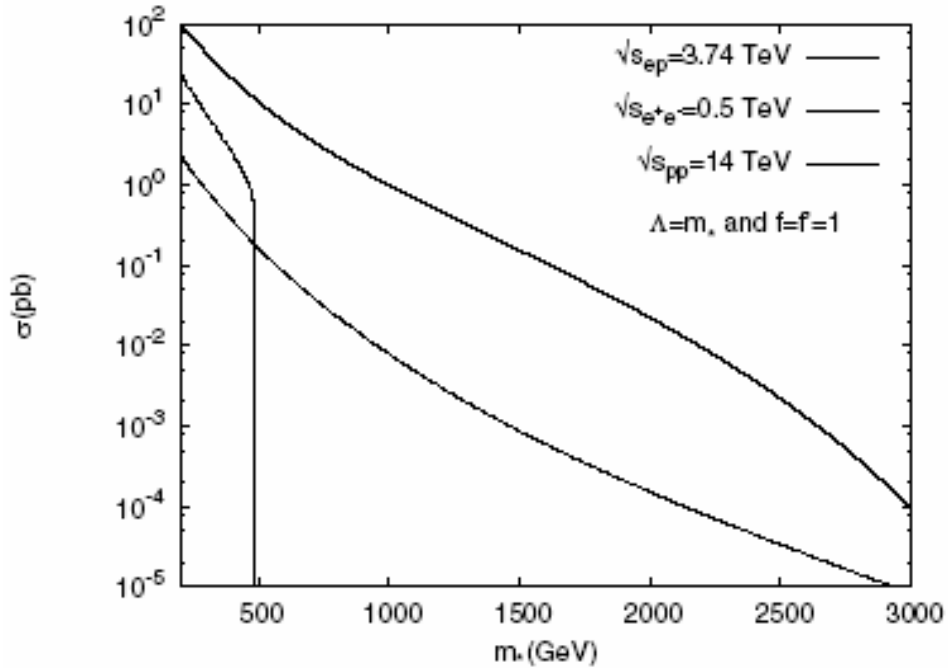
Şekil 5.5. LHC, ILC ve Linac\*LHC çarpıştırıcılarının yeni fizik araştırma potansiyelinin karşılaştırılması a) nötr Higgs, yüklü Higgs, yeni kuark ve yeni lepton üretimi b) güçlü s-parçacıklar, zayıf s-parçacıklar, leptokuark ve Z' üretimi c) W', kompozitlik skalası, uyarılmış kuark ve uyarılmış lepton üretimi [16]

Bu süreçlerden bazıları için son yıllarda yapılan detaylı simülasyon çalışmalarıyla Şekil 5.5'deki sonuçlar doğrulanmıştır. Örnek olarak uyarılmış elektron üretimi için elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir [61].

LC, Linak\*LHC ve LHC'de uyarılmış elektronun tek üretim süreçleri aşağıdaki gibidir:

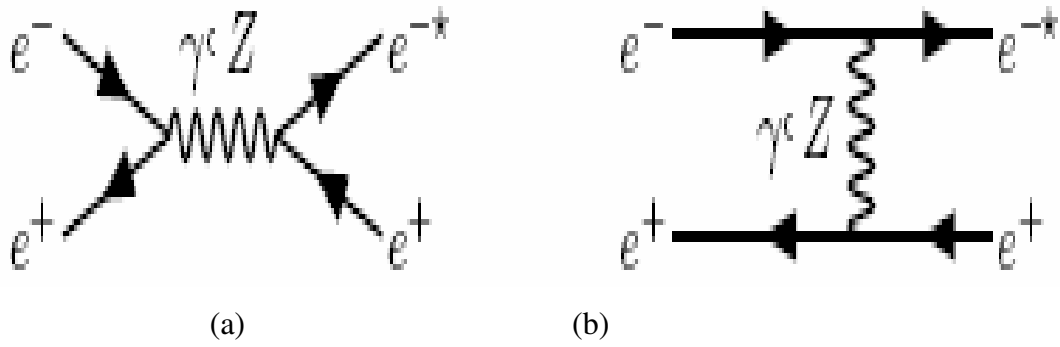
$$e^+ e^- \rightarrow e^{\pm*} e^\pm, e^- p \rightarrow e^{\pm*} q (\bar{q}) X, pp \rightarrow e^{\pm*} e^\pm X$$

Değişik çarpıştırıcıların karşılaştırılmalarında yukarıda verilen prosesler için sinyal tesir kesiti  $\Lambda = m_*$  skalası ve  $f = f' = 1$  bağlanma parametreleri ile Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6.  $\sqrt{s} = 0,5$  TeV olan  $e^-e^+$  çarpıştırıcısı,  $\sqrt{s} = 3,74$  TeV olan ep çarpıştırıcısı ve  $\sqrt{s} = 19$  TeV olan pp çarpıştırıcısında uyarılmış elektronun tek üretim tesir kesitleri [63]

