

# 21. yy Fiziği Sicim Teorisi; ve Maddenin Gizemi

**Ali ÖVGÜN**

*İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü*

[aliovgun@std.iyte.edu.tr](mailto:aliovgun@std.iyte.edu.tr)

05556718989

Sözlü Sunum

## **Özet:**

Kendimiz dahil bizi saran, içinde yaşadığımız bütün materyal varlık maddedir. Her sabah doğan güneş, gece karanlığında gökyüzünde parlayan yıldızlar, ay ve ODTU'nün binaları, hatta bizler, çevremizde gördüğümüz ne varsa hepsi, evrenin bir parçasıdır ve madde formunda bulunurlar. Dolayısıyla evreni anlamak, maddenin ne olduğunu anlamaktan geçer. Maddeyi anlamak için onu parçalamak gerekir. Onu nereye kadar parçalayabilirsiniz hiç düşündünüz mü? Demokritos gibi atomlara kadar mı? Yok bundan daha iyisini de yapabilirsiniz, çekirdeği oluşturan protona ve nötrona hatta kuarklara kadar inebilirsiniz? Ya sonra? İşte Kuark, Elektron, Foton gibi temel parçacıklar kütlelerini ve diğer özelliklerini nasıl kazanmışlardır? Onları birbirlerinden farklı kılan nedir? Kütle denen mefhum nasıl oluşmuştur?

Bu soruları UFOK3' te 'kütlenin gizemi' sunumunda Higgs mekanizmasını kullanarak açıklamaya çalışmıştım. Şimdi ise evreni bir müzik aletinin tellerinin iki ucundan gerilmiş bir model ile temsil eden Hereklitos'un fikirlerine benzer sicim teorisi ile yani doğanın temel bileşenlerinin sıfır boyutlu noktasal parçacıklar yerine sicim denilen tek boyutlu küçük titreşen iplerden oluştuğu varsayımını kullanarak cevap vermeye çalışacağım.

## Tam Metin:

Sicim teorisine ihtiyacımız aslında elimizdeki teorilerde eksikler olmasına ve elimizdeki teorilerin bazı fenomenleri açıklayamamasına bağlıdır. 20. yy fiziğini oluşturan iki büyük teori vardır , birincisi Kuantum Alan teorisi yani standard model dediğimiz kuark , foton,elektron gibi küçük parçacıkların özelliklerini aralarındaki etkileşimi belirleyen teori diğeri ise gezegenler , yıldızlar gibi devasa yapıların uzay-zamanı nasıl etkilediğini gösteren Genel Görelilik teorisidir.Bu iki teoride birbirlerinde bağımsız olarak farklı ölçeklerdeki yapıları incelerler.İki teoriyi birleştirip büyük patlamanın ilk evresinde hangi fizik yasaları hüküm sürüyordu sorusuna cevap aramak fizikçileri herşeyin teorisini bulmaya itti.Einstein hayatının son evresinde bu teoriyi bulabilmek hayalindeydi, fakat değil Einstein , o öldükten sonra 60 yıl sonra bile bu teori bulunamamıştı. Standart Modelin en büyük eksikliği, kütle çekim kuvvetinin içermemesidir.Kütle-çekim kuvvetinin kaynağı olan çekim alanlarının taşıyıcısı gravitonun varlığı , henüz deneysel olarak kanıtlanmamıştır.Kuantum ölçeklerde gravitasyonel etkiyi hesaplamak yani uzay-zamanın nasıl etkilendiğini, nasıl büküldüğünü hesaplamak çok zordur.Bu kuantumsal boyutlarda uzay-zaman geometrisi hiçbir hesaplama yapılamayacak kuantum köpüğüne benzer bir hal alır.Uzay zamanın kuantum köpüğüne dönüştüğü boyut ; kuantum mekaniğine sınır çizen h planck sabiti, G universal kütle-çekim sabiti ve c ışık hızından türetilen Planck uzunluğudur( $10^{-35}$ ).Bu ölçeklerde Kuantum-graviti teorileri,kütle çekim ve kuantum mekaniği arasındaki bağı sağlamaya çalışmaktadır fakat henüz daha başarılı olamamıştır.Standart Modelin diğeri bir sorunu ise fermiyonlara kütle kazandırdığı düşünülen higgs alanını oluşturan higgs bozonunun bulunamayışıdır, ayrıca higgs parçacığının kütleli fermiyonlarla etkileşiminin nasıl olduğuna dair bir açıklama yapamaması onun bir eksikliğidir.Kuarkların ve leptonların kütlelerinin sistematik bir açıklaması ve neden bu kütle dağılımında buldukları , neden sadece üç nesil kuarkın var olduğu açıklanamamıştır.Evrenin sırları, maddenin çok çok küçük ve çok çok büyük boyutlardaki davranışlarında gizlidir.Daha doğrusu evreni anlayabilmek , maddenin en küçük yapıtaşlarını anlamaktan geçer.Atom çekirdeğini oluşturan proton ve nötronun iç yapısını açıklayabilmek,  $10^{-15}$  metre gibi çok çok küçük yapıların fiziğini anlamaktan geçer.

