

Kaluza-Klein Fikri ve M-Kuramı

Prof. Nihat Sadık Değer
Boğaziçi Üniversitesi
Matematik Bölümü

Bu yazı *Bilim ve Ütopya* dergisinin Aralık 2018 sayısında yayınlanmıştır.

Einstein Genel Görecelilik kuramını 1916'da bulduktan sonra elektromanyetik kuvvetle yerçekimini birleştirecek bir kuram arayışına girdi. 1919 yılında Theodor Kaluza'dan aldığı mektup kendisini oldukça şaşırtmış olsa gerek çünkü Kaluza mektubunda ek bir uzaysal boyut varsayılarak bunun yapılabileceğini iddia etmektedir. Daha detaylandırırsak, bu mektupta eğer 5-boyutlu Genel Görecelilik kuramından başlanır ve bütün fiziksel alanlar bu ek boyuttan bağımsız varsayılırsa 4-boyutlu Genel Görecelilik kuramının yanısıra Maxwell'in elektromanyetizma kuramının alan denklemlerinin de elde edilebileceği gösterilmiştir. Einstein bu fikirden çok etkilenmiş ve makale olarak basılmasına yardımcı olmuştur. Ancak fiziksel alanların neden 5. boyuttan bağımsız olduğu belli değildir. Üstelik bu ek boyutu gündelik hayatta neden göremediğimiz de açıklanmamıştır. Oskar Klein 1926 yılında bu son sorunun 5. boyutun bir çember şeklinde olmasıyla açıklanabileceğini gösterdi ve böylece Kaluza-Klein kuramı doğmuş oldu. Eğer bir bahçe hortumuna çok yüksekten bakarsak hortumun kalınlığını farkedemez ve hortumu sanki bir çizgiymiş gibi algılarız. Benzer şekilde, eğer 5. boyut yarıçapı çok küçük bir çemberse bu ek boyutu göremeyiz. Klein aynı zamanda elektrik yükünün niye elektronun yükünün tamsayı katları şeklinde olduğunu da bu yolla açıklamayı başardı. Bu fikir ilk başta Einstein ve diğer fizikçilerin çok hoşuna gittiyse de zamanla bazı sorunları olduğu anlaşıldı. Örneğin, Kaluza'nın ilk hesaplaması daha genel bir şekilde yapılırsa 4-boyutta Genel Görecelilik ve Elektromanyetizma Kuramları dışında bir de kütleli skalar alanın ortaya çıktığı, hatta bununla da kalmayıp 4-boyuta indirgenen kuramın sonsuz sayıda kütleli parçacık içermesi gerektiği görüldü. Bu kütleli parçacıkları tespit etmek için gereken enerji 5. boyutun (yani çemberin) yarıçapıyla ters orantılıdır ve dolayısıyla çok büyüktür ve sonuç olarak 4-boyutta ancak kütleli olanları gözlemlenebilir. Bu açıklamaya rağmen Einstein dahil birçok araştırmacı ek boyut fikrinden zamanla vazgeçti ve Kaluza-Klein Kuramı popülerliğini kaybetti. Bu fikrin yeniden hatırlanması ancak Sicim kuramının tutarlı olması için uzay-zamanın 10 boyuta (1 zaman, 9 uzay) sahip olması gerektiğinin ortaya çıkmasıyla gerçekleşecekti.