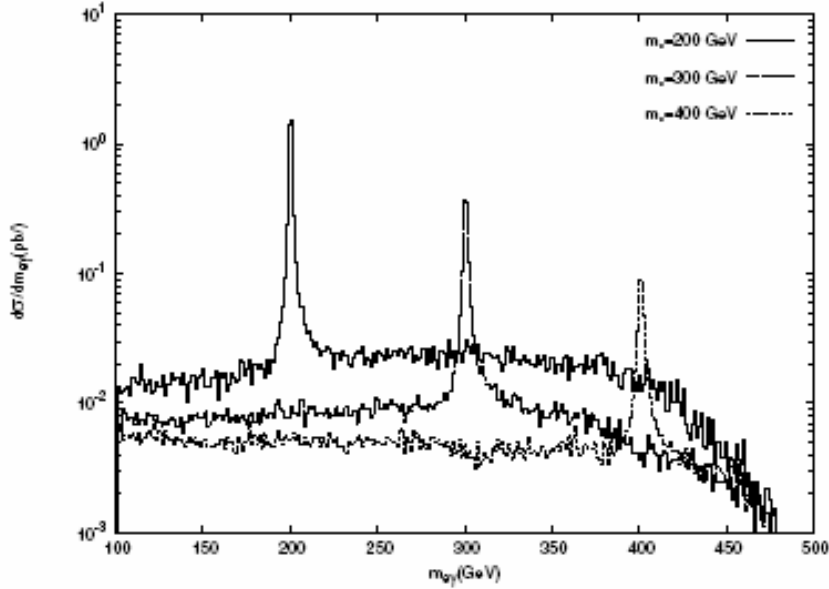
Yüksek enerjili elektron-pozitron çarpıştırıcıları uyarılmış leptonlar için uygun araştırma imkanı sağlar. 500 GeV kütle merkezi enerjili elektron-pozitron çarpıştırıcılarında uyarılmış elektronların tek üretimi  $e^- e^+ \rightarrow e^{\pm*} e^\pm \rightarrow e^\pm e^\pm \gamma$  prosesi ile elde edilir.  $e^- e^+ \rightarrow e^{\pm*} e^+$  prosesi için Feynman diyagramları Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7. Elektron-pozitron çarpışmalarında uyarılmış elektronun tek üretimi

Uyarılmış elektronların elektron-foton bozunumu kolay tanımlanmaktadır. Çünkü enine momentum değeri yaklaşık  $m_*/2$ 'dir.  $m_* = 200 \text{ GeV}$ ,  $m_* = 300 \text{ GeV}$ ,  $m_* = 400 \text{ GeV}$  kütle değerleri ve  $f = f' = 1$  bağlanma parametresi için  $e^+ e^- \rightarrow e^+ e^- \gamma$  reaksiyonundaki uyarılmış elektronların  $m_{e\gamma}$  değişmez kütle dağılımı Şekil 5.8'de gösterilmiştir.





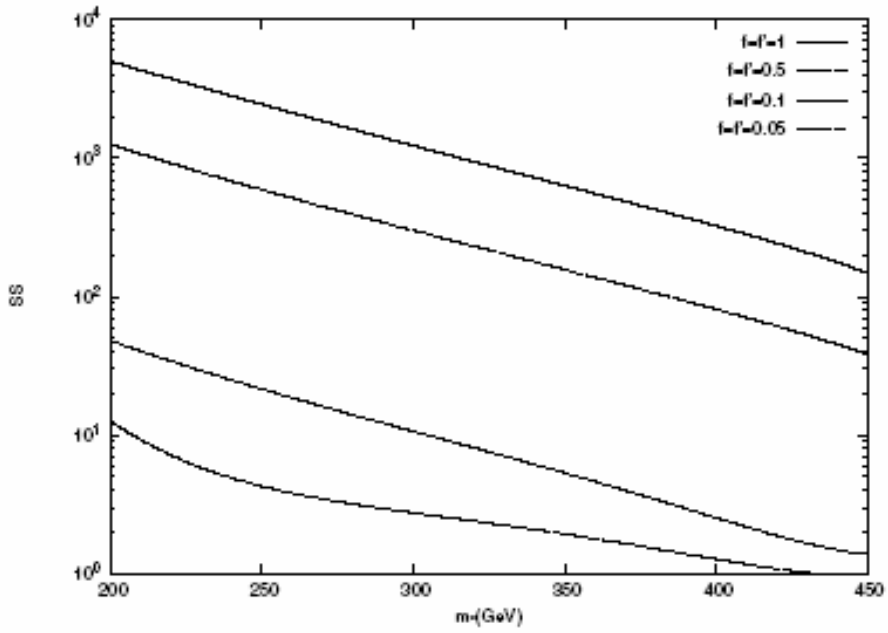
Şekil 5.8. Elektron-pozitron çarpıştırıcısında sinyal ve fonun  $m_{e\gamma}$  invaryant kütesine göre dağılımı [63]