Sicim teorisi, elementer partikül problemine farklı yaklaşır.Teorisi Standart Model gibi esnek değil, belli kalıplar için de kurgulanmıştır.Mikroskopik boyutlarda gözlenen olayları titreşimlere bağlayarak açıklar.Standart Model parçacıklarının ölçülen özelliklerini bir titreşim olarak yorumlar ve keman teli üzerinde oluşan titreşimlere benzetir.

Sicim teorisinin başlangıcı 1960-1970'li yıllar arasındadır.Gabriele Veneziano, bir asır önce yaşamış ünlü matematikçi Leonhard Euler, denklemlerin kuarklar arasındaki kuvvetli etkileşmeyi ifade edebileceğini düşünmüştür.Veneziano'nun bu sezisi, aradan bir süre geçtikten sonra sicim teorisinin doğmasına neden olmuştur.

Biz genelde temel Parçacıkları 0 boyutlu noktasal cisimler olarak düşünmeyi tercih ederiz.Fakat temel sicim teorisi 1 boyutlu ipler olarak düşünür.Bu teoriye göre kalınlığı yok fakat bir uzunlukları var , yaklaşık  $10^{-33}$  civarında.Bu boyut bizim ölçüm yapamayacağımız kadar çok çok küçük bir skaladadır.Sicimler açık veya kapalı olabilirler.Bunlar uzayzamanda

hareket ederlerken bir hayali yüzeyi dışarı doğru süpürürler.Bu sicimlerin kendilerine özgü titreşim modları vardır ve bu modlar onların kütle , spin ve diğer kuantum sayılarını belirler.Burdaki temel prensip herbir mod belli bir grup kuantum sayısı içerir ve bu da her temel parçacığın diğer temel parçacıktan farklı olmasını sağlar.Bütün kuvvetleri yani 4 kuvveti birleştirip , bütün bildiğimiz parçacıkları bir sicimle tarif edebilirsiniz.Bunu kemanın tellerine benzetebilirsiniz ,her titreşimin farklı bir notayı vermesi gibi.

Kapalı sicimlerin özelliği spin-2 ve kütsüz graviton (gravitasyonel çekim kuvvetini oluşturan parçacık) olmasıdır .Bu Standart Modelin çözemediği bir problemi , sicim teorisinin çözmesi anlamına gelir,tabi kanıtlanırsa.

Sicimler birbirleriyle birleşerek yada ayrılarak etkileşime girer.İki ipi birbirine bağlıyorsunuz ve koparıyorsunuz misali.Bu etkileşimler genellikle feynman diyagramları kullanılarak şemalase edilir.

