

Bir Fizikçi Hayali ve Mikro Karadelikler

Yüzyıllardan beri insanoğlu Ay'a bakıp merak etti neden orada durur diye. Gelgitler ve dolunay efsaneleri, Ay'ı olduğundan da gizemli kıldı, ta ki kütle çekimi yasalarının keşfine kadar. Hayatımızda en önemli fizik kuvveti olarak yer edinen kütle çekimi, aslında doğadaki en zayıf kuvvet...

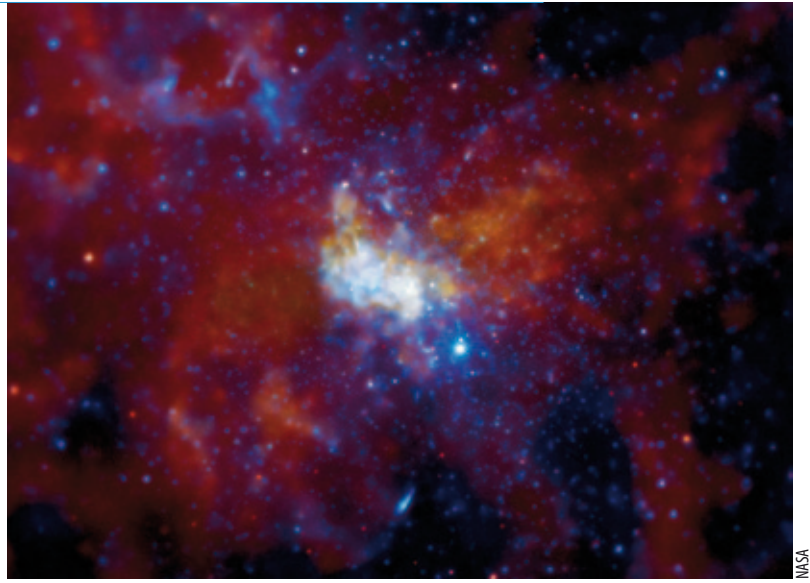
Gelin, yerçekimine tersten,
Dünya'ya da Ay'dan bakalım.



İki yıldızdan biri yaklaşırken dedi:
"Dönmeyi bırakıp biraz durabilsek,
Göğün izniyle parıldasak, birlikte."
İkilinin arzusu kendine bir özlem.
Yörüngeleriyle sabit yıldızların kaderi.
Birliktelik hayal. Ayrılık ise kanun.
Muhammed İkbal

Doğanın en temel kanunlarını anlama çabamız, fiziğin yüzyıllar içinde birçok kola ayrılmasına neden oldu. Merak ettiğimiz tabiat olaylarını irdeleyen fizikçiler, evrenin değişik ölçeklerinde tabiat olaylarına özgü kanunlar olduğunu buldular. Örneğin gök cisimlerinin yörüngelerinde hareketlerinden sorumlu olan kütle çekimi ve elektronların protonlar etrafında hareketini belirleyen elektromanyetik yasaları. Kanunlar doğada etkin olan kuvvetleri tanımlamamıza yardımcı oluyorlar. Bildiğimiz kadarıyla doğadaki çoğu olay dört kanun yardımıyla açıklanabiliyor. Elektromanyetik ve kütle çekimi kanunları dışında, zayıf kuvvet ve kuvvetli kuvvet denilen kuvvetlerin de kanunları var. Onlar sadece atomaltı yahut parçacık fiziğinde gözlemediğimiz kuvvetleri açıklamakta kullanılıyorlar. Bu dört kanunu buluşturmak, bir çerçevede birleştirmek, fizikçilerin uzun süren bir hayali... Elektromanyetik kuvvetle zayıf kuvveti bir teori altında birleştirmeyi Dr. Abdus Salam, Dr. Sheldon Glashow ve Dr. Steven Weinberg başardılar ve teorilerinin CERN'deki Gargamelle deneyiyle 1973 yılında kanıtlanmasından sonra 1979 Fizik Nobel Ödülünü aldılar. Ama ya diğerleri?