Uyarılmış elektron için sinyalin istatistiksel değeri (SS-statistical significance),

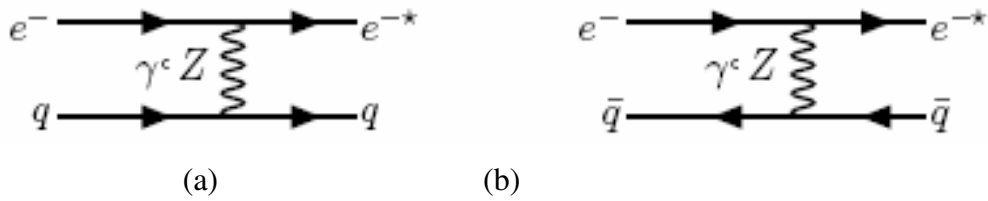
$$SS = \frac{|\sigma_{S+B} - \sigma_B|}{\sqrt{\sigma_B}} \sqrt{L_{int}} \quad (5.1)$$

şekilde belirlenir. Burada  $L_{int}$ , çarpıştırıcıların entegre ışınlık değeridir. Değişik bağlanma parametreleri ( $f=f'$ ) için SS değerleri Şekil 5.9'da verilmiştir. Görüldüğü gibi 0,5 TeV'lik lineer çarpıştırıcıda  $SS \geq 5$  ve  $f = f' = 0.1$  için uyarılmış elektronların 375 GeV'e kadar olan kütle değerleri incelenebilecektir [63].

Elektron-proton çarpıştırıcılarında elektron ve uyarılmış elektronların manyetik geçişi sayesinde t-kanal  $\gamma$  ve Z değiş-tokuşu ile  $e^*$ 'in tek üretimi sağlanır.  $e^- q \rightarrow e^* q$  ve  $e^- \bar{q} \rightarrow e^* \bar{q}$  alt süreçler için Feynman diyagramları Şekil 5.10'da gösterilmiştir.

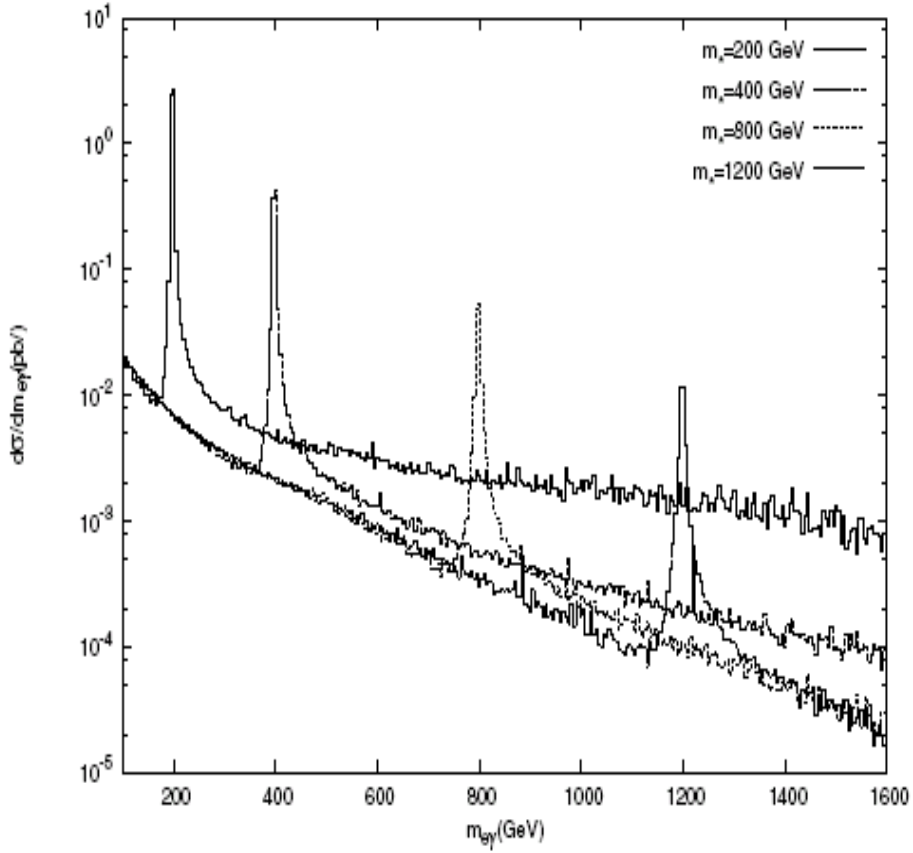


Şekil 5.9. LC için uyarılmış leptonların üretimi için istatistiksel değerin kütle bağımlılığı [63]



