

Proje No: 104T503

**BÜYÜK HADRON ÇARPIŞTIRICISINDA KARA MADDE PARÇACIĞININ
ARANMASI**

Prof.Dr. Durmuş A. Demir¹

Dr. Kerem Cankoçak²

¹Department of Physics, University of Iowa

²Fizik Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü

TEMMUZ 2007
İZMİR

ÖNSÖZ

Bu rapor TÜBİTAK desteği ile yürütölmüş ‘Büyük Hadron Çarpıştırıcısında Kara Madde Parçacığının Aranması’ başlıklı araştırma projesinin konularını ve bulgularını özetleyen bir metindir. Gerek kara madde kavramı gerek ilintili kuramsal yapılar gerekse beklenen deneysel sonuçlar bu rapor çerçevesinde sunulmuştur. Raporun giriş kısmı hariç bütün bölümleri proje kapsamında yapılan uluslararası yayınlara dayanmaktadır.

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ	.....	4
ÖZET	.....	5
ABSTRACT	.....	6
GİRİŞ	.....	7
ÇOKBOYUTLU UZAYLAR: KARA MADDE ADAYI VE GÖZLENMESİ	.....	9
SÜPERSİMETRİK MODELLER: KARA MADDE ADAYI VE GÖZLENMESİ	.....	13
SONUÇ	.....	19
KAYNAKÇA	.....	19

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1	.....	12
Şekil 2	.....	14
Şekil 3	.....	15
Şekil 4	.....	16
Şekil 5	.....	18

ÖZET

Çeşitli astrofizik ve kozmolojik gözlemler evreni oluşturan toplam madde miktarının yaklaşık $\frac{1}{4}$ ünün kara madde tabir edilen ışık saçmayan, ağır ve uzun ömürlü parçacıklardan oluştuğunu göstermektedir. Ancak parçacık fiziğinin deneylerle mükemmel uyum gösteren standart modeli böyle bir yapıyı öngörmemekte, böyle bir yapıya yol açabilecek herhangi bir parçacığa da sahip bulunmamaktadır. Bu bağlamda, bu tür bir yapıyı oluşturabilmek için ve diğer bir takım kavramsal sebeplerden dolayı, standart modelin genişletilmesi gerekmektedir. Yaygın olarak bilinen iki genişletme, ek uzayzaman boyutları ve süpersimetrik modeller, bu proje çalışmasının ana konularıdır. Her iki alanda da çeşitli çalışmalar yapılmış, kara madde adayının özellikleri belirlenmiş, yeni modeller oluşturulmuş ve kara madde parçacığının yaklaşmakta olan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı deneylerinde gözlemlenme koşulları analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kara Madde, Ek Uzayzaman Boyutları, Yüksek Eğriliği Çekim, Madde—karşıt-madde asimetrisi, Süpersimetri, süpersimetrik kardeşler, LSP.

ABSTRACT

Various astrophysical and cosmological observations have already established that approximately $\frac{1}{4}$ of total matter in the universe is made up of non-luminous, long-living, massive particles forming up the Dark Matter. However, the standard model of particle physics, which exhibits excellent agreement with all the experiments conducted so far, does not consist of such particles. Therefore, for explaining Dark Matter and for some other conceptual reasons, it is necessary to extend the standard model. Two popular extensions, extra dimensions and supersymmetry, are the main arena for this project. In both models, we have attacked on a number of research problems by determining the properties of dark matter candidate, by forming new models, and by analyzing under what conditions a dark matter candidate can be observed at Large Hadron Collider.

Keywords: Dark Matter, Extra Dimensions, Higher Curvature Gravity, Matter—anti-matter asymmetry, supersymmetry, superpartner, LSP.

GİRİŞ

Bütün astrofizik ve kozmolojik deneysel veriler göstermektedir ki evrende bulunan toplam maddenin %73'u kara enerji tabir edilen negatif basınç uygulayan madde türünden, % 22'si kara madde tabir edilen madde türünden ve son olarak %5'i de bildiğimiz materyal varlığı oluşturan baryonlardan oluşmaktadır (WOOD-VASEY, 2007). Bir çok bağımsız gözlem göstermiştir ki evren bu üç ana bileşenden mürekkeptir ve modern parçacık fiziğinin en önemli problemlerden biri bu bileşenlerin orijinlerini ve miktarlarını anlamaktır.

Bu projenin konusu kara madde (KM) sektörü olup amacı ise kozmik ve astrofizik deneylerle gerekliliği ortaya çıkan bu madde türünü oluşturan parçacıklar için belli öngörü önerme ve yorumlara dayalı modelleri oluşturmak/inceleme ve de bu modellerin öngördüğü parçacıkların CERN'de yapılacak olan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC) deneyleri çerçevesinde nasıl gözlemlenebileceği konusunu araştırmaktır. Tarihi olarak, KM'nin varlığını işaret eden ilk bulgular spiral galaksiler etrafındaki toz bulutunun dönüş hızındaki anormallikler ile başladı (RUBIN, 1970). Kepler dinamiği veya Newton mekanizmasının öngördüğü düz rotasyon eğrileri yerine galaksi merkezinden uzaklaştıkça azalan bir hız profili gözlemlenmişti. Bu gözlemler **'isik saçmayan, yalnızca zayıf etkileşmelere giren ve en azından evrenin yaşı civarında ömre sahip yeni bir madde türünün varlığı'** yani KM olarak yorumlandı. Bu yorum on yıllar boyunca yapılan çok çeşitli

Bu projenin konusu kara madde (KM) sektörü olup amacı ise kozmik ve astrofizik deneylerle gerekliliği ortaya çıkan bu madde türünü oluşturan parçacıklar için belli öngörü, önerme ve yorumlara dayalı modelleri oluşturmak/inceleme ve de bu modellerin öngördüğü parçacıkların CERN'de yapılacak olan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC) deneyleri çerçevesinde nasıl gözlemlenebileceği konusunu araştırmaktır. Tarihi olarak, KM'nin varlığını işaret eden ilk bulgular spiral galaksiler etrafındaki toz bulutunun dönüş hızındaki anormallikler ile başladı (RUBIN, 1970). Kepler dinamiği veya Newton mekanizmasının öngördüğü düz rotasyon eğrileri yerine galaksi merkezinden uzaklaştıkça azalan bir hız profili gözlemlenmişti. Bu gözlemler **'isik saçmayan, yalnızca zayıf etkileşmelere giren ve en azından evrenin yaşı civarında ömre sahip yeni bir madde türünün varlığı'** yani KM olarak yorumlandı. Bu yorum on yıllar boyunca yapılan çok çeşitli bağımsız gözlemler ile herhangi bir çelişki göstermediği gibi mevcut evreni çelişkisiz olarak anlamak için vazgeçilmez bir bileşene dönüştü (RIESS, 1998).

Doğanın kısa mesafelerdeki (kabaca 10^{-18} m) davranışını (kuvvet yasaları ve temel parçacıkların yapıları bağlamında) açıklayan ve yapılagelen bütün deneylerle hayret verici bir uyum gösteren Standart Model (WEINBERG, 1967) KM için herhangi bir açıklama getiremediği gibi KM aday olabilecek bir parçacığa da sahip değildir. Standart Model (SM)'in bir diğer problemi ise kuantum mekaniksel etkiler karşısında kararlı davranamayışdır öyle ki nükleer etkileşmelerden sorumlu olan kuvvet (zayıf etkileşme kuvveti) kuantum etkileri altında ciddi ölçüde zayıflayıp

çekim kuvveti mertebesinde son derece zayıf bir kuvvete dönüşmektedir (SUSSKIND, 1979). Bu problem, bilinen adı ile hiyerarşi problemi, SM'nin en temel problemi olup başka tüm problemler (örneğin KM problemi) bu problemi çözebilen modeller çerçevesinde analiz edilmelidir. Hiyerarşi meselesine çözüm getirebilen iki ana yaklaşım ise süpersimetrik modeller (NILLES, 1984) ile çokboyutlu uzayzaman modelleri (ARKANI-HAMED, 1998) olup bu projede KM problemi bu iki ana yapı çerçevesinde tartışılacaktır. Bu noktada bu modellere ve sundukları kara madde adaylarına ilişkin kısa bir tanımlama vermek faydalı olacaktır:

- A) **Supersimetrik Modeller (SUSY):** Hiyerarşi probleminin temel nedeni ŞM'nin Higgs sektörünün doğal olmayışıdır yani Higgs alanının kütesinin sıfırlanmasının sistemin simetrisini artırmamasıdır ve bu bağlamda problemin çözümü öncelikle Higgs sektörünün doğallaştırılması ile olur. Bu doğallaştırma için gereken şey yeni bir simetri yasasının bulunması olup süpersimetri (her bir parçacığa aralarındaki spin farkı $\frac{1}{2}$ olacak şekilde bir kardeş tayin edilmesi) uygun bir simetridir. Bu simetri yapısının en önemli sonuçlarından biri en hafif süpersimetrik parçacığın kararlı (hiç bozulmadan kalan ve dolayısıyla uzun ömürlü) bir parçacık oluşudur. Bu en hafif süpersimetrik parçacık (LSP) bir kara madde adaydır (OLIVE, 2006). Mevcut proje çerçevesinde değişik süpersimetrik modellerdeki LSP adayları incelenecek ve LSP'nin LHC deneylerinde gözlemlenebilmesi için gerekli bir takım koşullar tartışılacaktır.
- B) **Çokboyutlu Uzaylar:** Hiyerarşi probleminin nedeni kuantum genliklerinin hesabında keyfi derecede küçük mesafelere inilmesidir. Halbuki, SM'in üst geçerlilik sınırı olan $\Lambda_{SM} \sim 1$ TeV civarında çokboyutlu, ek boyutların kabaca 1 mm veya daha kısa olduğu ve Newton çekim sabitinin Λ_{SM} civarında değer aldığı bir uzayzaman bulunması mümkündür ki bu durumda hiyerarşi problemi kendiliğinden ortadan kalkar (ARKANI-HAMED, 1998). Bu türden yüksek boyutlu çekim kuramları çeşitli KM adaylarını haizdir: en hafif Kaluza-Klein seviyesi (SERVANT, 2003) veya Q-topları (DEMİR, 2000) gibi. Mevcut proje çerçevesinde çokboyutlu uzayların bir KM adayı vermesi için gerekli geometrik yapılar irdelenecek ve ilgili yapıların KM adayı olup olmadığı skaler-tensor gravitasyon teorileri çerçevesinde ele alınacaktır (CATENA, 2004).

Kuramsal çerçeveyi çizen bu iki ana yolun tayinine ek olarak deneysel altyapıyı oluşturan LHC deneyine değinmek faydalı olacaktır. LHC, Türkçe açılımı ile Büyük Hadron Çarpıştırıcısı, İsviçre'nin Cenevre kentinde kurulu Avrupa Nükleer Araştırmalar Merkezi (CERN) tarafından 2008 yılı içinde başlatılacak olay deneyler kümesinin adıdır. LHC deneyi 14 TeV'lik kütle merkezi enerjisi ile iki proton demetinin çarpıştırılmasını ve çıkan ürünlerin dört ayrı dedektörde (CMS, ATLAS, LHCb ve ALICE) değişik amaçlar için incelenmesini içermektedir. Çarpıştırıcı tarihte yapıla gelen en yüksek enerjili çarpıştırıcı olup SM'in ötesinde, Λ_{SM} ve daha yüksek enerjilerde, yeni fizik yasaları ile yeni parçacık türlerini araştıracaktır. LHC deneyinde ortaya çıkacak olan sonuçlar ile kozmik/astrofizik gözlemlerin bağdaşık olabilmesi için en azından KM'yi açıklayacak bir SM-dışı parçacığın gözlemlenmesi beklenmektedir (BALTZ, 2006).

ÇOKBOYUTLU UZAYLAR: KARA MADDE ADAYI VE GÖZLEMLENMESİ

Bu projede hedeflenen çalışma daha önceden yapılmış olan (SERVANT, 2003) veya (DEMİR, 2000) gibi Kaluza-Klein seviyelerinin simetri yapılarına dayalı bir analiz olmayıp bunların yerine çokboyutlu uzayın geometrik yapısını yoklayan diğer bir deyimle eğrilik tensorunun genel bir fonksiyonu ile tarif edilen Einstein-ötesi çekim teorilerinde ortaya çıkan skaler veya tensorel parçacıkları araştırmaktır. Bu projede temel hedef bu skaler/tensorel parçacıkların özelliklerinin tayini olacaktır zira böylesi parçacıkların, en azından skaler parçacıkların, hem kara enerji hem de KM'yi oluşturmak için yeterli potansiyele sahip oldukları bilinmektedir (Bkz. (CATENA, 2006), (BURGESS, 2001) ve (DEMİR, 1999)).

Genel Görecelik Kuramı yalnızca genel kovaryans (yani keyfi bir koordinat dönüşümü altında fiziksel niceliklerin değişimsiz kalacağı) koşulu üzerine kurulmuştur. Bu bağlamda sistemin aksiyonunu kurarken yalnız eğrilik skaleri R değil genel olarak diğer eğrilik tensörlerinden kurulmuş değişimsizlerin de kullanılabileceği ortaya çıkar (STELLE, 1977). Einstein kuramı yalnızca R 'yi içerirken en genel halde yazılmış olan aksiyon eğrilik değişimsizlerinden oluşan genel bir fonksiyonu ihtiva eder. Böylesi kuramlar, yüksek-eğriliği çekim kuramı (veya yüksek türevli çekim kuramı), Einstein kuramına göre yeni parçacıklar içerir ve bu parçacıklar yukarıda bahsedildiği üzere kara madde/kara enerji olaylarını açıklamakta önem arzedebilir. Bütün bunlara ek olarak, böylesi bir teori (ARKANI-HAMED, 1998) anlamında çokboyutlu bir uzayzaman çerçevesinde ele alınırsa bir takım etkiler LHC deneyinde direk olarak gözlemlenebilir.

Ayrıntıların tanıtılmasına, $D > 4$ boyutlu bir uzayzaman için yazılmış genel bir çekim aksiyonu ile başlamak uygun gözükmektedir (Bkz. (DEMİR, 2006) ve (ASLAN, 2006)):

$$S = \int d^D x \sqrt{-g} \left\{ -\frac{1}{2} \overline{M}_D^{D-2} f(\mathcal{R}, P, Q) + \mathcal{L}_{matter}(g_{AB}, \psi) \right\}$$

öyle ki ($A, B = 0, 1, 2, \dots, D$ olmak üzere)

$$P = \mathcal{R}_{AB} \mathcal{R}^{AB}, \quad Q = \mathcal{R}_{ABCD} \mathcal{R}^{ABCD}$$

sırasıyla Ricci ve Riemann tensörlerinin kuadratiklerinden oluşturulmuş eğrilik değişimsizleridirler. Yukarıdaki aksiyon ifadesinde \overline{M}_D çok boyutlu uzaydaki çekim kuvvetinin temel iskalasını (yani kabaca $\Lambda_{SM} \sim 1$ TeV), $\mathcal{L}_{matter}(g_{AB}, \psi)$ ise madde alanlarının lagrange yoğunluğunu göstermektedir. Aksiyon yoğunluğu eğrilik değişimsizlerinin genel bir fonksiyonu olup Einstein teorisini elde etmek için $f(\mathcal{R}, P, Q) = \mathcal{R}$ almak yeterlidir. Öte yandan, metrik tensorunun düz bir arkaplan geometrisi etrafında açılabilmesi için

bu fonksiyonun argümentleri sıfırlandığında sıfırlanması gerekmektedir yani $f(0, 0, 0)$ sıfır olmalıdır. Bu koşul altında metrik tensoru şöyle açılabilir:

$$g_{AB} = \eta_{AB} + 2\overline{M}_D^{1-D/2} h_{AB}$$

öyle ki $\eta_{AB} = \text{diag.}(1, -1, -1, \dots, -1)$ düz arkaplan uzayzamanı gösterirken h_{AB} gravitonu (çekim kuvvetini ileten parçacık) ve daha doğru bir ifade ile çekim dalgalarını ihtiva eder. Metrik tensorunun bu açılımını yukarıdaki aksiyon ifadesinde yerine koyar ve h_{AB} cinsinden ikinci kuvvete kadar açarsak graviton propagatorunu (graviton yayılım genliğini) buluruz. Bu işlem eldeki yüksek-eğrili çekim kuramının ihtiva ettiği temel parçacıkları belirleyip sınıflamak için önemlidir. Gerçekten de bu sistemin 3 tür parçacık içerdiği bulunur:

1) **Spin=2 kütleli graviton:** Bu parçacık Einstein teorisinde bulunan yegane parçacık olup ters-kare yasası uyarınca uzun mesafeler boyunca çekim kuvvetinin etki göstermesini sağlar. Genel olarak, çekim dalgası h_{AB} uzayzaman içinde p momentumu ile yayılırken bu parçacığın propagatöre olan katkısı $1/p^2$ ile orantılıdır ve tensor yapısı

$$\frac{1}{2} \left(\eta^{AC} \eta^{BD} + \eta^{AD} \eta^{BC} \right) - \frac{1}{D-2} \eta^{AB} \eta^{CD}$$

projektörünü içerir. Bu projektör D boyutlu bir uzayda kütleli bir parçacığı tarif eden projektördür.