Hepsini aynı çerçeveye oturtmanın ilk sorunu hemen ortaya çıkıyor. Kütle çekimi yahut günlük hayatta kullandığımız ismiyle, yerçekimi kuvveti her ne kadar bizim hayatımızda en önemli kuvvet gibi gözükse de aslında en zayıfı. Diğer üç kanunla arasında kuvvet katsayısı açısından çok büyük bir fark bulunmakta. Bunu tespit etmenin kolay bir yolu var. Etrafınızda bulunan her cisim aslında kütlesine orantılı olarak sizi kütle çekimi kanununa göre kendisine çekiyor ve karşılıklı olarak biz de etrafımızdaki her cisimi çekiyoruz. Fakat onların çekimini hissetmiyoruz bile. Ancak 6300 km yarıçapında çoğu demir ve oksijenden oluşmuş Dünya'nın sizi bütünüyle çektiğini düşünün... İşte bu koca kütle çekimi sizin ağırlık olarak hissettiğiniz kuvvet. Ama şimdi tabanlarınızı düşünün. Tüm gövdenizin ağırlığı tabanlarınıza bindiğinde aslında tabanlarınızın yüzeyinde bulunan elektronlar, o yükü kolayca kaldırabiliyorlar. Onlar temas ettiğiniz diğer yüzeydeki elektronlardan, elektromanyetik kuvvet kanunu dahilinde, ikisinin de ekisi yüklü olmasından dolayı uzaklaşmak istiyorlar ve birbirlerini sürekli itiyorlar. Aslında elektronlar birbirinden bu kadar nefret etmese ve yarattıkları basınçla yerçekimine karşı koymasa, hepimiz kendimizi Dünya'nın merkezinde bulurduk. Dünya'yı ayakta tutan minicik elektronlar... ve lise kitaplarındaki ismi: normal kuvvet. Ama düşünün tabanlarınızdaki elektronların kuvveti koskocaman Dünya'nın sizi çekmesine karşı koyabiliyor. Demek ki, o kuvvetli diye bil-



diğimiz kütle çekimi, mikroskobik dünyadan bakıldığında ne kadar da zayıf... Ama mikroskobik dünya için, kütle çekimi etkili bir kuvvet olamaz mı?

Güneş'in kütlesi Dünya'nın kütesinin 330 bin katı kadar, ama onun merkezinde bile elektronlardan ve protonlardan oluşan plazma basıncı yerçekimine karşı koyabiliyor. Ancak Güneş'ten daha ağır olan bir yıldızın süpernova patlaması sırasında çekirdeğinin çökmesi sürecinde basınç o kadar artıyor ki, elektronlar ve elektromanyetik kuvvet pes ediyor. Elektronlar zıt yüklü olan protonlarla birleşip yüksüz olan ve elektromanyetik kuvvetle etkileşmeyen nötronları oluşturuyorlar. Karşınızda ortalama bir nötron yıldızı portresi: 12 km yarıçapında ve Güneş'ten yüzde 50 daha ağır. Yüzeyindeki yerçekimi ise Dünya'dakinin 200 milyar katı! Onu ayakta tutan, daha da çökmesine izin vermeyen şey ise nötron basıncı, yani kuvvetli kuvvet. Ama daha bitmedi. Kütle çekiminin doğada tüm diğer kuvvetlere üstün geldiği ve yendiği bir yer var: karadeliğler. Süpernova patlamasında çöken çekirdeğin yeterince kütleli olması sonucunda nötron basıncı da maddeyi ayakta tutmayı başaramıyor ve madde "çöküyor..." Karadeliğler bahsinde hep sorulan soru karadeliğin içinde ne olduğudur. Bilemeyiz hatta kimse bilemez. Çünkü karadeliğlerin yerçekiminden ışık bile kaçamıyor. Karadeliğler evren hakkındaki bilgimizin kesin olarak sınırlandığı noktadır. Bir karadeliği tanımlayan sadece üç bilgi var: kütleleri, dönme hızları ve taşıdıkları elektrik yükü. Başka hiçbir şeyi ne bilebiliriz ne de hakkında iddia ortaya atabiliriz çünkü fizik kanunları bilgimizin sınırını çiziyor.