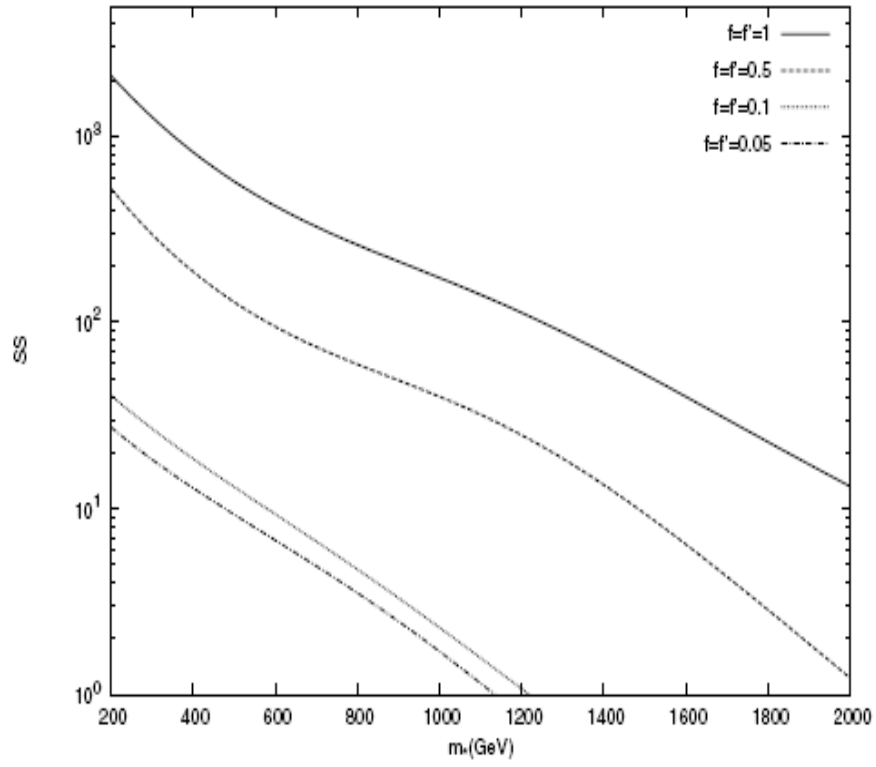
Şekil 5.10. Elektron-proton çarpıştırıcısında uyarılmış elektronun tek üretimi için Feynman diyagramları

Uyarılmış bir elektronun  $m_* = 200 \text{ GeV}$ ,  $m_* = 400 \text{ GeV}$ ,  $m_* = 800 \text{ GeV}$  ve  $m_* = 1200 \text{ GeV}$  kütle değerlerinde  $e^- q \rightarrow e^- \gamma q$  sürecindeki  $m_{e\gamma}$  değişmez kütle dağılımı Şekil 5.11'de gösterilmektedir.

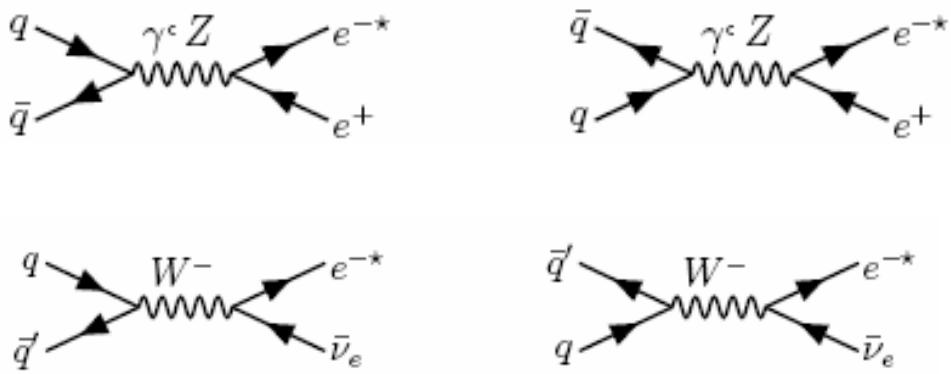


Şekil 5.11. Elektron-proton çarpıştırıcısında uyarılmış elektronun tek üretimi [63]

Değişik bağlanma parametreleri ( $f = f'$ ) için SS'in kütle bağımlılığı Şekil 5.12'de gösterilmiştir. LHC'de uyarılmış elektronların tek üretimi Drell-Yan mekanizması yoluyla oluşturulmuş olan  $q \bar{q} \rightarrow Z / \gamma \rightarrow e^\pm e^{\pm*} \rightarrow e^\pm e^\pm \gamma$  ve  $q \bar{q}' \rightarrow W^\pm \rightarrow \nu e^{\pm*} \rightarrow \nu e^\pm \gamma$  alt süreçleri Şekil 5.13'de verilmiştir.

