



Yeni Yüzleri, Yeni Mesajlarıyla Kara Delikler

KARA DELİKLER fiziğin gündeminde yine baş köşede. Büyük Patlama'dan sonra Evren'deki en şiddetli olaylar olan gama ışını patlamalarının, kara deliklerle ilgisi belirlendi. Yeryüzünde ve uzayda, giderek daha yaratıcı teknolojilerle donatılan teleskoplar, kara delikleri inceleyerek kuramsal öngörüler için yeni yeni kanıtlar topluyorlar. Ama kuram yakanacak gibi değil. Bu cisimlerin, bilinen fizik yasalarının geçerliğini yitirdiği, içlerinde olup bitenler konusunda neredeyse her gün yeni önermeler yapılıyor. Sokaktaki adamsa, giderek daha da garipleşen kuramsal savlar yerine, bunların pratik sonuçlarıyla ilgili. Kimisi, New York'ta başlatılan bir deneyde oluşabilecek bir kara deliğin tüm Dünya'yı yutmasından korkuyor. Başkala-

rıysa, kara delik araştırmalarının, Evren'deki yalnızlığımıza son vereceğinden umutlu; gidilemez gibi görünen uzaklıklara, hatta başka evrenlere bir çırpıda ulaşabileceğimiz "kurt delikleri"ni bekliyor. Yalnızca kara delikler için değil, Evren'in yapısı ve dinamiği konusunda da hızla değişen görüşler, bu "kestirme" yolları en azından kuramsal olarak olanaklı kılabilecek gibi görünüyor. Ancak fizikçilerin bugünkü düşleri çok başka bir hedef üzerinde odaklanıyor: Kara delikler aracılığıyla "her şeyin kuramını", daha somut bir ifadeyle, "kütleçekimin kuantum kuramını" elde edebilmek. Bu konuda en yetkin fizikçilerce yapılan öneriler, Los Alamos Ulusal Laboratuvarı'nın web sayfasında tartışılıyor ve neredeyse kolektif bir çabayla her gün geliştiriliyor. Bazı fizikçiler, bu hedefi daha şimdi-

Fizikte, gökbilimde, kozmolojide belki hiçbir nesne sokaktaki adam için bir kara delik kadar popüler olmadı. Bırakın, üniversiteyi, liseyi, ilkokul öğrencilerinin bile kaba hatlarıyla doğru bilgileri var bu gizemli ve güçlü gökci-simleri hakkında. Ekonomik literatüre hatta günlük dilimize bile girdiler. Kara delik benzetmesi, verimsiz büyük masraf kapıları, bütçe açıkları ve doymak bilmez bir iştahla çevresinde ne varsa silip süpüren her şey için kullanılıyor. Bu ilgi, belki akıl almaz güçlerinin uyandırdığı korkuyla karışık hayranlıktan kaynaklanıyor; belki 1968 yılında Amerikalı fizikçi John Wheeler'in taktığı adın, uçsuz bucaksız Evren'imizden, başka evrenlere bir çıkış kapısı çağrışımı yapmasından; belki de bilimle bilimkurgu arasındaki sınırları belirsizleştirmesinden. Kimi, Einstein'ın kütleçekim kuramının garip öngörülerinin, bir kez daha gözlemle doğrulanmasına hayranlık duyuyor. Kimiyse, kuramın ve gözlemin ortaya koyduğu, doğanın akıl almaz gücüne.

den gerçekleştirdiklerini öne sürüyorlar. Tabii ki kullandıkları araçlar, getirdikleri açıklamalar, kuantum dünyasının garipliklerini kanıksamaya başlamış kulaklarımız için bile hayli yabancı.