Şu ana kadar bu üç bilgidен sadece ilkini, yani kütlelerini, iyi bir şekilde ölçebildik ve hemen söyleyelim: evrenimizde bulunan karadeliğler çok çok kütleli. Örneğin Dünya'nın da içinde bulunduğu Samanyolu

Evrene açılan gözlerimizden biri de on yıldan beri uzayda bulunan ve evreni X-ışınlarında tarayan Chandra Uzay Teleskobu. X-ışınlarında Dünya'dan bakıldığında Yay Takımyıldızı sınırlarında kalan Samanyolu'nun kalbindeki karadeliğin etrafındaki ısınmış gaz kütlelerini görmek mümkün.

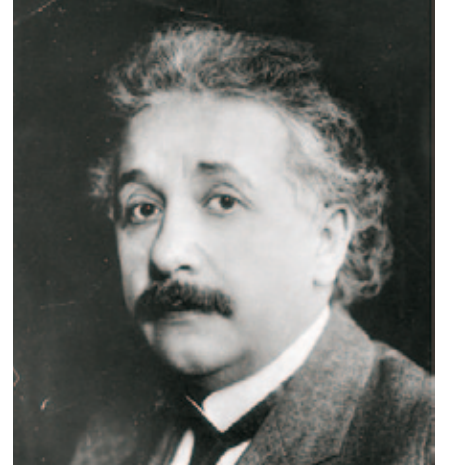


Gökadası'nın kalbinde güneşimizin yaklaşık 4 milyon katı kütlede bir karadeli bulunuyor! Merak edenler için: bu karadeli Dünya'dan bakıldığında Yay burcunun Sagittarius A* sahası içinde kalıyor. Gökadamızda yaklaşık 1 milyar yıldız var. Bu yıldızlar dönme hızları ve merkez-kaç kuvveti sayesinde bu karadeli tarafından yutulmaktan kurtuluyorlar. Karadeliğin kütlelerini de ona en yakın olan yıldızların hareketlerini izleyerek ve ölçerek hesaplayabiliyoruz. Karadelikler asla görülmezler. Fakat karadeliğin yerçekimi kuvvetine karşı koyamayan gaz kütleleri, nadiren yıldızlar, karadeliğe düşerken, sanki son bir çığlık atıyorlar. Biz kendi gökadamız dışındaki karadelikler hakkında, salındığı zaman X ve Gamma ışınları dalga boyundaki bu son çığlıkları gözlemleyebildiğimizden bilgi toplayabiliyoruz. Çoğu gökadamının kalbinde bir büyük karadeli olduğunu gözlemledik. Şimdiye kadar bulunanların en büyüğü Yengeç burcunda ve bizden 3,5 milyar ışık yılı uzaktaki OJ287, güneşimizin yaklaşık 18 milyar katı kütleli!

Peki doğanın diğer üç kanunu karadeliklerde kütle çekimine yenik düşüyor ve doğa bu savaşın galibini ışığın bile kaçamaması sonucunda gözlemlememizi yasaklamışsa, biz fizikçiler kütle çekimini nasıl mikro dünyada daha iyi anlayabiliriz ki? Daha da önemlisi: Kütle çekimi mikrodünyada neden bu kadar zayıf? Diğer kuvvetlerden farkı ne ve nasıl onu diğerleriyle bağdaştırabiliriz? Einstein'ın hayatının son yirmi yılını vakfettiği ve uzun yıllar ümitsiz görülen bu konu, hâlâ fizikçilerin gündeminde...