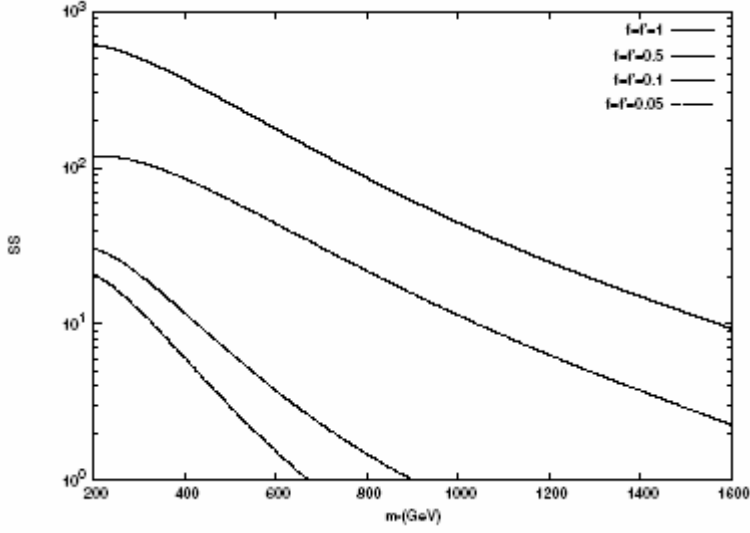


Şekil 5.12. Uyarılmış elektronun gözlenmesi için istatistik anlam eğrileri [63]

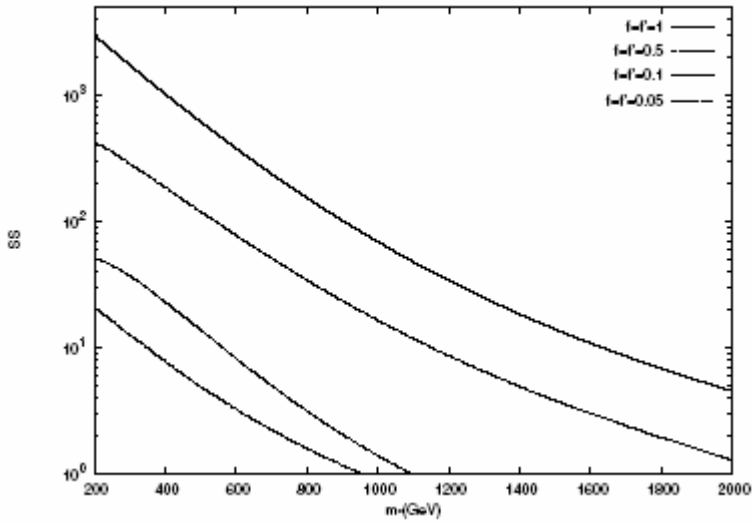


Şekil 5.13. Proton-proton çarpıştırıcısında uyarılmış elektronların tek üretimi için Feynman diyagramları

Değişik  $f (= f')$  değerleri ile  $p p \rightarrow e^+ e^- \gamma X$  ve  $p p \rightarrow \nu e^- \gamma X$  süreçleri için sırayla SS istatistiksel değerler Şekil 5.14(a) ve Şekil 5.14(b)'de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.14. Proton-proton çarpıştırıcılarında istatistiksel değerın kütle bağımlılığı  
a)  $p p \rightarrow e^+ e^- \gamma X$  süreci için b)  $p p \rightarrow \nu e^- \gamma X$  süreci için [63]

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

TeV kütle merkezi enerjisine sahip lepton-hadron çarpıştırıcısı hem kuvvetli etkileşmelerin temel özelliklerinin belirlenmesi açısından hem de LHC'den alınacak deneysel verilerin doğru yorumlanabilmesi açısından gereklidir. LHC ve VLHC tünellerinde elektron halkasının eklenmesi birçok teknik problemlere neden olur. LHC'nin kurulması için LEP'in zorunlu olarak kaldırılması bu probleme bir örnektir. LHC'ye teğet olarak kurulacak lineer elektron hızlandırıcısı gerekli elektron enerjisini çok daha kısa mesafede elde etme imkanı sağlar.

Linak-halka tipli lepton-hadron çarpıştırıcıları ile ilgili önemli gelişmeler beklenmektedir. Bugün QCD-E ve LHeC isimli iki gerçekçi proje vardır. Hem QCD-E hem de LHeC projeleri kuvvetli etkileşmeleri araştırmak için yeterince yüksek ışınlık değerine ulaşmaya fırsat verecektir. QCD-E projesi birçok avantaja sahiptir. Bunlar;

- $\gamma p$ ,  $\gamma A$  ve FEL  $\gamma A$  opsiyonlarının eklenmesi,
- LHeC için sinkrotron ışınması engel olurken, elektron demet enerjisi artan linak uzunluğu ile genişletilebilir,
- LHC tüneline küçük etki.

olarak sıralanabilir. Foton-proton ve çekirdek çarpıştırıcıları QCD-E'nin gerçekleşmesiyle gündeme gelecek en önemli seçeneklerdir.