Doğada gördüğümüz parçacıkları bozonlar ve fermiyonlar olarak iki gruba ayırabiliriz. Bozonlar kuvvet taşıyıcıları (örneğin foton), fermiyonlarsa maddenin yapıtaşlarıdır (örneğin proton). Süpersimetri, fermiyonları bozonlarla, bozonlarıysa fermiyonlarla değiştiren matematiksel bir dönüşümdür. Bu değiş-tokuş altında aynı kalan fizik kuramlarına **süpersimetrik** denir. Bu simetriye sahip kütleçekim kuramlarınaysa **süperkütleçekim** (veya süpergravitasyon) diyoruz. İlk keşfedildiklerinde evrendeki bilinen bütün etkileşimleri açıklayacağı umulan süperkütleçekim kuramlarının zamanla kuantum fiziğiyle tam uyuşmadıkları anlaşıldı. Ancak bu modeller süpersicim kuramının düşük enerjideki limitini tarif etmeleri nedeniyle hala çok önemli bir araştırma alanıdır. Bu kuramları değişik boyutlarda kurmak mümkündür ama bazı fiziksel varsayımlar altında en fazla 11-boyuta (1 zaman + 10 uzay) kadar çıkılabilir. Süperkütleçekim kuramları arasında 11-boyutlusu çok özel bir konumdadır, çünkü burada diğer boyutların aksine tek bir çeşit süperkütleçekim kuramı vardır. Bu özelliğinden dolayı çok sayıda araştırmacının ilgisini çekmiştir. Öte yandan süpersimetrik Sicim (süpersicim) kuramıysa 10-boyutta (9 uzay ve 1 zaman) tutarlıdır. Bu yüzden 11-boyutlu süperkütleçekim kuramı süpersicim camiasınca ihmal edilir oldu, ta ki sicim kuramındaki 2. devrime kadar.

Sicim kuramının 1970'lerden günümüze kadarki gelişimine bakıldığında 2 büyük sıçramadan bahsedilebilir. Birinci devrim 1984 yılında Michael Green ve John Schwarz'ın 10-boyutlu süpersicim kuramının kuantum fiziğiyle uyumlu olduğunu göstermesiyle gerçekleşti [1]. Bu önemli makaleyle ilgili vurgulanması gereken bir nokta da ilk defa bir fizik kuramında evrenin boyutunun ne olması gerektiğinin tespit edilmiş olmasıdır. Daha önceki bütün fizik modellerinde uzay-zamanın boyutu ya gözlemlere uygun olmak için 4 seçilmiş ya da Kaluza-Klein'in yaptığı gibi keyfi olarak 5 olduğu varsayılmıştır.

Green-Schwarz'ın bu çalışmasından kısa bir süre sonra 10-boyutta aslında 1 değil 5 tane tutarlı süpersicim kuramı olduğu anlaşıldı. Bunlar sahip oldukları ayar simetrisi, süpersimetri miktarları veya sicimin cinsi (modeldeki sicimin iki ucu açık veya uçları birleşmiş olabilir) açısından birbirlerinden ayrılırlar. Evrende bildiğimiz 4 temel etkileşimi birleştirecek tek bir kuramın olması beklenirken 5 seçeneğin olduğunun anlaşılması bazı araştırmacılarda şaşkınlık yaratsa da çoğunluk bu meseleyle çok ilgilenmeyip bunlardan sadece birinin evrenimizi tarif ettiği diğerlerininse ilginç ama fizikte işe yaramayan matematiksel modeller olduğu görüşünü benimsedi. Aynı yıllarda görece daha küçük bir grup araştırmacıysa 11-boyutlu süperkütleçekim modelinin tek olmasının çok özel olduğunu düşünerek bu kuram üzerinde çalışmaya devam ettiler ve 1987 yılında Eric Bergshoeff, Ergin Sezgin ve Paul Townsend 11-boyuttaki temel objenin sicim değil zar (membrane) olduğunu buldular [2]. Süperkütleçekim alan denklemlerinin en önemli çözüm sınıflarından biri **p-zarlarıdır** ve buradaki "p" objenin yüzeyinin uzaysal boyut sayısını ifade etmektedir. Buna göre sicim 1-zar ve membrane 2-zar olarak adlandırılır. 11-boyuttaki 2-zarı bir kağıt gibi düşünür ve bu kağıdı bir yarıçapı çok küçük bir silindirin etrafına dolarsak 10-boyutta bir sicim elde ederiz. Sonradan bu tasvirin doğru olduğu, yani 11-boyutlu süperkütleçekimi 10-boyuta bir çember üzerinde indirgenğinde tip IIA süpersicim kuramının ortaya çıktığı gösterildi [3]. Böylece 11-boyutlu süperkütleçekim modelinin süpersicim kuramlarıyla ilişkilendirilebileceği anlaşılmış oldu. 1992 yılındaysa Rahmi Güven 11-boyutlu süperkütleçekiminin 2-zarlara ek olarak 5-zarları da içerdiğini buldu [4].