2) **Spin=2 kütleli graviton:** Bu parçacık Einstein teorisinde kesinlikle bulunmayan, etkileri ters-kare yasasına göre çok daha kısa mesafelerde gözlemlenebilen bir tensor parçacıktır. Propagatöre olan katkısı $1/(p^2 - m_1^2)$ faktörünü ihtiva eder ve projektörü (-1) çarpı

$$\frac{1}{2} \left(\eta^{AC} \eta^{BD} + \eta^{AD} \eta^{BC} \right) - \frac{1}{D-1} \eta^{AB} \eta^{CD}$$

şeklinindedir. Bu projektör D boyutlu bir uzayda kütleli bir parçacığı tarif eder. Projektörün önündeki (-1) faktörü bu parçacığın yalnızca kütleli değil bir de hayalet (ghost) yapısında olduğunu gösterir. Daha açık bir ifade ile, bu tür parçacıkların direk bir yorumu oldukça zordur zira kuvantum anlamında (her ne kadar gravitasyonel etkileşmelerin kuvantumlanması olası gözüküyorsa da) böyle parçacıklar negative normlu durumlara karşılık gelir. Bu durum ilk bakışta fiziksel olarak kabul edilmez gözükmeyle birlikte bu türden kuvantum durumlarını daha hafif parçacıklara bozulan ağır sistemler olarak yorumlamak mümkündür ve nedenselliğin yön değiştirmesi dışında fiziksel bir zorluk içermez (LEE, 1969).

3) **Spin=0 kütleli graviton:** Bu parçacık da Einstein teorisinde bulunmayan, hayalet özellikleri de göstermeyen, etkileri ters-kare yasasına göre çok daha kısa mesafelerde gözlemlenebilen bir skaler parçacıktır. Propagatöre olan katkısı $1/(p^2 - m_\phi^2)$ faktörünü içerir ve projektörü doğal olarak

$$\eta^{AB}\eta^{CD}$$

şeklinde olup bir skaler alanın yayılımına tekabül eder.

Yukarıda verilen Einstein kuramında bulunmayan tensor ve skaler parçacıkların kütleleri için ifadeler şöyledir:

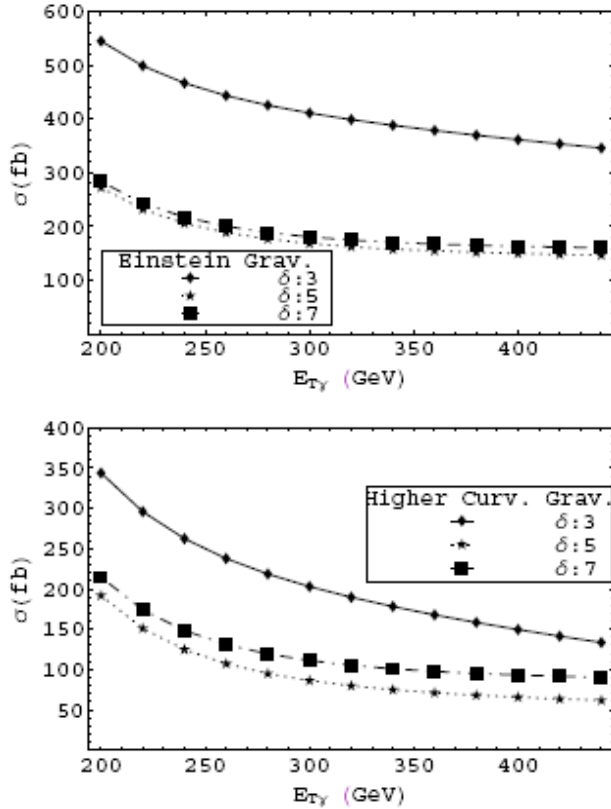
$$m_0^2 = -\frac{4f_R(0)}{f_P(0) - 8f_{RR}(0)}, \quad m_1^2 = -\frac{4f_R(0)}{f_P(0) + 4f_Q(0)}, \quad m_\phi^2 = -\frac{(D-2)m_0^2 m_1^2}{(D-1)m_1^2 + m_0^2}$$

öyle ki $f_R \equiv \partial f / \partial R$, $f_P \equiv \partial f / \partial P$, $f_Q \equiv \partial f / \partial Q$ şeklinde tanımlanmışlardır. Yukarıdaki denklemlerden de görüldüğü üzere kütleli parçacıkların kütle-kareleri genel olarak hem negatif hem de pozitif değerler alabilir ve her iki durum da deneysel olarak gözlemlenebilen bir takım etkilere yol açar.

Spin=2 ve spin=0 kütleli gravitonlar fiziksel parçacıklar arasındaki gravitasyonel etkileşmeleri değiştirdikleri için bilinen Newton yasalarına göre farklılıklara yol açarlar. Bu farklılıklar LHC deneyinde kendilerini göstereceklerdir (ASLAN, 2006). Öte yandan, bu yeni parçacıklar \square özellikle de skalar parçacık, tamamiyle geometrik orijinli olmakla birlikte skaler-tensor teorileri çerçevesinde kara enerji ve KM'ye önemli katkılar verir (CATENA, 2004). Bunların da dışında, aksiyon yalnızca $f(\mathcal{R})$ formunda olsa bile (DEMIRA, 2006) sistemde Einstein teorisine göre ek bir skaler alan mevcuttur ve bu alan uzayzaman boyutlarının kompaktifikasyonu gibi yepyeni roller üstlenebilir (DEMIRb, 2006).

Yukarıda belirlenen yeni skaler ve tensorel parçacıklar LHC (veya başka yüksek enerjili çarpıştırıcılarda) bir çok çarpışma olayının genliğini ve dolayısıyla olay sayısını değiştirir. Bu tür etkileri örneklemek bağlamında LHC çarpıştırıcısında iki adet foton üretimini analiz etmek arkaplan bağımlılığı az olduğu için aydınlatıcı bir çalışma olacaktır (SABANCI, 2007). Proton-proton çarpışmasında foton çifti üretimi iki şekilde oluşur: a) kuark ile karşıt-kuark'ın yokoluşu (bu \mathcal{M} 'de de var olan kişimdir) ve b) İki glüonun yokoluşları (bu yalnızca çokboyutlu uzaylardan gelen graviton değiş-tokuşu ile olur) ile. Dolayısıyla foton çifti üretimi \mathcal{M} 'de, Einstein teorisinde ve de mevcut yüksek-enerjili çekim teorisinde başka başka değerler alacaktır. Bu bağlamda, LHC'de yapılacak ölçümler doğru teorisin hangisi olduğunu bir KM adayının bulunup bulunmadığı yoluyla test edebilecektir zira KM adayı yoksa ilgili teori gerçekçi olamaz. LHC'de gözlemlenebilecek tipik bir sinyal Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu grafikten de görüldüğü üzere ek boyut sayısı δ ve yayılan fotonun çarpışan protonların

oluşturduğu çizgiye dik yöndeki enerjisi $E_{T\gamma}$ değişirken Einstein teorisinden beklenen sonuç (üstteki pencere) ile yüksek eğrılıklı çekim kuramından beklenen sonuç (alttaki pencere) farklıdır. Bu farkların deneysel olarak gözlemlenmesi LHC'nin sahip olduğu enerji ve lüminosite düzeyinde mevcut çarpıştırıcılara göre daha kolaydır. Grafiklerin gösterdiği farklar yüksek eğrılıklı çekim kuramının içerdiği yeni kütleli tensorel ve skaler parçacıklardan kaynaklanmaktadır (ASLAN, 2006; SABANCI, 2007).



Şekil 1: LHC'de foton çifti üretimi için tesir kesiti. Einstein kuramı (üstteki pencere) ve yüksek eğrılıklı çekim kuramı (alttaki pencere). [Bu grafik (SABANCI, 2007)'den alınmıştır.]

Bu bölümdeki bulgular şöyle özetlenebilir:

- 1) Einstein'in öngördüğü yapılardan çok daha genel bir çekim teorisi düşünmek mümkündür zira genel görecelik kuramında buna engel oluşturan bir durum yoktur.
- 2) Yüksek eğrılıklı çekim kuramı genel olarak Einstein kuramına göre ek tensorel ve skaler parçacıkların varlığını öngörür. Bu parçacıklar, tamamiyle geometrik orijinli olmakla birlikte, genel olarak bütün materyal varlığın etkileşmelerine katkı verirler ve kara enerji ve KM için bir kaynak vazifesi görürler.
- 3) LHC'de bu parçacıkların proton-proton çarpışmasında direk olarak üretilmesi veya foton çifti üretiminde olduğu gibi bilinen bir takım süreçlere olan etkilerinin gözlemlenmesi kuvvetle beklenir.