QCD-E ve LHeC projelerinin her ikisinin de ana amacı kuvvetli etkileşmelerin temel yönlerini açıklamaktır. Bunlar Standart Model Ötesi fizik araştırmaları bakımından kütle merkezi enerjisi ile sınırlandırılmış olup, çok yüksek ışınlık değeri önemli değildir. QCD-E'nin  $\gamma A$  opsiyonu kütle merkezi enerjisi ve ışınlık değeri ile kinematik açıdan düşük  $x_g$  bölgesini incelemek için QCD dinamiğinde önemli bilgi sağlayacaktır.

Standart modelin kuvvetli etkileşmeler kısmı (Kuantum Renk Dinamiği) açısından küçük  $x_g$  bölgesinin dinamiğinin belirlenmesinin önemi elektro-zayıf etkileşmeler açısından higgs bozonunun bulunmasının önemine eşdeğerdir. LC\*LHC bu açıdan kritik olan  $x_g < 10^{-5}$  ve  $Q^2 > 10 \text{ GeV}^2$  kinematik bölgesini detaylı inceleme imkanı sağlayacaktır. Standart Model Ötesi fizik açısından ise ILC\*LHC bazında kurulacak lepton-hadron ve foton-hadron çarpıştırıcılarının araştırma potansiyeli LHC ve ILC çarpıştırıcılarının potansiyeli ile karşılanabilir ve onları tamamlayacak durumdadır.

Gelişmiş ülkelerin deneyimi göstermektedir ki, hızlandırıcı teknolojilerinde elde edilen başarılar bilim ve teknolojinin bir çok alanını etkilemekle birlikte sanayide de önemli atılımlara önayak olmaktadır. Hızlandırıcı fiziği konularındaki AR-GE alanlarına da öncelik verilmesi gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Amaldi, U., "Physics and Detectors at the Large Hadron Collider and at the CERN Linear Collider", *Workshop on Physics at Future Accelerators*, La Thuile, Italy, 30 (1987).
2. Sultansoy, S., "Parçacık Hızlandırıcıları: Dün, Bugün, Yarın", *I. Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresi*, TAEK, Ankara, 1-9 (2001).
3. Yavaş, Ö. ve ark., "Parçacık Hızlandırıcıları: Türkiye'de Neler Yapılmalı", *DPT-97K-120420, Proje Sonuç Raporu*, Ankara, Aralık, 1-125, (2000).
4. Sultansoy, S. ve ark., "Türk Hızlandırıcı Kompleksinin Genel Tasarımı", *DPT-02K-120250, Proje Sonuç Raporu*, Ankara, Temmuz, 1-164, (2006).
5. Yavaş, Ö. ve ark., "Sinkrotron Işınımı ve Serbest Elektron Lazeri Üretimi ve Kullanımı İçin Genel Tasarım", *DPT-03K-1201906-5, Proje Sonuç Raporu*, Ankara, Ocak, 1-125, (2006).
6. Fritsch, H., "Light neutrinos, nonuniversality of the leptonic weak interaction and a fourth massive generation", *Phys. Lett. B*, 289: 92-96 (1992).
7. Datta, A., "Flavor democracy calls for the fourth generation", *Paramana*, 40: 503-509 (1993).
8. Celikel, A., Ciftci, A. K. and Sultansoy, S., "A search for fourth SM family", *Phys. Lett. B*, 342: 257-261 (1995).
9. Sultansoy, S., "Why the four SM families", *30th International Conference on High-Energy Physics*, Osaka, Japan, 1-8 (2000).
10. Sultansoy, S., "Four remarks on physics at LHC", *ATLAS Week*, Geneva, Switzerland, 10 (1997).
11. Sultansoy, S., "Four ways to TeV scale", *Turk. J. Phys.*, 22: 575-597 (1998).
12. İnternet : Türk Hızlandırıcı Merkezi Projesi (TAC) "Application of accelerators" <http://bilge.science.ankara.edu.tr> (2007).
13. Sultansoy, S., "Regional project for elementary particle physics: linac-ring type c- $\tau$ -factory", *Turk. J. Phys.*, 17: 591-597 (1993).
14. İnternet : DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron) "Accelerators" [www.desy.de](http://www.desy.de) (2007).