Schwarzschild ve Einstein

İlginçtir ki tarih, hatalı bir şekilde karadelikleri hep Einstein'a mal eder. Einstein 1915 yılında kütle çekim teorisi için ışığın da kütle çekiminden etkilendiğini yazar fakat genel izafiye teorininin genel bir çözümüne ulaşmaz. Bu hesabı, Frankfurtlu Yahudi bir tüccarın oğlu olan, 16 yaşında ilk fizik buluşunu yapan, 23'ünde doktorasını bitiren, 27'sinde Göttingen Üniversite'sinde profesör olan Karl Schwarzschild yapacaktır. 1914 yılında 40 yaşında olduğu halde Birinci Dünya Savaşı'na katılan Alman topçu Yüzbaşı Schwarzschild, Rusya cephesinde ciddi bir deri hastalığına yakalandığı halde Einstein'ın denklemlerini çözmeyi makalenin basıldığı 1915 yılı bitmeden başarır ve karadeliklerin mümkün olduğu sonucuna varır. Einstein denklemlerin basit bir çözümü olduğuna şaşırır. Fakat bu dahi, 1916 yılının Mayıs'ında hastalığa yenik düşerek vefat eder. Onun anısına, astrofizik kitaplarına karadeliklerin hesaplanabilir olan yarıçapı, Schwarzschild yarıçapı olarak geçmiştir. Yine ilginçtir ki ölümünden sonra Uluslararası Astrofizik Derneği'ne sunulan anma yazısında fiziğe bu katkısından hiç bahsedilmez. Onun kabul görmüş başka fikirleri, o zaman için hayal gücünü zorlayan karadelikleri gölgede bırakmıştır... Einstein ise denklemlerinin genel çözümünü kabul ettiği halde, ölümüne kadar doğanın kadadelikler oluşmasına izin vermeyeceğini ileri sürmüş, karadelikler üzerinde çalışan Chandrasekhar ve Oppenheimer'a karşı çıkmıştı. Einstein fizik dünyasında o kadar etkiliydi ki, ancak ölümünden on yıl sonra kütle çekimi sonucu çökmenin gerçekleşebileceği ve karadeliklerin oluşabileceği kabul görmeye başladı. Ancak 2008 yılında açıklanan hassas ölçümlerden sonra Samanyolu gökadamızın kalbindeki karadeli, fizik bilgileri arasında hak ettiği yerini aldı. Ama son sözü Schwarzschild'a bırakalım. 22 Aralık 1915 tarihinde Einstein'a sonuçlarını haber veren Schwarzschild, bir sayfalık mektubunu şöyle bitirir: "Görürsünüz ki, savaş bana iyi davrandı ve ağır top ateşine rağmen sizin fikirlerinizin dünyasında yürümeme izin verdi."



Bu günlerde fizikçilerin, özellikle de CERN'deki LHC'nin gündeminde olan bir teori var. Açıklamak için yukarıdaki sorulara bir soruyla karşılık verelim: Zamanı bir boyut olarak kabul ettiğimizde, 4 boyutlu bir evrende yaşadığımızı söylüyoruz ama emin miyiz? Aslında daha fazla boyutta yaşıyor fakat ya bunları görmüyorsak? Daha da ileri gidelim: Kuvvetli olduğunu bildiğimiz üç kuvvet sadece yaşadığımız 4 boyuta kilitliyse fakat zayıf olarak hissettiğimiz kütle çekimi diğer boyutlara etkisini böldüğünden bizim için ancak bu kadar zayıf gözüküyorsa?

İşte, 1998 yılında Nima Arkani-Hamed, Savas Dimopoulos ve Georgi Dvali'nin ortaya attığı fikir birkaç soruyla anlatılacak kadar basit ama arkasındaki matematik de bir o kadar zor. Burada fiziğin evrensel boyutunu bir kere daha gözlemleme şansı buluyoruz. Nima Arkani-Hamed İran doğumlu bir Amerikalı ve halen Princeton'daki İleri Araştırmalar Enstitüsü'nde çalışıyor. Savas Dimopoulos, İstanbul doğumlu ve Yunan vatandaşı. Halen Stanford Üniversitesi'nde profesör. Georgi Dvali ise Gürcü ve halen New York Üniversitesi'nde profesör. Yakın bir coğrafyanın insanları, uzak bir coğrafyada, aynı fikirde buluşmuş...