- 4) Bu proje kapsamında yapılan çokboyutlu uzaylarla ilgili çalışmaların (CATENA,2004)'de olduğu şekilde KM bağlamında ayrıntılı olarak analiz edilmeye ve de LHC'de görülecek sinyalin PYTHIA gibi Monte Carlo programları ile simüle edilmesine ihtiyaç vardır.

SÜPERSİMETRİK TEORİLER: KARA MADDE ADAYI VE GÖZLENMESİ

Giriş kısmında da belirtildiği üzere süpersimetri, bir simetri prensibi olarak, her parçacığın bir kardeşi olmasını zorunlu kılar öyle ki parçacık ile kardeşi arasında spin farkı $\frac{1}{2}$ dir. Örnek olarak elektron spin= $\frac{1}{2}$ bir fermiyondur ve kardeşi selektron (şkaler elektron anlamında) spin=0 olan elektrik yükünü haiz bir skaler parçacıktır. Benzer şekilde foton spin=1 olan bir vektör parçacıktır ve kardeşi olan parçacık fotino spin=1/2 bir fermiyondur. Bu eşleme işlemi bilinen tüm parçacıklar için geçerli olup, hiyerarşi probleminin çözülebilmesi için elzem bir yapılanmadır (NILLES,1984).

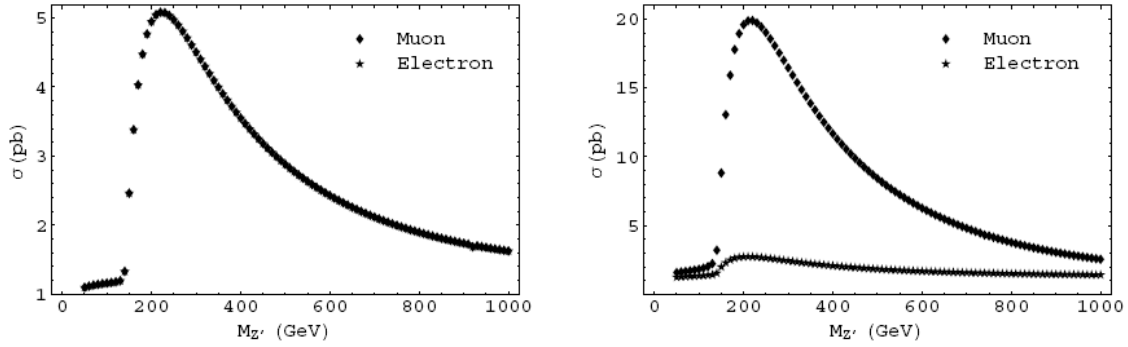
SUSY teorilerinin en önemli özelliklerinden biri R-paritesine sahip oluşudur (R-paritenin kırıldığı durumlar fenomenolojik olarak ciddi sorunlar içerebilen yapılarıdır) öyle ki herhangi bir etkileşme verteksinde süpersimetrik kardeşler muhakkak en az iki tane bulunmalıdır. Bunun anlamı ise en hafif süpersimetrik kardeşin bozulmasının imkansız oluşudur zira bozulabilmesi için en az iki adet parçacığına bağlanması gerekmektedir oysa teori bu parçacıklardan birinin muhakkak süpersimetrik kardeş olmasını zorunlu kılar (OLIVE, 2006). Bu bağlamda en hafif süpersimetrik parçacık, LSP, mükemmel bir KM adayıdır. KM üzerindeki astrofizik ve kozmolojik koşullar gereğince LSP'nin nötr ve yalnızca zayıf etkileşmelere duyarlı ve de uzun ömürlü olması gerektiğinden uygun aday foton, Z boson ve Higgs bozonunun süpersimetrik kardeşlerinin belli bir lineer kombinasyonudur (Teknik ismi ile 'nötralinosektörü' ve LSP de en hafif nötralinodur.) . KM'nin direk gözlemine ilişkin, özellikle de SUSY KM için, mevcut sınırlamalar bilinmektedir (ELLIS, 2003). Bu koşullara ilaveten, yüksek-enerji parçacık çarpıştırıcılarında, özellikle de LHC'de, LSP'nin kendisinin veya etkilerinin gözlemlenebilmesi hem modelin tanıtlanması hem de LSP'nin kanıtlanması için gereklidir (BALTZ, 2006).

Bu projede, SUSY çerçevesi içinde □ KM adayının belirlenmesi, çeşitli modeller ve deneysel sınırlamalar altında özelliklerinin tayini ve de KM adayının LHC'de doğrudan veya dolaylı olarak gözlemlenmesi temel hedefleri doğrultusunda bir dizi çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların ayrı ayrı veya gruplar halinde tartışılması aşağıdadır:

ÇALIŞMA 1: LHC'de elde edilecek belli bir deneysel veri sicim teorisi veya süperçekim teorisinin yapıları direk olarak ilişkilendirilebilir mi? Bu sorunun yanıtı evettir ve genel olarak verilen bir modelde enerji iskalaşından bağımsız olan (enerji iskalaşı değiştiği halde değişmeden kalan) yapıların kurulmasını gerektirir. Bu türden yapılar hem MSSM için, hem NMSSM tabir edilen genişletilmiş model için hem de ek bir Z bozon (Z' bozonu) içeren modeller için ayrıntılı olarak çalışılmıştır. Ana sonuç odur ki belli niceliklerin ölçümü ile eldeki modelin orijini ve süpersimetrisinin nasıl kırıldığı gibi sorulara dolaysız yanıtlar bulmak mümkündür. Bu çalışma

deney dönemi içinde 'doğru modelin bulunması' anlamında önemli bir işlev görecektir ve bütün ayrıntılar (DEMİRa, 2005)'de verilmiştir.

ÇALIŞMA 2: Minimal model, MSSM, tipik parametre değerleri için evrende mevcut KM miktarını olduğundan daha fazla olarak öngörmektedir. KM miktarının uygun değerde oluşturulduğu ve MSSM'in başka bir takım problemlerinin çözümlendiği daha genel bir SUSY modeli var midir? Bu sorunun yanıtı olumlu ve çokludur. Bu soruya evet diyebilecek bir çok model oluşturulabilir. Ancak, çelişkisiz ve fenomenolojik olarak anlamlı modeller sayıca sınırlıdır. Bu modellerden biri Z' bozonu içeren modellerdir yani SM'de mevcut Z bozonu ile benzer yapıda ama hem kütlesi hem de maddeye olan kuplajları farklı olan Z' bozonunu haiz modellerdir. Bu çerçevede yapılan analizler, özellikle de anomalilerin önlendiği durumlar için, göstermiştir ki Z' bozonu içeren modeller hem MSSM'in bir çok problemini çözebilmekte hem de LHC'de temiz ve ölçümü kolay sinyaller yoluyla MSSM'den ayrıştırılabilmekte hem de KM için deneysel değerlerle örtüşen sonuçlar vermektedir (DEMİRb, 2005). Bu durumu örneklemek amacıyla belli bir LHC sinyaline, mesela lepton çifti üretimine (elektron-pozitron veya müon—karşıt-müon veya tau lepton—karşıt-tau lepton) bakmak yeterlidir. Şekil 2'de müon ve elektron sinyalleri karşılaştırılmalı olarak verilmektedir. Sağ panelden görüldüğü üzere anomalilerden arındırılmış, KM yoğunluğu için daha uygun bir değer veren (DEMİRb, 2005) çalışması LHC'de kolayca test edilebilecek oldukça temiz bir sinyale yol açmaktadır. LHC'nin müon ve elektron sinyalleri arasındaki bu farkı kaçırmaması beklenemez.