Küçük Devler

Aslında yeni öneriler olmadan bile kara deliklerle ilgili kuram ve gözlemler öyle aklın kolayca alacağı türden şeyler değil. Hepimiz biliyoruz; kara deliklerin bir türü, büyük kütleli yıldızların merkezdeki hidrojen yakıtlarını kısa sürede tüketip çökmeleriyle ortaya çıkıyor. Kabullenmekte zorlandığımız şey, Güneş'imizden kat kat büyük bir yıldızın nasıl olup da inanılmaz boyutlara küçülebilmesi ve inanılmaz bir güç kazanması. Örneğin Güneş'ten 10 kat büyük bir yıldızın kara delik haline gel-

dikten sonra aldığı boyut, 60 km çaplı bir küre. Üstelik bu küre, deliğin kendisi de değil. İçine düşen hiçbir şeyin, hatta ışığın bile kaçamayacağını bildiğimiz "olay ufku". Daha iyi kavrayabilmek için, boyutlarına az çok aşına olduğumuz bir başka gök cismini, Dünya'yı düşünelim. Böylesine küçük kütleli bir cismin kara delik haline gelmesi mümkün değil ya, geldiğini varsayalım. Bu durumda Dünya'nın olay ufkunun çapı 9 milimetreden biraz daha az olacaktı. Bundan sonrasını anlamak içinse yeniden, çöken dev yıldızımıza dönelim. Asıl kara delik, yani fizikteki adıyla "tekillik", olay ufkunun tam merkezinde. Ama artık çap falan yok. İçine düşen madde ve enerjiyi Evren'in malvarlığından çıkararak bu cismin boyutları, matematiksel bir nokta kadar.

Dünya asla bir kara delik olamaz dedik ama, aslında olabilir!.. Yeter ki onu gerektiği kadar sıkıştırabilelim. Dolayısıyla kuramsal olarak bir kara deliği oluşturacak madde için alt ya da üst sınır yok. Ama oluştuğu maddenin böylesine muazzam ölçülerde sıkışabilmesi için gerekli koşullar, büyük kütleli yıldızlarda kendiliğinden var. Dolayısıyla Evren'de en çok görülen kara delikler, Güneş'imizden aşağı yukarı 10 kat fazla kütleli olanları. Böyle bir yıldızın ağırlığı, 10^{31} kg kadar (Yani 1'in ardına 31 tane 0 koymanız gerekiyor).

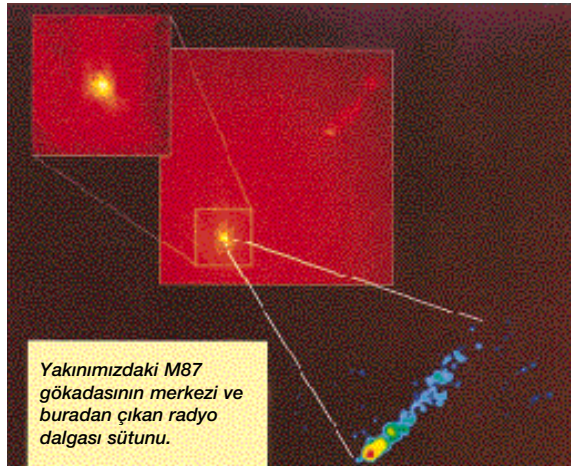
Kara deliklerin bir türü, çöken dev yıldızlarca oluşturuluyor demiştik. Peki başka türleri? İstedığınız yöndeki uçlara gidebilirsiniz. Kuramcılar, 13-15 milyar yıl önce Büyük Patlama'nın hemen ardından mikroskobik kara delikler oluştuğu konusunda birleşiyorlar. Ama kara delik dinamiğine göre bunların çoktan yok olması gerekiyor.

Öteki uçta devasa boyutlar söz konusu. Büyük gökadalardan merkezindeyiz. Buralardaki kara delikler öyle 10-20 değil, milyonlarca, hatta milyarlarca Güneş kütleli. Eliptik dev gökada M-87'nin merkezindeki kara delik üç milyar Güneş kütleli. Gökadamız Samanyolu'nun merkezinde varolduğuna inanılan kara delikse oldukça küçük. Yalnızca 2,6 milyon Güneş kütleli!.. Bu dev kütleli kara deliklerin, gökadalardan oluşurken merkezlerindeki gazın hızla çökmesiyle oluştuğu sanılıyor.