Öte yandan, bunlara paralel olarak 5 farklı süpersicim kuramının bazılarının birbirlerine dualite dönüşümleriyle (T- ve S- dualiteleri) bağlanabileceği farkedildi. Nihayet 1995 yılında Edward Witten yukarıda bahsettiğimiz gelişmelere ve Michael Duff, Chris Hull, Ashok Sen gibi bilim adamlarının çalışmalarına dayanarak 10-boyuttaki sicim kuramlarının hepsini birbirine bağlamak için 11-boyuta çıkmak gerektiğini söyleyince sicim kuramındaki 2. devrim başlamış oldu [5]. Witten 11-boyuttaki bu modele **M-Kuramı** adını verdi. Buradaki "M" harfi İngilizcedeki "mystery", "magic" veya "membrane" kelimelerine karşılık gelmektedir. M-kuramının ne olduğu hala tam olarak bilinmemektedir ama düşük enerjilerde bu kuram 11-boyutlu süperkütleçekim kuramıyla tarif edilir. Bu kuramın değişik indirgemeleriyle 10-boyuttaki sicim kuramlarını vermektedir. Bir başka deyişle 11-boyutlu süperkütleçekim kuramı ve 10-boyuttaki 5 süpersicim kuramı M-kuramının farklı limitlerine karşılık gelmektedir. Espirili bir bakışla M-kuramını bir file benzetirsek bahsettiğimiz diğer kuramlar filin vücudunun değişik bölgelerini (hortumu, dişi, kuyruğu vs.) tarif etmektedir. Dolayısıyla bu kuramların herbiri büyük bir resmin belli köşelerini tutarlı bir şekilde anlatmaktadır ama resmin tamamını anlamamız için M-kuramına ihtiyacımız var. Bu birleşme fikrine ulaşılmasında Joseph Polchinski'nin **D-zarlarını** keşfetmesi de bir başka büyük adımdır [6]. D-zarları süperkütleçekim kuramlarının p-zarı çözümlerinin sicim kuramındaki karşılığıdır ve açık bir sicimin iki ucunun bağlı olduğu yüzeyler olarak tarif edilirler. Yukarıda anlattığımız bakış açısına göre Sicim/M-kuramını sadece sicimlerin değil D-zarlarının kuramı olarak düşünmek daha doğrudur. D-zarları sonraki yıllarda karadelik entropisinin hesaplanması ve AdS/CFT dualitesinin keşfedilmesinde çok önemli rol oynadı.

Görüldüğü gibi süpersicim/M-kuramı yaşadığımız dünyaya 6/7 ek boyut olması gerektiğini söylemektedir ve bu özelliğiyle Kaluza-Klein fikrinin modern bir hali olarak düşünülebilir. Bu ek boyutları gözümüzde canlandırmamız mümkün değil çünkü beynimiz sadece 3 uzay ve 1 zaman boyutunu algılayabiliyor. Ama matematiksel olarak bu ek boyutları tarif etmek ve bunlarla hesaplamalar yapmak mümkündür. Yukarıda anlattığımız gibi, Kaluza ve Klein sadece 1 ek boyut düşünmüştü ve onu hissetmememizi yarıçapı çok küçük bir çember olmasıyla açıklamışlardı. Eğer ek boyut sayısı ikiyse, bu durumda bunların şekli için seçeneklerimiz artar. Bu 2-ek boyut yarıçapı küçük bir küre veya bir simit yüzeyi şeklinde olabilir mesela. Ek boyut sayısı arttıkça olası geometrilerin sayısı hızlı bir şekilde artmaktadır ve seçtiğimiz geometri 4-boyuttaki fiziği belirlemektedir. Sicim/M-kuramındaki en büyük meselelerden biri gözlediğimiz evreni tarif edebilecek ek-boyut geometrisinin tespitidir ve hala çözülememiş çok önemli bir problemdir. Bu yöndeki çalışmalar matematik-fizik işbirliğini fazlasıyla arttırmış Calabi-Yau uzayları, G2 çokkatlıları gibi geometrilerin daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmuştur.