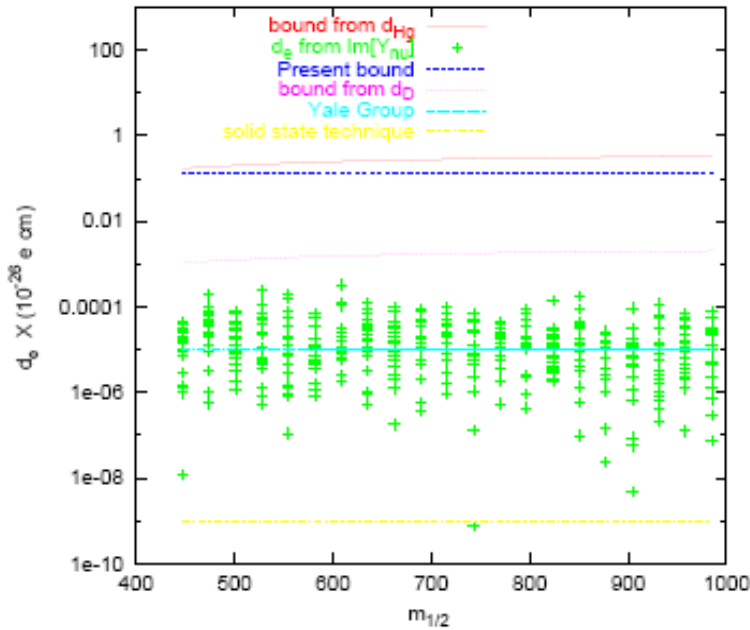


Şekil 2: LHC'de müon—karşıt müon (boslava dilimli) ile elektron—pozitron (dolü yıldızlı) üretimlerinin tesir kesitlerinin karşılaştırılması. Sol panel anomaliler taşıyan, fiziksel olarak problemlili modelleri göstermektedir ki bunlar her iki çiftin üretimini de aynı miktarda olacağını öngörür. Sağ panel ise anomalilerden arınmış (DEMİRb, 2005)'de tartışılan modelin beklentisi olup elektron ile müon sinyallerini önemli ölçüde ayırmaktadır. Burada verilen tesir kesitleri LHC'de kolayca test edilebilecek temiz sinyallerdirler. [Bu grafik (HAYRETER, 2007)'den alınmıştır.]

ÇALIŞMA 3: Yukarıda tartışılan model için sorulabilecek doğal bir soru mevcut deneysel sınırlamalar altında (özellikle de artık tamamlanmış ve fakat veri analizi devam etmekte olan LEP deneyinden gelenler) ne tür bir davranış gösterdiğiidir. Zira bu tür deneysel sınırlamalar modelin öngördüğü LSP'nin bir takım özelliklerini sınırlayacak ve astrofizik/kozmolojik verilerle testini kolaylaştıracaktır. Gerçekten de, LEP deneyinin öngördüğü henüz kesin olmayan ancak muhtemel Higgs sinyali (BARATE, 2003) verisi hesaba katılırsa görülmektedir ki

(DEMIRb,2005) modelinde öngörülen LSP çok yüksek oranda Higgs bozonunun süpersimerik kardeşini içermektedir (DEMIRc, 2006). Bu sonuç LSP'nin MSSM'de öngörülene göre çok daha farklı davranacağını örneğin gözlemlenen KM oranına daha uygun değerler vereceğini işaret eder.

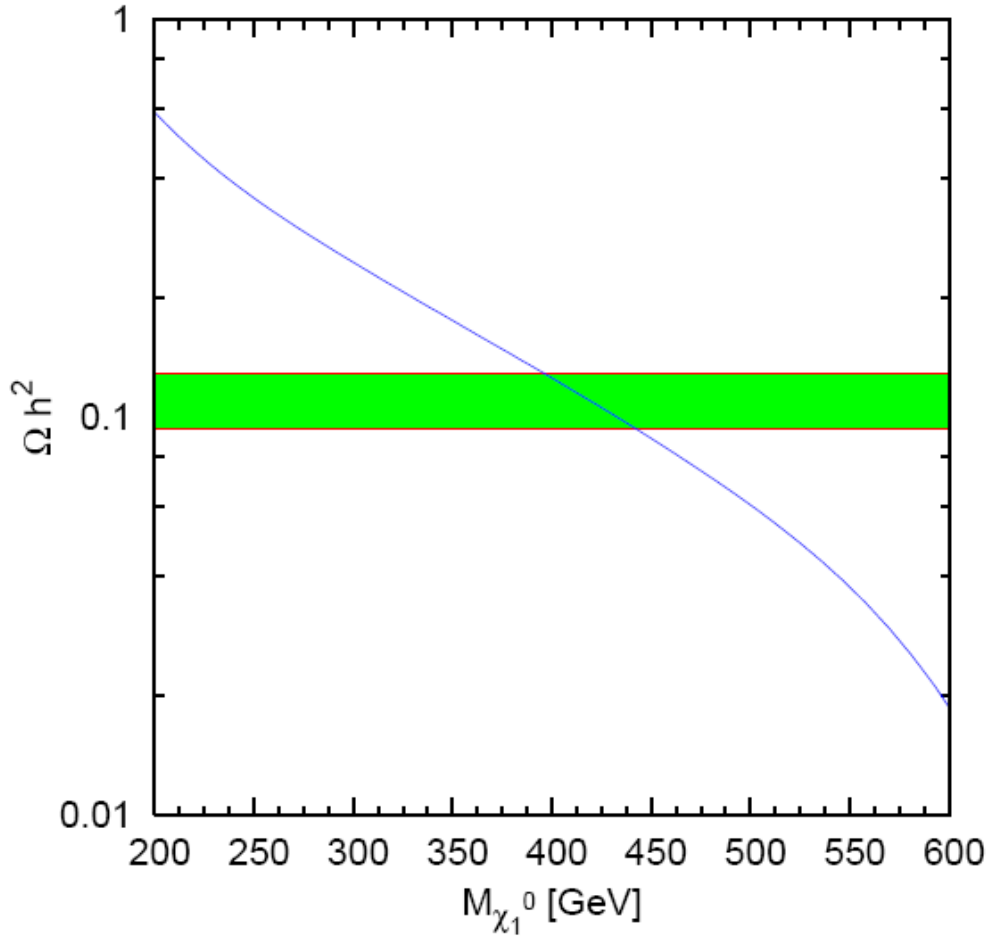
CALISMA 4: Parcacik fiziginde son yıllarda gorulen en buyuk ilerlemelerden biri notrino kutlelerinin ve karisimlerinin olculmus olmalaridir. Bu baglamda burada elde edilen deneysel verilerin SUSY modelinin diger sektorlerini nasil etkiledigi ozellikle de LSP icin yapılacak tahminlere nasil yansidigini bilmek fizisel olarak onemlidir. Bu baglamda oncelikle supercekim teorisi kapsaminda Higgs'in supersimetrik kardesinin kutlesinin notrino kutleleri ile nasil bagintili olabilecegi tartisilmis ve bu baglamda literaturde rastlananlardan cok daha fakli bir modele ulasilmistir (DEMIRd, 2006). Bu calismaya ilaveten, notrino kutleleri ile elektrik dipole momentleri arasindaki baginti arastirilmis ve bu iki sektorden gelen bilgiler isiginda LSP ve diger parcacik kutleleri hakkında bir takim tahminlerde bulunulmustur (DEMIRc, 2005). Şekil 3'de elektronun elektrik dipole momentinin LSP kütlesini belirleyen parametreye olan bağımlılığı verilmiştir ($m_{1/2}$ aşağıda tanımlanmıştır). Görüldüğü üzere dipole momenti ile ilgili ölçümlerin hassasiyeti artıkça LSP kütlesi (ve de küplajları) daha net olarak belirlenecektir.



Şekil 3: Elektronun elektrik dipole momenti ile LSP kütlesini belirleyen parametre arasındaki bağıntı. Deneysel sınırlamalar ve kuramsal sonuçlar birlikte gösterilmiştir.

ÇALIŞMA 5: MSSM ötesi çalışmaların devamı niteliğinde sol-sağ simetrik modellerde KM adayları incelenmiştir. Elbette böylesi modeller çok yüksek enerjilerde (büyük birleşme iskalası veya sicim iskalasına yakın bölgelerde) geçerlidir zira gözlemlediğimiz dünyada sol-sağ simetrisi yoktur (portakal ile limon bir birinden farklı tad ve görünüşlerde meyvelerdir). Kiral simetrinin böyle apaçık kırılmış haline rağmen çok yüksek enerjilerde doğa sol-sağ simetriyi haiz olabilir ve içerdiği KM adayı MSSM'dekinden yapı olarak farklı olabilir. Şekil 4'de sol-sağ simetrik

modellerde KM yoğunluğunun KM parçacığının kütlesi ile değişimi gösterilmektedir. İlgili şeklin açıklamasından da görüleceği üzere, MSSM'e göre bu modeldeki KM için daha geniş bir aralık tanımlanmış olup deneysel veriler ile uyum daha rahat yakalanabilmektedir (DEMİRE, 2006). Ayrıca, MSSM'de LSP adayı genel olarak fotino ve zino kombinasyonu iken bu modelde çok daha genel bir yapıya izin vardır. Bunun da en önemli sonucu LSP çiftlerinin bir araya gelerek yokolma genlikleri MSSM'inkinden farklılıklar gösterir. Ölçümlerin hassasiyeti arttıkça astrofizik/kozmozolojik gözlemlerin ne tür bir modeli öngördüğü daha açık olarak anlaşılacaktır.