Sicim teorisinin farklı çeşitleri bulunmaktadır.Şimdi sizlere biraz bunlardan bahsedeceğim.

Supersicim teorisi , sicim teorisinin süpersimetri eklenmiş halidir.

### **D-ZARLARI( BRANES)**

Sicimleri birçok sınır koşulları vardır.Örneğin, kapalı sicimlerin periodik sını koşulları vardır(çemberin olduğu gibi).Açık sicimlerin ise 2 tane farklı sınır koşulları vardır ;Neumann ve Dirichlet sınır koşulları .Neumann sınır koşullarında sicimlerin son noktaları serbest olup hareket edebilirler fakat momentumlarında bir akış yoktur. Dirichlet sınır koşullarında ise sicimlerin sınır noktaları sabittir ve sadece belirli yüzeylerde ( manifold) hareket edebilirler.Bu yüzeylere D-Zarı veya  $D_p$ -Zarı ( burdaki p zarın boyut sayısını belirler).D-zarlarının boyutu -1den bizim uzayzaman boyutuna kadar bir spektruma yayılır yani supersicim eğer ki 10 boyutlu uzayzamanda ise 9 uzaysal boyut ve 1 zaman boyutundan oluşur.O nedenle  $D_9$ -ZARı supersicim teorisinin üst limitidir. $D_0$ -ZARa D-parçacık,  $D_1$ -ZARa D-sicim de denir.

### **Süpersimetrik Sicimler**

Doğada 2 çeşit parçacık vardır ; fermiyonlar ve bozonlar.Oluşturulacak temel teorisinin bı iki çeşit parçacığı da kapsamı gerekir.Fermiyonlar ve bozonlar birbirleriyle grup halinde çiftler halinde olurlar simetrisinin gerektirdiği şekilde.Eğer biz sicim teorisine fermiyonları eklersek bozonlar da otomatik olarak eklenecektir.İşte bu nedenle sicim teorisine supersicim diyoruz.

Sicim teorisinin tutarlı kuantum alanlar teorisi sadece 10 boyutlu uzayzamanda var olabilir.Diğer türlü sicim teorisi tutarsız ve çelişkili olur.10 boyutlu uzayzamandan 4boyutlu uzayzamana geçmek problemli gözükebilir ,fakat buna geçmenin çeşitli yolları vardır.Bu yolları kullanırken 5 farklı supersicim teorisine ihtiyaç vardır.Çeşit I  $SO(32)$ , Çeşit IIA , Çeşit IIB , $SO(32)$ Heterotik ve  $E_8 \times E_8$  Heterotik.Bunların detayına fazla girmeyeceğim.

## Ektra Boyutlar

Supersicimler 10 boyutlu uzayzamanda yaşarlar fakat biz 4 boyutlu uzayzamanı gözlemleye bilen varlıklarız.Evreni tanımlaya bilmek için bu farklı 2 boyutu bir araya getirmemiz gerekiyor.Eğer 6 ektra boyutu eğriltip küçük uzay zamana büksek bunu yapabiliriz.Böylece bunları gözlemleyemeyiz,çünkü her sicim  $10^{-33}$ cm mertebesinde küçüktür.Sonuç olarak çok küçük yuvarlak toplar şeklinde olan 6 boyutlu uzay bizim 3+1 boyutlu dünyamızda birer noktayla bağlantılıdır.Bu fikir 1920lere Kaluza-Kleinin çalışmalarına dayanır.Bu mekanizmaya Kaluza-Klein teorisi denir.