M-kuramı evrenimizdeki 4 temel etkileşimi tek bir çatı altında toplamak için şu anda bildiğimiz en kuvvetli adaydır. Bu kuramın bazı limitlerini (11 boyuttaki süperkütleçekim ve 10 boyuttaki süpersicim kuramları) anlamakla birlikte, tam bir matematiksel formülasyonunu hala keşfedebilmiş değiliz ama Bergshoeff, Sezgin ve Townsend tarafından bulunan zar kuramının [2] kuantize edilmiş hali olma olasılığı oldukça yüksektir. Ancak bunun nasıl yapılacağı ne yazık ki henüz çözülememiş çok önemli bir problemdir ve üzerinde yoğun bir şekilde uğraşılmaktadır. Bir taraftan da değişik sicim ve süperkütleçekim kuramları üzerinde araştırmalar devam etmekte ve böylece M-kuramı haritasında bildiğimiz bölge genişletilmeye çalışılmaktadır. M-kuramı hem kuramsal fiziğe hem de matematiğe daha şimdiden çok önemli katkılar sağlamış ve değişik alanlar arasında daha önce bilmediğimiz şaşırtıcı bağlantılar bulmamıza yol açmıştır. Öte yandan henüz gözlemlenebilir bir savı olmaması en büyük eksikliklerinden biridir. Bu yönde özellikle M-kuramının evrenimizin başlangıcına dair ölçülebilir bir sonucunu elde etmek ümit verici bir araştırma alanıdır ve belki de yakın bir gelecekte heyecan verici haberler duyabiliriz.

Kaynakça:

- [1] M.B. Green, J.H. Schwarz, "Anomaly cancellations in supersymmetric $D = 10$ gauge theory and superstring theory". *Physics Letters B*149, 117 (1984).
- [2] E. Bergshoeff, E. Sezgin, P. K. Townsend, "Supermembranes and Eleven-Dimensional Supergravity," *Phys. Lett. B* 189, 75 (1987).
- [3] M. J. Duff, P. S. Howe, T. Inami and K. S. Stelle, *Superstrings in $D = 10$ from supermembranes in $D = 11$* , *Phys. Lett. B* 191, 70 (1987).
- [4] R. Güven, "Black p -brane solutions of $D=11$ supergravity theory", *Phys.Lett. B* 276, 49 (1992).
- [5] E. Witten, "String theory dynamics in various dimensions", *Nucl. Physics B* 443 , 85 (1995).
- [6] J. Polchinski, *Dirichlet branes and Ramond-Ramond charges*, *Phys. Rev. Lett.* 75, 4724 (1995).

Fotoğraflar



Theodor Kaluza (solda) ve Oskar Klein.



Edward Witten (solda), Michael Green (ortada) ve John Schwarz.

Türkçede Sicim Kuramı

- 1) Evrenin Zarafeti, Brian Greene, Tübitak Yayınları.
- 2) Sicim Teorisi Hakkında Küçük Bir Kitap, Steven S. Gubser, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi.
- 3) Einstein'dan Ötesi, Michio Kaku, Odtü Yayınevi.
- 4) Bükülmüş Geçitler, Lisa Randall, Alfa Yayıncılık.