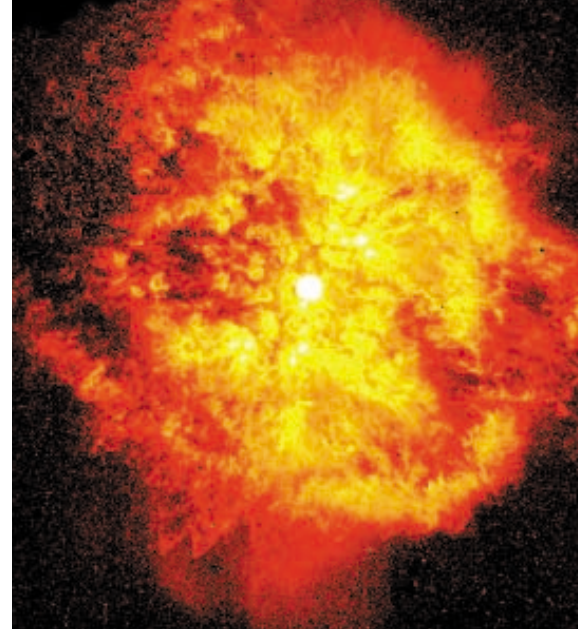
Bir kara deliğin kütlesi ne kadar büyükse, uzayda kapladığı yer de o ölçüde büyük oluyor. Yani "Schwarzschild yarıçapı" denen olay ufkunun yarıçapıyla, kara deliğin kütlesi birbirleriyle doğrudan orantılı. Bir kara deliğin kütlesi, bir başkasınınkinden 10 misli fazlaysa, yarıçapı da 10 misli fazla. Bizim Güneş'imizle aynı kütlede bir kara deliğin yarıçapı 3 kilometre olurdu. Bu durumda, Güneş'imizden 10 kat ağır bir karadeliğin yarıçapı da 30 kilometre olmalı. Bir gökada merkezindeki 1 milyon Güneş kütleli karadeliğin yarıçapıysa 3 milyon kilometre.

Kara Deliğin İçinde...

Diyeelim bir uzay gemisindeyiz ve bir gökadanın merkezinde bir milyon Güneş kütleli bir kara deliği incelemekle görevliyiz. Göstergelerimize bir de bakıyoruz ki bir hata yapmışız ve olay ufkunun içine düşmüşüz. Yani kara deliğin içindeyiz. Geri çıkamayacağımızı da biliyoruz, bizi çok ötelede bekleyen ana gemimize bir mesaj gönderemeyeceğimizi de. Çünkü olay ufkundan dışarı ne ışığın, ne de aynı hızdaki radyo mesajlarının çıkamayacağını farkındayız. Peki merkezdeki tekilliğe doğru sürüklenirken son anılarımız ne olacak? Dışarıyı görmeye devam edeceğiz. Çünkü olay ufkunun içine ışığın girmesi serbest. Yalnızca çıkış yasak! Belki uzaktaki cisimleri biraz garip biçimlerde göreceğiz. Çünkü kara deliğin bir milyon Güneş'lik kütlesi, gelen ışık demetlerini bükecek. Bizi şaşırtan bir durum, böylesine güçlü bir cismin içinde olduğumuz halde kütleçekimini hissetmememiz. Nedeni, hala serbest düşüşteyiz ve deliğin güçlü çekim alanı, bedenimizin,



Yakınızdaki M87 gökadasının merkezi ve buradan çıkan radyo dalgası sütunu.