15. Sultansoy, S., "Linac-ring type colliders: second way to TeV scale", *Eur. Phys. J. C*, 33: 1064-1066 (2004).
16. Sultansoy, S., "A review of TeV scale lepton-hadron and photon-hadron colliders", *Proceedings of 2005 Particle Accelerator Conference, PAC'05*, Knoxville, Tennessee, 4329 (2005).
17. Çiftçi, A. K. et al., "Main parameters of TeV energy  $\gamma p$  colliders", *Nucl. Instr. and Meth. A*, 365: 317-328 (1995).
18. Çiftçi, A. K., Sultansoy, S. and Yavas, O., "TESLA\*HERA based  $\gamma p$  and  $\gamma A$  colliders", *Nucl. Instr. and Meth. A*, 472: 72-78 (2001).
19. Ginzburg, I. F. et al., "Colliding gamma e and gamma gamma beams based on the single pass accelerators (of Vlepp type)", *Nucl. Instr. and Meth.*, 205: 47-68 (1983).
20. Ginzburg, I. F. et al., "Colliding gamma e and gamma gamma beams based on the single pass  $e^+e^-$  accelerators. II polarization effects, monochromatization improvement", *Nucl. Instr. and Meth. A*, 219: 5-24 (1984).
21. Telnov, V. I., "Problems of obtaining gamma gamma and gamma epsilon colliding beams at linear colliders", *Nucl. Instr. and Meth. A*, 294: 72-92 (1990).
22. Telnov, V. I., "Principle of photon colliders", *Nucl. Instr. and Meth. A*, 355: 3-18 (1995).
23. Telnov, V. I., "Progress in photon colliders", *Turk. J. Phys.*, 22: 541-550 (1998).
24. Telnov, V. I., "High-energy photon colliders", *Nucl. Instr. and Meth. A*, 455 : 63-69 (2000).
25. Aktas, H. et al., "New tool for 'old' nuclear physics: FEL gamma-nucleus colliders", *Nucl. Instr. and Meth. A*, 428 : 271-275 (1999).
26. Kneissel, U. et al., "Investigation of nuclear structure by resonance fluorescence scattering", *Prog. Part. Nucl. Phys.*, 37 : 349 (1996).
27. Keil, E., "LHC e-p option", *LHC Project Report 93*, CERN, 12 (1997).
28. Ellis, J., Keil, E. and Rolandi, G., "Options for future colliders at CERN", *CERN Library Record*, 25 (1998).
29. Norem, J. and Sen, T., "Electrons in the VLHC tunnels: the  $e^+e^-$  and ep options", *FERMILAB Library Server*, 4 (1999).

30. Wiik, B. H., “Recent development in accelerators”, *Proceedings of the Int. Europhysics Conf. on High Energy Physics*, Marseille, France, 739-758 (1993).
31. Piwinski, A., “Intrabeam scattering”, *Proc. 9th Int. Conf. on High Energy Accelerators*, SLAC, Stanford, 4058 (1974).
32. Evans, L. R. and Zotter, B., “Intrabeam scattering in the SpS”, *CERN Library Record*, 18 (1980).
33. Chou, W. and Piwinski, A., “Intrabeam scattering in the SSC collider and in the boosters”, *SSCL*, 7 (1992).
34. Eidelman, S. et al., “Review of particle physics”, *Phys. Lett. B*, 592: 241 (2004).
35. Katz, U., Klein, M., Levy A. and Schlenstedt, S., “ep scattering at  $\sqrt{s} \approx 1$  TeV”, The THERA Book, 4, *DESY*, Hamburg, 62 (2001).
36. Assmann, R. W. et al. “A 3-TeV  $e^+e^-$  linear collider based on CLIC technology” *CERN Library Record*, 76 (2000).
37. Battaglia, M. et. al., “Physics at the CLIC multi-TeV linear collider”, *11th International Conference on Hadron Spectroscopy (Hadron05)*, Rio de Janeiro, Brazil, 226 (2004).
38. Schulte, D. and Zimmerman, F., “QCD-E based on LHC and CLIC”, *LHC Project Note 333*, Geneva, CERN, 5 (2004).
39. Schulte, D. and Zimmerman, F., “QCD Explorer based on LHC and CLIC-1” *9th European Particle Accelerator Conference (EPAC 2004)*, Lucerne, Switzerland, 3 (2004).
40. Asner, D. et. al., “Higgs physics with a gamma gamma collider based on CLIC1”, *Eur. Phys. J. C*, 28: 27–44 (2003).
41. Brinkmann, R. and Dohlus, M., “A method to overcome the bunch length limitation on  $\beta_p^*$  for electron-proton colliders”, *DESY-M-95-11, Internal Report*, Hamburg, September, 1-9 (1995).
42. Brinkmann, R., “Interaction region and luminosity limitations for the TESLA/HERA e/p collider”, *Turkish J. Phys.*, 22: 661-666 (1998).
43. Dainton, J. B. et.al., “Deep inelastic electron-nucleon scattering at the LHC”, *JINST*, 1: 10001 (2006).
44. Karadeniz, H. and Sultansoy, S., “QCD Explorer proposal: e-linac versus e-ring”, *Proceedings of EPAC06*, Edinburgh, Scotland, 673-675 (2006).