Ortaya attıkları ekstra boyutlar, bizim bildiğimiz boyutlara pek benzemiyordu. Kendi üzerine dürülmüş, boyutları bir milimetreden de küçük olan ekstra boyutlar tasarlamışlardı. Bizim bu ekstra boyutları çıplak gözle görmemiz yahut hissetmemiz imkânsız. Ancak kütle çekimi kanununa etkisi bulunmakta. Bildiğiniz gibi, kütle

çekimi kanunu iki kütle arasında mesafenin karesiyle ters orantılı. Ama örnek verirsek, iki tane milimetrik ölçütlerde ekstra boyut var diyelim, o zaman kütle çekimi kanunu milimetreden büyük her mesafe için normal şekilde davranırken, milimetreden küçük bir mesafede iki kütle arasında mesafenin 4.üncü üssü ile ters orantılı davranıyor. Fakat bunu gözlemlemek çok zor. Zaten zayıf olan kütle çekiminin normalden sapmasını ölçmek istiyoruz. İki toz parçasının birbirlerine yaklaştırılıp, aralarındaki çekimi ölçmek ne kadar zor bir düşünün. Bu tip deneyleri tasarlamaya çalışan fizikçiler birçok zorlukla karşılaşılıyor ama denemek bile güzel! Şunu da belirtmek lazım: Ekstra boyutlar ikiyle sınırlı olmak zorunda değil. Kütle çekimiyle diğer kuvvetleri aynı çerçeveye oturtmaya çalıştığımızda görüyoruz ki, boyutların sayısı arttıkça, ölçükleri de küçülebiliyor. Mesela 6 ekstra boyut varsa, ölçükleri, bir proton boyutu (10^{-15} m) kadar küçük olabileceği manasına geliyor.

Eğer boyutların ölçeği bir protonun ölçeğindeyse, siz de tahmin edersiniz ki, onların izlerini dünyanın en modern “mikroskopu” ve bir proton çarpıştırıcısı olan LHC’de (Büyük Hadron Çarpıştırıcısı’nda) görmek mümkün olabilir. Yukarıda bahsettiğimiz modelden farklı ekstra boyut modellerinin de olduğunu fakat çoğunun LHC’de gözlemlenebilecek bir iz bıraktığını söyleyelim. LHC’deki protonlar çarpıştığında, bizim için çok küçük bir enerji, çok çok küçük bir hacme sıkışacağından, yüksek bir enerji yoğunluğu ortaya çıkacak. Ekstra boyut teorileri doğruysa, bu yoğunluk yeterli seviyeye vardığında nadiren mikro karadelikler oluşabilir. Karadelik mi dedim? Merak etmeyin. Mikro kelimesi burada çok çok küçük olduklarını anlatmak için verilmiş aslında ama belki yeterli değil çünkü onlar bir protonun boyutundan da küçük olacaklar. Mikro karadelikler evrendeki büyük ağabeylerine, var oldukları süre içinde ölçülebilir üç özellikleri bakımından benziyorlar ama yaşam süreleri bakımından hiç benzemiyorlar. Stephen Hawking’in fizik dünyasına armağan ettiği bir kurama göre, sadece kısa bir an için var olup hemen “buharlaşacaklar”. Buharlaşma kuramı, karadelğin yüzeyinde kuantum prensipleri sonucunda madde ve karşı madde çiftlerinin oluşacağını, çiftlerden birinin karadeliğe düşerken, diğerinin karadeliğten kaçacağını söylüyor. Bu kaçan parçacıklar, karadeliğten enerji çaldıkları için, karadelğin buharlaşmasına yani bir süre yok olmasına yol açıyorlar. Hawking’in bulguları, bir karadelik ne kadar küçükse o kadar hızlı buharlaşacağını söylüyor. Küçüldükçe de buharlaşma hızlanıyor. Samanyolu’nun merkezindeki karadelik ise o kadar büyük ki, bu buharlaşmadan neredeyse hiç et-