Wolf-Rayet türü büyük kütleli yıldızlar çökerek kara delik oluşturuyorlar.

gemimizin her noktasına aynı şiddetle etki yapıyor. Ancak tam altımızdaki merkeze 600 000 kilometre sokulduğumuzda bir gariplik hissetmeye başlıyoruz. Sanki ayaklarımız, başımızdan daha büyük bir kuvvetle çekiliyor. Merkeze yaklaştıkça bu etki artıyor ve kendimizi uzamış hissediyoruz. Daha da yaklaştıkça, son anımsadığımız, bedenimizin parçalanmak üzere olduğu.

Ne yazık ki, gözümüzün önünden geçen yaşamımız, ancak kısa metrajlı bir film olabiliyor. Çünkü başından sonuna bu süreç fazla uzun değil. Yönlümüzü kara deliğe çevirip motorları durdurduğumuzda, merkezdeki tekilliğe olan uzaklığımızın, olay ufkunun yarıçapının 10 katı olduğunu varsayalım. Yani kara deliğin merkezine 30 milyon, olay ufkunaysa 27 milyon kilometre uzaktayız. Buradan, bir milyon Güneş kütleli karadeliğin olay ufkunun içine çekilmemiz sekiz dakika sürüyor. Bundan sonra bilgilerimizi arttırmak için acele etmeliyiz. Çünkü tekilliğin içinde kaybolmamız için yalnızca yedi saniyemiz var!... Ama gene de şanslı sayılırız; hiç olmazsa merakımızı gidermek için az da olsa zamanımız oldu. Çünkü ufuktan tekilliğe düşme süresi, kara deliğin kütlesine orantılı olarak artıyor. Daha küçük bir kara deliğe, örneğin Güneş kütleli birine düşecek olsaydık film çok daha önce bitecekti. Üstelik hiçbir şey öğrenemeden. Nedeni, bedenimiz üzerindeki çekme kuvveti, bizi kara deliğe 6000 kilometre ötede parçalayacaktı. Yani 30 kilometre yarıçaplı olay ufkunun daha çok uzağındayken.



Küçüklü büyüklü her kütle uzay-zaman dokusunu "eğriltiyor".

...ve Dışında

Uzaklardan bizi seyreden ana gemideki arkadaşlarımıza gelince, işlerin yolunda gitmediğini anlamaları epey zaman alacaktı. Çünkü onlar, bizi kara deliğin olay ufkuna yaklaştıkça giderek yavaşlıyor olarak algılayacaklardı. Fizik kuramlarına göre biz olay ufkunu çoktan geçip öldükten sonra bile arkadaşlarımız, olay ufkuna vardığımızı bir türlü göremeyeceklerdi. Sonsuza kadar bekleseler bile.

Biz de yeni oluşmakta olan bir kara deliğe yaklaşıyor olsaydık, ömrünü tamamlayıp çökmekte olan yıldızın giderek küçüldüğünü görecektik, ama kara delik oluştuğundan sonra dahi çöken maddenin olay ufkunu aşmış gözden kaybolmasını göremeyecektik.

Bu durumun nedeni, Einstein'ın kütleçekim kuramında saklı. Genel göreliliğin temel öngörüsü, kütlesi olan her cismin uzay-zaman dediğimiz dört boyutlu dokuyu, tıpkı üzerine ağır bir top konmuş esnek bir kumaş gibi çukurlaştırması. Bu çukurun üzerinden geçen herhangi bir cisim, hatta ışık, çukurun büktüğü düzlemden geçtiği için biraz eğrileşecek, ya da bükülecekti. Kara delikler, çok büyük kütleli cisimler olduklarından, uzay-zamanda oluşturdukları çukurlar da bir dipsiz kuyuyu andırıyor. Çukurun bir kenarından içeri düşen bir cisim, hatta hızlı bir ışık fotonu bile, karşı duvara ulaşmış eğriyi tırmanarak yeniden düze ulaşmıyor. Einstein'ın gösterdiği gibi uzayla zaman aslında aynı şey olduklarından kütle zamanı da büküyor oluyor. Bu nedenle bizim için zaman daha yavaş geçerken, uzaktaki arkadaşlarımız için daha hızlı akıyor. Eğer zamanında uyanabilseydik ve kara deliğe düşmeden olay ufkunun kenarında bir süre araştırma yaptıktan sonra dönebilseydik, kavuştuğumuz arkadaşlarımızı bizden daha fazla yaşlanmış bulacaktık.