Şekil 4: Sol-sağ simetrik modellerde şu anki KM yoğunluğunun KM parçacığının (sol-sağ simetrik modellerdeki LSP) kütlesi ile değişimi. Orta bölgedeki yatay bant deneysel olarak izin verilen bölgeyi, sürekli eğri ise sol-sağ simetrik modellerin tahmini verir. Benzer grafik MSSM'de yapıldığında izin verilen bölgenin son derece küçük olduğu ve nerede ise parametre uzayının tamamen dışlandığı görülür.

ÇALIŞMA 6: Bu projedeki SUSY KM çalışmalarının sonuncusu bu çalışma olup temel amacı LHC'de KM parçacığının etkilerinin gözlemlenebilmesine imkan veren süreçlerin belirlenmesi ve analizidir. Süpersimetrik modellerin KM adayı olan LSP elektriksel olarak nötr olduğundan dedektör içinde iz bırakmaz; LSP için en iyi tayin yolu enerji ve momentumun korunumu

yasasını uygulayarak ilgili süreçteki kayıp enerji ve momentumun belirlenmesidir. Ancak bu yöntem de kesin sonuçlar vermekten uzaktır zira SM dahilinde yer alan notrino da aynı şekilde bir kayıp enerji-momentum sinyalinin başka bir şey değildir. Bu bağlamda, LSP'nin varlığını işaret edecek, eğer LSP yoksa belli anomaliler gösterecek bir takım süreçlerin incelenmesinde fayda vardır. Bu proje çerçevesinde incelenen sinyal LHC'de skaler kuark çiftlerinin üretimi olmuştur. Bu süreç ile ilgili inceleme oldukça genel tutulmuş MSSM'de yuk-parite kirinimi kaynakları da hesaba katılmıştır (elektrik dipole momentlerini (DEMIRC,2005)'de analiz ederken olduğu gibi). Bilindiği üzere LSP'nin kuplajları yuk-parite simetrisini kırdığı için bu tür etkiler de LSP'nin tayininde önemli rol oynar. Skuark çiftlerinin üretimini analiz ederken süpersimetrik parametreler için belli bir seçim yapmak gerekir. Genel olarak bu seçim büyük birleşik iskalada (M_{GUT}) yapılı ve deneysel verilerin alındığı düşük enerjilere (Λ_{SM} civarına) indirgenir. Bu çalışmada yapılan seçim LM1 noktasına yani şu parametre değerlerine karşılık gelir:

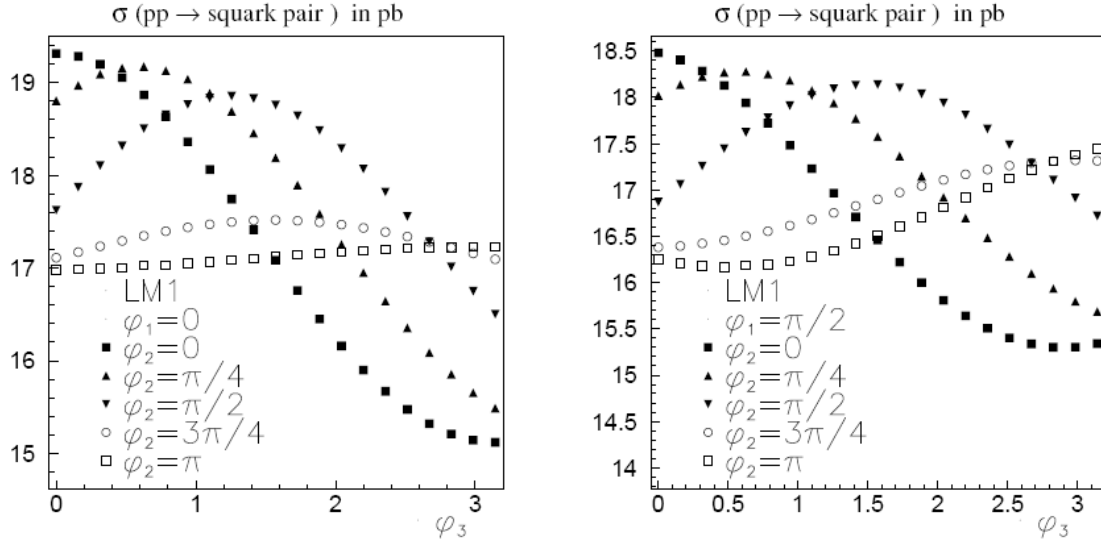
$$m_0 = 60 \text{ GeV}, M_{1/2} = 250 \text{ GeV}, A_0 = 0, \tan \beta = 10$$

öyle ki ilk parametre bütün skaler parçaçıkların ortak kütesine, ikincisi bütün gaugino (hiperyük, izospin ve renk ayar bozonlarının süpersimetrik kardeşleri olan fermiyonlar) kütlelerinin ortak değerine, üçüncüsü ise süpersimetrik Yukawa küplajının değerine ve sonuncusu ise kuramın gerektirdiği iki adet Higgs dubletinin boşluk beklenti değerlerinin oranına karşılık gelirler. LM1 noktası mevcut bütün deneysel verilerle uyuşan, LHC için yapılan hesaplamaları kalibre eden özel bir noktadır. Bu nokta değeri için MSSM bütün deneysel verilerle uyuşur ve KM yoğunluğunu da doğru bir şekilde tahmin eder.

Gaugino kütlelerini GUT iskalaşında şu şekilde tanımlarsak

$$M_g^0 e^{i\varphi_g^0} = M_{1/2} e^{i\varphi_3}, M_{\tilde{W}}^0 e^{i\varphi_{\tilde{W}}^0} = M_{1/2} e^{i\varphi_2}, M_{\tilde{B}}^0 e^{i\varphi_{\tilde{B}}^0} = M_{1/2} e^{i\varphi_1}$$

LHC enerjilerinde sistemin fazlara olan bağımlılığını (yani LSP'nin varlığına olan bağımlılığını) belirlemek mümkündür. Bu bağımlılık deneysel olarak direk ölçülecek olan niceliklerden biridir. Skuark çifti üretim tesir keşitlerinin bu fazlara olan bağımlılığı LM1 noktası için Sekil 4'de verilmiştir. Soldaki pencerede hiperyük gauginonun fazı 0 sağdakinde ise $\pi/2$ 'dir. Her bir eğri izospin gaugino'nun belli bir faz değerine karşılık gelmektedir. Öte yandan yatay ekseninde renk gaugino'nun fazı sürekli değerler almaktadır. Görüldüğü üzere fazlar değiştikçe tesir keşitleri önemli ölçüde değişmektedir diğer bir deyimle eldeki süreç LHC'de ölçülebilecek bir süreçtir. Bu çalışmanın iki ana sonucu vardır: a) LSP'nin ait olduğu gaugino/Higgsino sektörünü direk olarak gözlemlemek ve b) Evrende mevcut madde—karşıt-madde asimetrisine (evrende baryonlar bulunmakta ancak karşıt-baryonlar ancak laboratuvar koşullarında üretilebilmektedirler) süpersimetrik bir açıklama getirmek. İkincisinin gerektirdiği en önemli özelliklerden biri Şekil 5'de incelenen fazların varlığıdır (ALAN, 2007).



Şekil 5: Skuark çiftlerinin üretim tesir keşitlerinin gauginoların GUT iskalaşındaki fazları ile değişimleri. Bütün veriler LM1 noktasında alınmış olup, tesir keşitlerinin fazlara olan bağımlılığı açıkça görülmektedir.

Bu bölümdeki bulgular şöyle özetlenebilir:

- 1) Süpersimetrik modeller günümüzdeki parçacık fiziği komunitasinin önemli bir kısmının üzerinde anlaşmaya vardığı, doğayı tarif eden bir yapı olması konusunda yüksek şans tanınan modellerdirler. Bu modeller çerçevesinde düşük enerjilerde yapılacak ölçümleri GUT iskalaşındakilere ilişkilendirmek esastır ve bu konuda yeni yöntemler geliştirilmelidir (ÇALIŞMA 1’de olduğu gibi).
- 2) Süpersimetrik modeller parametre uzayı ve parçacık hazinesi itibarı ile birbirlerinden önemli farklılıklar içerirler ve bundan dolayı KM gibi temel yapıların bütün modellerde deneysel sınırlamalar ışığında analizi gerekir. Örnek olarak Z' bozon içeren modeller hem MSSM’de karşılaşılan bir takım problemleri çözebilmekte hem de KM için alternatif yapılar verebilmektedirler (Higgsino veya gaugino LSP).
- 3) Sol-sağ simetrik modeller deneysel verilerle uyum gösteren, parametre uzayında ciddi oranda ince ayar gerektirmeyen KM adayını haizdirler.
- 4) LSP (veya genel olarak nötr gaugino ve Higgsinolar) için en uygun gözlem yollarından biri LSP’ye önemli bağımlılık gösteren belli süreçlerin incelenmesidir. Bu bağlamda skuark çifti üretimi en ilginç süreçlerden biridir ve hem LSP’nin varlığını hem de madde—karşıt-madde bakışimsızlığının kaynaklarını yoklayabilecek potansiyele sahiptir.