Stanford Üniversitesi fizikçilerinden Nima Arkani-Hamed ve Savas Dimopoulos ile, İtalya'nın Trieste kentindeki Abdus Salam Uluslararası Kuramsal Fizik Merkezi'nden Gia Dvali,daha da radikal bir düşünce ortaya atıldılar.Bu kuramcılara göre beşinci boyutun ölçeği, bir milimetre bile olabilirdi.Bu, bırakın hızlandırıcılardaki dedektörlerin, çıplak gözün bile görebileceği bir ölçek!.. Üç kuramcıyı bu iddialı önermeye ulaştıran hedef, "hiyerarşi sorunu"nu çözmektir. Yani elektrozayıf birleşmenin düşük enerjisi (100 GeV) ile, öteki birleştirme düzeyleri arasındaki uçurumu kaldırmayı hedefliyorlardı. Araştırmacılar, zayıf kütleçekimin öteki kuvvetleri kadar güçlendiği (özdeşleştiği) Planck ölçeğinin, elektrozayıf ölçeğine (100 GeV) indirilmesiyle sorunun çözülebileceğini düşündüler. Ancak bunun için iki ya da daha fazla ek boyut gerekiyordu. Bu boyutların ölçekleri ise bir milimetrenin biraz altında olmalıydı. Böylesine büyük boyutları algılayamıyor olmamızın, aynı kuramcılar, bunların yalnızca kütleçekimince algılanmasıyla açıklıyorlardı. Arkani-Hamed ve arkadaşlarının önerdiği mekanizma şöyle işliyor: Kuantum mekaniğine göre temel parçacıklar, aynı zamanda birer dalga gibi davranabiliyor. Bu parçacıklar, uzay zamandaki ek boyutların içinden geçerken de, sicimler, birbirleri üzerine kıvrılmış küçük ek uzay boyutları içinden geçerken, bu parçacıklara karşılık gelen dalgalar, boyutların kıvrımları içinden geçerken bir takım yankılara yol açıyorlar. Kaluza-Klein ya da kısaca KK durumları denen bu yankılar da bize yeni parçacıklar gibi görünüyor. Arkani-Hamed ve arkadaşları, düşüncelerini işte bu Kaluza-Klein yankılarına bağlıyorlar. Kuramcılara göre kütleçekiminin taşıyıcı parçacığı olan gravitonun KK yankıları, normal olarak "0" kütleli bu parçacığı 100 mikrometrenin (1 mikrometre=metrenin milyonda biri) milyonlarca kat kuvvetlendiriyor ve hatta itici hale getiriyor.Stanford üniversitesinde bu önermeyi sınavacak deneyler için çalışmalar yürütülüyor.

## M-Kuramı

Bunlardan başka Sicim Çiftleri teorisinde atılmıştı fakat işlerinde en iyisi M-teorisidir.

M-Kuramı ile, bu çok dilli sözlükteki kelimelerin karşılıkları araştırıldı ve beş süpersicim kuramıyla 11 boyutlu süperçekim kuramının, daha temel bir kuramın özel durumları olduğunu gösterdi. Başka bir dualite de süpersicim kuramlarının zayıf ve şiddetli çiftlenim rejimleri arasındadır. Bu tip dualite ye S-dualitesi denir. Witten, S-dualitesi'ni kullanarak, süpersicim kuramlarındaki pertürbasyon analizinden gelen sorunların nasıl çözülebileceğini gösterdi.

Kuramdaki M harfinin anlamı, Edward Witten tarafından açıklanmamış ve "Kuramı daha iyi anladıkça "M" nin ne olduğunu anlayacağız" demiştir. Fakat birçoklarına göre "M" nin anlamı "membrane" (yani zar) demek. Çünkü M-kuramının anlamlı olduğu 11 boyuttaki temel cisim, Süpersicim kuramının aksine sicim değil, zardır.