45. Gladilin, L., Karadeniz, H., Receptoglu, E. and Sultansoy, S., "LHC and VLHC based ep colliders: e-linac vs e-ring", *Acta Physica Polonica B* (in press), (2007).
46. Tigner, M., Wiik, B. and Willeke, F., "An electron proton collider in the TeV range", *Proc. of the 1991 IEEE Particle Accelerator Conference*, San Francisco, 2910 (1991).
47. Belyaev, A., Leroy, C., Mehdiyev, R. and Pukhov, A., "Leptoquark single and pair production at LHC with CALCHEP/COMPHEP in the complete model", *JHEP*, 509: 005 (2005).
48. Wilczek, F., "Future summary: closing talk delivered at LEPfest", *Int. J. Mod. Phys. A*, 16: 1653-1678 (2001).
49. Gribov, V. N., Levin, E. M. and Ryskin, M.G., "Semihard processes in QCD", *Phys. Rep.*, 100: 1 (1983).
50. Glasman, C., "Precision measurements of  $\alpha(s)$  at HERA", *AIP Conf. Proc.*, 792: 689-692 (2005).
51. Frankfurt, L., McDermott, M. and Strikman, M., "A fresh look at diffractive J/Psi photoproduction at HERA, with predictions for THERA", *JHEP*, 103: 45 (2001).
52. Lublinsky, M., Gotsman, E., Levin, E. and Maor, U., "Nonlinear evolution and parton distributions at LHC and THERA energies", *Nucl. Phys. A*, 696: 851-869 (2001).
53. Klasen, M., "Jet photoproduction at THERA", *Eur. Phys. J. direct C*, 3: 3 (2001).
54. Zarnecki, A., "Contact interactions, large extra dimensions and leptoquarks at THERA", *Acta Phys. Polon. B*, 33: 619 (2002).
55. Alan, A., T. and Senol, A., "Single top production at HERA and THERA", *Europhys. Lett.*, 59: 669 (2002).
56. Yue, C., Zong, H. and Wang, S., "Production of the top pions at the THERA collider based gamma p collisions", *Phys. Lett. B*, 575: 25 (2003).
57. Yue, C., Wang, W. and Zong, H., "Top-pions and single top production at the HERA and THERA colliders", *Nucl. Phys. B*, 667: 349 (2003).
58. Yue, C., Yu, D. and Zong, Z., "Neutral top pion and t gamma (z) production at the HERA and THERA colliders", *Phys. Lett. B*, 591: 220 (2004).

59. Larios, F., Penunuri, F. and Perez, M., A., “Top pions and single top production at HERA and THERA”, *Phys. Lett. B*, 605: 301 (2005).
60. H1 Coll., Adloff, C. et al., “Measurement of  $D^*$  meson cross sections at HERA and determination of the gluon density in the proton using NLO QCD”, *Nucl. Phys. B*, 545: 21 (1999).
61. Frixione, S. et al., “Heavy quark correlation in photon-hadron collisions”, *Nucl. Phys. B*, 412: 225 (1994).
62. Gluck, M., Reya, E. and Vogt, A., “Dynamical parton distributions revisited”, *Eur. Phys. J. C*, 5: 461-470 (1998).
63. Çakır, O., Yılmaz, A. and Sultansoy, S., “Single production of excited electrons at future  $e^+e^-$ , ep and pp colliders”, *Phys. Rev. D*, 70: 75011 (2004).

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel bilgiler

Soyadı, Adı : KARADENİZ, Hande  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 01 Haziran 1974 Marmaris  
 Medeni hali : Evli  
 e-mail : hande.karadeniz@taek.gov.tr

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi	-
Yüksek lisans	Ankara Üniversitesi/Fizik Müh. Böl.	1999
Lisans	Ankara Üniversitesi/Fizik Müh. Böl.	1996
Lise	Marmaris Lisesi	1991

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1999-2000	Milli Eğitim	Öğretmen
2000- ....	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu	Mühendis

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

1. Gladilin, L., **Karadeniz, H.**, Recepoglu, E. and Sultansoy, S., “LHC and VLHC based ep colliders: e-linak vs e-ring”, *Acta Physica Polonica B* (2007) (baskıda).
2. **Karadeniz, H.** and Sultansoy, S., “QCD Explorer Proposal: e-linac versus e-ring”, *Proceedings of EPAC 2006*, Edinburgh, Scotland, MOPLS056: 673-675 (2006).

3. Yücel, H., **Karadeniz, H.**, Çetiner, M. A., Demirel, H. and Turhan, Ş., “Measurement of absolute intensity of 1001 keV gamma-ray of  $^{234m}\text{Pa}$ ”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 258(2): 445-447 (2003).
4. İslamzade, Y., **Karadeniz, H.** and Sultansoy, S., “Anomalous Single Production of the Fourth SM Family Quarks and Lepton at Future Electron-Positron Colliders”, *BPL*, 10(3): 168-172 (2002).