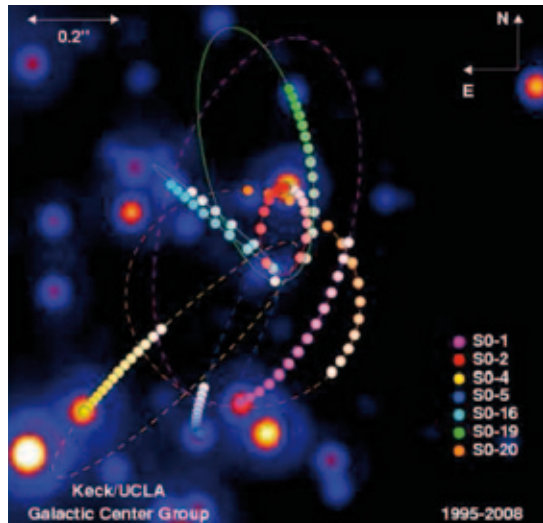
kilenmeden yaşamını kâinatın sonuna kadar devam ettirebilir. Bu bir kuram, mikro karadeliklerin buharlaşacaklarından nasıl emin olabiliyorsunuz diye sorabilirsiniz. Emin olmamızın nedeni uzaydan gelen ve atmosferimizle çarpışan yüksek enerjili kozmik ışınların, LHC’deki çarpışmalardan daha enerji dolu olanlarını sürekli gerçekleştirmeleri. Eğer ekstra boyutlar varsa ve teoriler doğruysa, şu an bile atmosferimizin üst tabakalarında bu mikro karadelikler göz açıp kapama süresinden de kısa fakat insanlığı düşünceye sevk edecek bir yaşam sürdürüyor demektir. Milyarlarca yıldan beri gerçekleşen çarpışmalardan etkilenmemiş ve yok olmamış Dünyamız ise kompo teorilerini sevenler için en büyük ters kanıt.

LHC’deki çarpışmalardan ortaya çıkabilecek olan mikro karadeliklerin buharlaşmaları, LHC’deki detektörler içinde gözlenebilecek. Mikro karadeliklerden çıkan parçacıkların enerjilerinin dağılımını ve mikro karadeliğin kütlelerini ölçebildiğimiz takdirde, evrende kaç ekstra boyut olduğunu da öğrenebiliriz... Belki bundan on yıl sonra CERN’deki bilim insanları insanlığa ekstra boyutları keşfettiklerini duyduklarında neler hissedeceksiniz?

En küçüğün ve en büyüğün bir türlü bulunamadığı büyük bir yaratılış efsanesi içinde yaşıyoruz. İşte bu gizemli kâinatta karadelikler yerlerini alıyorlar. Evreni kavrayamamak insana büyük bir ürperti verse de, merakımızı da kamçılıyor. Bu sırları çözebilecek miyiz ve daha önemlisi çözdüğümüz zaman anlayabilecek miyiz?

Kaynaklar

- Arkani-Hamed, N., Dimopoulos, S., Dvali, G.R., *Physics Letters*, B429:263-272,1998
 Crellin, J., *Einstein’s Jury*, Princeton University Press, s.89-90, 2006
 Ghez, A.M. et al., *Astrophysical Journal*, 689:1044-1062, 2008
 Hawking, S.W., *Communications in Mathematical Physics*, 43:199-220,1975
 Hertzprung, E., *Astrophysical Journal*, 45:285-292, 1917
 Randall, L., Sundrum, R., *Physics Review Letters*, 83:3370-3373,1999
<http://chandra.harvard.edu/photo/2010/sgra/>



Dr. Melahat Bilge Demirköz, İstanbul Amerikan Robert Lisesi’ni bitirdikten sonra, burslu olarak gittiği MIT’de fizik bölümünü müzik ve matematik bölümlerinden sertifika olarak 2001 yılında bitirdi. MIT’de yaptığı lisans ve yüksek lisans araştırmalarında AMS projesinde görev alarak NASA ile AMS projesinde toplam dört yıl çalıştı. Doktorasını Dorothy Hodgkin bursunu alarak Oxford Üniversitesi’nde ATLAS projesinde üç yılda tamamladı. 2006 yılında Research Fellow unvanıyla CERN’ün elemanı olarak kabul edildi. CERN’deki görevine Cambridge Üniversitesi’nden sonra Barcelona Üniversitesi adına devam etmektedir.

Samanyolu’nun kalbindeki karadeliğin etrafındaki yıldızların hareketleri 13 yıl boyunca titizlikle takip edildiğinde bu resim ortaya çıktı. Yıldızlardan bazılarının hızı 5000km/saniyeye varıyor. Yıldızların hareketlerinden merkezdeki karadeliğin kütlelerinin güneşimizin 4 milyon katı civarında olması gerektiği bulundu.