1996 yılında Edward Witten, bazı açık sicim kuramlarında, bir boyutun, sicim ölçeğini  $10^{16}$  GeV (yalnızca elektrozayıf ve şiddetli kuvvetler için olan ) enerji düzeyine indirebileceğini söyledi. Fermilab'dan Joseph Lykken ise, sicim (Her Şetin Kuramı) enerji ölçeğinin, 1 TeV düzeyine indirilebileceğini önerdi. Evreni her ölçekte etme dürtüsü öylesine güçlü ki, henüz bırakın yeterli deney ara çarını, yeterli bir matematiği bile bulunmayan kuramlarda biraz düşünce cambazlığı kaçınılmaz oluyor. CERN'den Keith Dienes'e göre ek boyutlardan bir-ikisi, büyük birleştirme enerji düzeyini, geriye kalanlar da (1 mm'ye kadar olan ve yalnızca kütleçekiminin gördüğü boyutlar) Planck ölçeğini düşürmek için kullanılabilir!..

Özetle, bu yeni düşüncelere göre boyutların küçülmüş ölçekleri çok daha büyük olabilir. Ayrıca bu yeni öneriler, geçerli kozmolojik düşüncelerimizde radikal biçimde gözden geçirilmesi gerektiğini ortaya koyuyorlar.

Bu arada sicim kuramında şiddetli zayıf birleşme dualiteleriyle ilgili başka kuramsal ilerlemeler de kuantum Yang-Mills kuramıyla ilgili anlayışta da büyük ilerlemeler sağladı. Dualitelerin gerisindeki temel düşünce, görünürde tümüyle farklı iki kuramın (örneğin farklı boyut sayıları üzerinde geliştirilmiş), aslında aynı olmasa bile birbirleriyle yakından ilintili olabilmesi.

California Üniversitesi (Santa Barbara) kuramsal fizikçilerinden Joe Polchinski, bu dualitelerden yararlanarak, 1995 yılına kadar yalnızca zayıf etkileşimler için önerilen sicim modelini, şiddetli etkileşimler için de kullanılabilir yararlı bir araç haline getirdi. Bunun aracı da, gene kendisi tarafından 1989 yılında betimlenen D-zarları. Bunlar, değişken özellikli nesnelere. Bazı D-zarları tek boyutlu, sicim biçimli olurken, ötekiler, iki, üç ya da daha çok boyutlu olabiliyor. Polchinski, D-zarlarının genel tanımını, "bir yüzey üzerinde sona eren sicimler" olarak veriyor ve daha iyi anlaşılması için bir masa ve ona bitişen ayaklarını örnek gösteriyor. D-zarların özelliği, ikisinin yan yana geldiklerinde aralarındaki elektromanyetik itimle, kütleçekiminin birbirlerini götürmesi. Böylece bu zarlar, kuramsal olarak birbirleri üzerine eklene eklene istenen boyutta yapılar elde edilebiliyor. Yani çok-boyutlu D-zarlarını, çok boyutlu küçülmüş uzayların (Calabi-Yau şekilleri) üzerine dolayabiliyorsunuz. Ve bunları yeterli sayıda ve doğru biçimde üst üste koyarak muazzam yapılar elde edebiliyorsunuz. Bu (lego) yapılar, büyük ölçeklerde, bir kara deliğin muazzam çekim gücüne de sahip olabiliyor. Yani salt sicimlerle yapıldığı halde genel görelilikçe betimlenen kütleçekiminin özelliklerini sergileyen yapılar...

Petr Horava ve Edward Witten de, dualiteler yardımıyla 10-boyutlu Calabi-Yau modeliyle, yukarıda sözedilen 11 boyutlu uzay-zaman arasındaki ilintiyi ortaya koymayı başardılar. Yaptıkları, 11. bir yön eklemek. Bu doğrultu üzerinde ayna yüzeyler (Ronbir eşit uzaklığında diziliyor. Ronbir, RCalabi-Yau en az bin kat ve belki de çok daha büyük. Eğer 6 boyutlu küçük Calabi-Yau manifoldunu dikkate almazsak, artakalan beş boyutlu uzay-zaman iki tane düz ayna yüzey içeriyor ve Kaluza ile Klein'in düşüncelerini büyük ölçüde yansıtıyor. Aslında her ayna yüzey statik, üç boyutlu bir zar. Bunlardan birisi bizim evrenimiz, ötekiyse bazı fenomenologların "gizli sektör" diye adlandırdıkları, gene maddeden oluşan ama bizim evrenimizle yalnızca zayıf biçimde, o da genel olarak kütleçekimsel kuvvetlerle etkileşen bir evren.