SONUÇ

Evrendeki toplam madde miktarının yaklaşık $\frac{1}{4}$ ünü oluşturan KM elektriksel olarak nötr yapısı, oldukça uzun ömrü ve Λ_{SM} civarındaki kütlesi ve de SM’de bulunmayan bir parçacık oluşuyla bir çok SM-ötesi fizik modellerinin kaynağını teşkil eder. Basitçe ifade etmek gerekirse KM adayı bulunmayan bir modelin gerçekçi olması sözkonusu değildir.

Bu projede iki ana SM-ötesi model (ek uzayzaman boyutları ve süpersimetrik modeller) çerçevesinde KM adayı olabilecek parçacıklar üzerine araştırmalar yapılmıştır. Bu projedeki bir takım çalışmalar belli modellerin oluşturulması veya irdelenmesine dayanırken kalan kısmı direk olarak KM adaylarının veya KM adayını haiz belli modellerin LHC’de gözlemlerine ilişkin analizleri içermektedir. Yukarıda verilen sonuçlar gereğince LHC deneyi bir çok modeli yoklayabilecek enerji ve lüminositeye sahip olduğu için değişik modellerin KM adayları açısından irdelenmesi önemlidir. Bulgular LHC’de doğru modelin keşfedileceğine dair ciddi ümitler vaatmektedir.

Bu projede sunulan çalışmaların dedektör analizi ile desteklenmesi LHC’de görülecek sinyaller için gerçekçi sonuçların alınmasını sağlayacaktır. Dedektörlerin test çalışmaları henüz tamamlandığından ve dedektörlere ilişkin gerçekçi parametreler yeni oluşmaya başladığından bu aşamaya geçilmemiştir.

KAYNAKÇA

ALAN, A., Cankocak, K., Demir, D., Squark pair production in the MSSM with explicit CP violation, *Physical Review D*, 75, 095002, (2007).

ARKANI-HAMED, N., Dimopoulos, S., Dvali, G., The hierarchy problem and new dimensions at a millimeter, *Physics Letters B*, 429, 263-272, (1998).

ASLAN, O., Demir, D., Generalized modified gravity in large extra dimensions, *Physics Letters B*, 635, 343-349, (2006).

BALTZ, A., Battaglia, M., Peskin, M., Wizansky, T., Determination of dark matter properties at high-energy colliders, *Physical Review D*, 74, 103521, (2006).

BARATE, R. *et al.*, Search for standard model Higgs boson at LEP, *Physics Letters B*, 565, 61-75, (2003).

BURGESS, C., Pospelov, M., ter Veldhuis, T., The minimal model of nonbaryonic dark matter: A singlet scalar, *Nuclear Physics B*, 619, 709-728, (2001).

CATENA, R., Fornengo, N., Masiero, A., Pietroni, M., Rosati, F., Dark matter relic abundance and scalar-tensor dark energy, *Physical Review D*, 70, 063519, (2004).

DEMIR, D., Weak scale hidden sector and electroweak Q-balls, *Physics Letters B*, 450, 215-219, (1999).

DEMIR, D., Stable Q Balls from extra dimensions, *Physics Letters B*, 495, 357-362, (2000).

DEMIRa, D., Renormalization group invariants in the MSSM and its extensions, *Journal of High Energy Physics*, 11, 003, (2005).

DEMIRb, D., Kane, G., Wang, T., Minimal $U(1)'$ extension of the MSSM, *Physical Review D*, 72, 015012, (2005).

DEMIRc, D., Farzan Y., Can measurements of electric dipole moments determine seesaw parameters?, *Journal of High Energy Physics*, 10, 068, (2005).

DEMIRa, D., Tanyildizi, S., Higher curvature quantum gravity and large extra dimensions, *Physics Letters B*, 633, 368-374, (2006).

DEMIRb, D., Pulice, B., Non-gravitating scalars and spacetime compactification, *Physics Letters B*, 638, 1-7, (2006).

DEMIRc, D., Solmaz, L., Solmaz, S. LEP indications for two light Higgs bosons and $U(1)'$ model, *Physical Review D*, 73, 016001, (2006).

DEMIRd, D., Farzan Y., Correlating μ parameter and right-handed neutrino masses in $N=1$ supergravity, *Journal of High Energy Physics*, 03, 010, (2006).

DEMIRE, D., Frank, M., Turan, I., Neutralino dark matter in left-right symmetric models, *Physical Review D*, 73, 115001, 2006.

ELLIS, J., Olive, K., Santoso, Y., Spanos, V., Supersymmetrik dark matter in light of WMAP, *Physics Letters B*, 565, 176-182, (2003).

HAYRETER, A., Dilepton signatures of family non-universal $U(1)'$, *Physics Letters B*, 649, 191-196 (2007).

LEE, T., Wick, G., Negative metric and the unitarity of S matrix, *Nuclear Physics B*, 9, 209-243, (1969).

NILLES, H., Supersymmetry, Supergravity and Particle Physics, *Physics Reports*, 110, 1-324, (1984).

OLIVE, K., Searching for dark matter in unification models, *AIP Conf. Proc.* 878, 34-45, (2006).

RIESS, A. *et al.*, Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant, *Astronomical Journal*, 116, 1007, (1998).

RUBIN, V., Ford W., Rotation of the Andromeda Nebula from a spectroscopic survey of emission regions, *Astrophysical Journal*, 159, 379-383, (1970).

SABANCI, A., Diphoton signatures of higher curvature gravity, *Modern Physics Letters A*, (basimda), (2007).

SERVANT, G., Tait, T., Is the lightest Kaluza-Klein particle a viable dark matter candidate?, *Nuclear Physics B*, 650, 391-419, (2003).

STELLE, K., Renormalization of higher derivative quantum gravity, *Physical Review D*, 16, 953-969, (1977).

SUSSKIND, L., Dynamics of Spontaneous Symmetry Breaking in Weinberg-Salam Theory, *Physical Review D*, 20, 2619-2625, (1979).

WEINBERG, S., A model of leptons, *Physical Review Letters*, 19, 1264-1266, (1967).

WOOD-VASEY, W. *et al.*, Observational constraints on the nature of the dark energy: First cosmological results from the ESSENCE supernova survey, *arXiv:astro-ph/0701041* (2007).

TÜBİTAK PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 104T503
Proje Başlığı: Büyük Hadron Çarpıştırıcısında Kara Madde Parçacığının Aranması
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Prof. Dr. Durmuş Ali Demir, Dr. Kerem Cankoçak
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: İZMİR YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ FEN FAKÜLTESİ, FİZİK BÖLÜMÜ 35430, URLA, İZMİR
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: TUBITAK
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: Temmuz 2005 Temmuz 2007
<p>ÖZET: Çeşitli astrofizik ve kozmolojik gözlemler evreni oluşturan toplam madde miktarının yaklaşık $\frac{1}{4}$ ünün kara madde tabir edilen ışık saçmayan, ağır ve uzun ömürlü parçacıklardan oluştuğunu göstermektedir. Ancak parçacık fiziğinin deneylerle mükemmel uyum gösteren standart modeli böyle bir yapıyı öngörmemekte, böyle bir yapıya yol açabilecek herhangi bir parçacığa da sahip bulunmamaktadır. Bu bağlamda, bu tür bir yapıyı oluşturabilmek için ve diğer bir takım kavramsal sebeplerden dolayı, standart modelin genişletilmesi gerekmektedir. Yaygın olarak bilinen iki genişletme, ek uzayzaman boyutları ve süpersimetrik modeller, bu proje çalışmasının ana konularıdır. Her iki alanda da çeşitli çalışmalar yapılmış, kara madde adayının özellikleri belirlenmiş, yeni modeller oluşturulmuş ve kara madde parçacığının yaklaşmakta olan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı deneylerinde gözlemlenme koşulları analiz edilmiştir.</p>
<p>Anahtar Kelimeler: Kara Madde, Ek Uzayzaman Boyutları, Yüksek Eğriliklı Çekim, Madde—karşıt-madde asimetrisi, Süpersimetri, süpersimetrik kardeşler, LSP.</p>

Projeden Yapılan Yayınlar:

- 1) ALAN, A., Cankocak, K., Demir, D., Squark pair production in the MSSM with explicit CP violation, *Physical Review D*, 75, 095002, (2007).
- 2) ASLAN, O., Demir, D., Generalized modified gravity in large extra dimensions, *Physics Letters B*, 635, 343-349, (2006).
- 3) DEMIR, D., Tanyildizi, S., Higher curvature quantum gravity and large extra dimensions, *Physics Letters B*, 633, 368-374, (2006).
- 4) DEMIR, D., Pulice, B., Non-gravitating scalars and spacetime compactification, *Physics Letters B*, 638, 1-7, (2006).
- 5) DEMIR, D., Solmaz, L., Solmaz, S. LEP indications for two light Higgs bosons and U(1)' model, *Physical Review D*, 73, 016001, (2006).
- 6) DEMIR, D., Farzan Y., Correlating mu parameter and right-handed neutrino masses in N=1 supergravity, *Journal of High Energy Physics*, 03, 010, (2006).
- 7) DEMIR, D., Frank, M., Turan, I., Neutralino dark matter in left-right symmetric models, *Physical Review D*, 73, 115001, 2006.
- 8) DEMIR, D., Renormalization group invariants in the MSSM and its extensions, *Journal of High Energy Physics*, 11, 003, (2005).
- 9) DEMIR, D., Kane, G., Wang, T., Minimal U(1)' extension of the MSSM, *Physical Review D*, 72, 015012, (2005).
- 10) DEMIR, D., Farzan Y., Can measurements of electric dipole moments determine seesaw parameters?, *Journal of High Energy Physics*, 10, 068, (2005).

BÜTÇE RAPOR						
Kuruluş Adı		: 104T503 Büyük Hadron Çarpıştırıcısında Kara Madde Parçacığının Aranması				
Cari Yıl		: 2006				
HESAP KODU	GELİR HESAP ADI	TUTAR	HESAP KODU	GİDER HESAP ADI	TUTAR	KALAN
800.03.2.9.90	Diğer Tüketim Mal ve Malzemesi Alımları	500,00	830.03.2.9.90	Diğer Tüketim Mal ve Malzemesi Alımları	0,00	500,00
800.06.1.2.90	Diğer Makine Teçhizat Alımları	7.000,00	830.06.1.2.90	Diğer Makine Teçhizat Alımları	6.532,00	468,00
800.07.1.5.90	Diğer	2.100,00	830.07.1.5.90	Diğer	2.000,00	100,00
	TOPLAM	9.600,00		TOPLAM	8.532,00	1.068,00

YARDIMCI DEFTER						
Kuruluş Adı		: Büyük Hadron Çarpıştırıcısında Kara Madde Parçacığının Aranması				
Cari Yıl		: 2005				
Başlangıç Hesap Kodu		: 0	Başlangıç Tarihi		: 01.01.2005	
Bitiş Hesap Kodu		: 0	Bitiş Tarihi		: 20.08.2007	
102. BANKALAR				9.600,00	8.532,00	
FIŞ NO	YEVMIYE NO	FIŞ AÇIKLAMA	DURUM	BORÇ	ALACAK	
2		1.donem Fişli	Onaylı	7.500,00	0,00	
5		2006-1.donem Fişli	Onaylı	2.100,00	0,00	
6		.	Onaylı	0,00	5.500,00	
7		.BANKA DÖNÜŞÜ	Onaylı	0,00	1.032,00	
8		AVANS AÇMA	Onaysız	0,00	2.000,00	
103. VERİLEN ÇEKLER VE ÖDEME EMİRLERİ (-)				6.532,00	6.532,00	
FIŞ NO	YEVMIYE NO	FIŞ AÇIKLAMA	DURUM	BORÇ	ALACAK	
3		.	Onaylı	0,00	5.500,00	
4		Proje yürütücüsünün yaptığı fazla ödemenin kendisine ödenmesi	Onaylı	0,00	1.032,00	
6		.	Onaylı	5.500,00	0,00	
7		.BANKA DÖNÜŞÜ	Onaylı	1.032,00	0,00	
160. İŞ AVANS ve KREDİLERİ HESABI				7.500,00	7.500,00	
FIŞ NO	YEVMIYE NO	FIŞ AÇIKLAMA	DURUM	BORÇ	ALACAK	
3		avans verilmesi	Onaylı	5.500,00	0,00	
4		AVANS KAPATMA	Onaylı	0,00	5.500,00	
8		DURMUŞALI DEMİR	Onaysız	2.000,00	0,00	
11		AVANS KAPAMA	Onaysız	0,00	2.000,00	
800. BÜTÇE GELİR HESAPLARI				0,00	9.600,00	
800.03. MAL VE HİZMET ALIM GİDERLERİ				0,00	500,00	
800.03.2. TÜKETİME YÖNELİK MAL VE MALZEME ALIMLARI				0,00	500,00	
800.03.2.9. Diğer Tüketim Mal ve Malzemesi Alımları				0,00	500,00	
800.03.2.9.90. Diğer Tüketim Mal ve Malzemesi Alımları				0,00	500,00	
FIŞ NO	YEVMIYE NO	FIŞ AÇIKLAMA	DURUM	BORÇ	ALACAK	
2		1.donem Fişli	Onaylı	0,00	500,00	
800.06. SERMAYE GİDERLERİ				0,00	7.000,00	
800.06.1. MAMUL MAL ALIMLARI				0,00	7.000,00	
800.06.1.2. Büro ve İşyeri Makine Teçhizat Alımları				0,00	7.000,00	

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 104T503
Proje Başlığı: Büyük Hadron Çarpıştırıcısında Kara Madde Parçacığının Aranması
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Prof. Dr. Durmuş Ali Demir, Dr. Kerem Cankoçak
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: İZMİR YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ FEN FAKÜLTESİ, FİZİK BÖLÜMÜ 35430, URLA, İZMİR
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: TUBİTAK
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: Temmuz 2005 Temmuz 2007
ÖZET: Çeşitli astrofizik ve kozmolojik gözlemler evreni oluşturan toplam madde miktarının yaklaşık $\frac{1}{4}$ ünün kara madde tabir edilen ışık saçmayan, ağır ve uzun ömürlü parçacıklardan oluştuğunu göstermektedir. Ancak parçacık fiziğinin deneylerle mükemmel uyum gösteren standart modeli böyle bir yapıyı öngörmemekte, böyle bir yapıya yol açabilecek herhangi bir parçacığa da sahip bulunmamaktadır. Bu bağlamda, bu tür bir yapıyı oluşturabilmek için ve diğer bir takım kavramsal sebeplerden dolayı, standart modelin genişletilmesi gerekmektedir. Yaygın olarak bilinen iki genişletme, ek uzayzaman boyutları ve süpersimetrik modeller, bu proje çalışmasının ana konularıdır. Her iki alanda da çeşitli çalışmalar yapılmış, kara madde adayının özellikleri belirlenmiş, yeni modeller oluşturulmuş ve kara madde parçacığının yaklaşımakta olan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı deneylerinde gözlemlenme koşulları analiz edilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Kara Madde, Ek Uzayzaman Boyutları, Yüksek Eğriliklı Çekim, Madde—karşıt-madde asimetrisi, Süpersimetri, süpersimetrik kardeşler, LSP.

Projeden Yapılan Yayınlar:

- 1) ALAN, A., Cankocak, K., Demir, D., Squark pair production in the MSSM with explicit CP violation, *Physical Review D*, 75, 095002, (2007).
- 2) ASLAN, O., Demir, D., Generalized modified gravity in large extra dimensions, *Physics Letters B*, 635, 343-349, (2006).
- 3) DEMIR, D., Tanyildizi, S., Higher curvature quantum gravity and large extra dimensions, *Physics Letters B*, 633, 368-374, (2006).
- 4) DEMIR, D., Pulice, B., Non-gravitating scalars and spacetime compactification, *Physics Letters B*, 638, 1-7, (2006).
- 5) DEMIR, D., Solmaz, L., Solmaz, S. LEP indications for two light Higgs bosons and U(1)' model, *Physical Review D*, 73, 016001, (2006).
- 6) DEMIR, D., Farzan Y., Correlating μ parameter and right-handed neutrino masses in N=1 supergravity, *Journal of High Energy Physics*, 03, 010, (2006).
- 7) DEMIR, D., Frank, M., Turan, I., Neutralino dark matter in left-right symmetric models, *Physical Review D*, 73, 115001, 2006.
- 8) DEMIR, D., Renormalization group invariants in the MSSM and its extensions, *Journal of High Energy Physics*, 11, 003, (2005).
- 9) DEMIR, D., Kane, G., Wang, T., Minimal U(1)' extension of the MSSM, *Physical Review D*, 72, 015012, (2005).
- 10) DEMIR, D., Farzan Y., Can measurements of electric dipole moments determine seesaw parameters?, *Journal of High Energy Physics*, 10, 068, (2005).