Son sıralarda ortaya atılan daha da radikal bir önerme, küçülmüş boyutlar varsayımının tümüyle terk edilebileceği düşünüyü yeniden canlandıran Randall ve Sundrum'dan geliyor. İki fizikçi, evrenimizin, sonsuz büyüklükte bir uzay zaman içinde gezinen yalıtılmış bir 3-zar olarak tasarlanması gerektiğini söylüyorlar. Gerçi Randall ve Sundrum'un beş boyutlu

evreninin gene de karakteristik yarıçaplı küçük bir eğriliği var, ama bu evren dört uzay boyutunda da sonsuz. Bizim yapılı olduğumuz maddeyse, bir tele dizilmiş boncuklar gibi 3-zar üzerinde bulunuyor. Kütleçekimi, tüm boyutlarda etkili. Ancak Randall ve Sundrum'un başarılarından biri, kütleçekiminin bizim üç boyutlu evrenimizde doğru biçimde davranabildiğini göstermiş olmak. Bu iki fizikçinin çalışmalarından önce hiç kimse, böyle bir modelin, Newton'un kütleçekim için geliştirdiği ters kare yasasıyla tutarlılık göstereceğine inanmıyordu. Ancak Randall ve Sundrum artık bu konudaki kuşkuları büyük ölçüde gidermiş görünüyorlar.

Tümüyle doyurucu bir evrenbilim için daha yapılması gereken çok şey var. Ancak gerek Randall ve Sundrum, gerekse de halen bu alanda çalışmakta olan başkaları, küçük ek boyutlara dayalı zar evren senaryolarının, hem Büyük Patlama sırasındaki çekirdek sentezi, hem de yeni parçacıkların varlığı konusunda evrenbilimcilerce doğrulanacak ya da çürütülecek sınanabilir önermeler yapabildiğini açıkça göstermiş bulunuyorlar.

Sonuç olarak evreni başlangıcıyla birlikte anlayabilmek için elimizdeki 4 temel kuvveti , zayıf kuvvet, güçlü kuvvet , e-m kuvvet ve gravitasyonel kuvveti birleştirmemiz ve herşeyin teorisini oluşturmamız gerekiyor. Kuvvetleri birleştirmek ise elimizdeki Standart model ve buna bağlı süpersimetri, kuantumsal gravitasyon gibi teorilerle biraz zor gözüküyor. O yüzden sicim teorisi elimizde kalan en büyük alternatiftir ve uzun yıllar daha önemini koruyacaktır.

## Kaynaklar:

- Gerard 't Hooft** , 'INTRODUCTION TO STRING THEORY' *version 14-05-04*  
**Greene, B.**, "The Elegant Universe", W. W. Norton Company, Londra, 1999  
**Chalmers, Matthew** (2007) "Stringscape" Physics World  
**Smolin, Lee**. The Trouble With Physics: The Rise of String Theory, the Fall of .  
**Zwiebach, Barton** (2004) *A First Course in String Theory*. Cambridge University Press  
**Michael Green, John H. Schwarz and Edward Witten** (1987) *Superstring theory*. Cambridge University Press  
**J. Polchinski**, *String Theory*, Cambridge University Press, Cambridge, UK (1998)  
**Thomas Mohaupt** ( Jena U.) Introduction to string theory. Jul 2002. 78pp.  
e-Print: hep-th/0207249
- Reiner Hedrich** .( Universität Dortmund) String Theory From Physics to Metaphysics  
**Peter Woit** ,Columbia University, String Theory: An Evaluation (2001)  
**Angel M. Uranga** ,Introduction to String Theory  
**Edward Witten**, String Theory (2001))