Genel göreliliğe göre durum bu. Gerçekten arkadaşlarımız, gözden kayboluşumuzu izleyebileceklerdi. Nedeni de ışığın kırmızıya kayma olgusu. Kara deliğin yakınlarında uzaya saçılan ışık, giderek daha uzun dalgalılarına doğru, "kırmızıya" kayar. Bu durumda, belirli bir dalga boyunda yaydığımız görünür ışık, arkadaşlarımızca daha uzun dalgalı boyunda algılanacak. Sonunda saçtığımız ışık görünür ışık olmaktan çıkacak, önce kızılötesi ışınlar, daha sonra da radyo dalgalarına dönüşecek, arkadaşlarımız, bizim varlığımızı ancak özel aygıtlarla izleyebileceklerdi. Sonunda dalgalı boyunu öylesine uzayacaktı ki, arkadaşlarımız için tümüyle görünmez ve algılanmaz olacaktık.

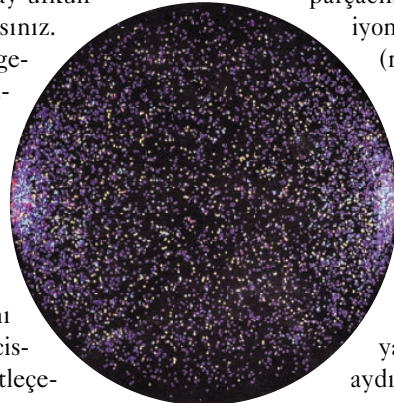
Gerçek ve Efsane

Kara deliklerin garipliklerine öyle koşullanmışız ki, insan zaman zaman bir işe yaramadığını düşündüğü mantığını tümüyle bir tarafa bırakmak eğilimine giriyor. İlgüdüsel olarak tam olarak anlamadığımız, tanımadığımız şeylerden korkuyoruz. Korkularımız, loş ışıkta duvara yansıyan gölgeler gibi büyüyor. Madem etrafındaki her şeyi silip süpürüyor, şöyle irisinden bir kara delik, tüm evreni yok etmez mi? Bilim adamlarına göre korkulacak bir şey yok. Tek koşulla tabii: Olay ufkundan uzak duracaksınız. Eğer es kaza bu ufku geçecek olursanız, kurtuluş yok, tekilliğin içine düşeceksiniz. Ama olay ufkuna güvenli bir uzaklıkta duran bir kimse için kara deliği saran kütleçekim alanının, aynı kütledeki bir başka cismin çevresindeki kütleçekim alanından bir farkı yoktur. Başka

bir deyişle, bir Güneş kütleindeki bir kara deliğin çekim gücü, aynı kütledeki bir başka gök cisiminden, örneğin Güneş'ten daha yüksek olamaz. Peki Güneş, bir kara delik haline gelirse? Daha önce değindiğimiz gibi, kütlesi bunun için yeterli düzeyin çok altında olduğu için böyle bir olasılık yok. Benzerleri gibi Güneş, bir beş milyar yıl daha yaşadıkten sonra merkezindeki yakıtı tüketecek ve bir kırmızı dev haline gelecek şişecek, Merkür ve Venüs gezegenlerini içine alacak, daha sonra dış katmanlarını yavaş yavaş uzaya bırakacak ve sıkışıp ısınan merkezi, Dünya'mız boyutlarında sıcak bir "beyaz cüce" olarak ortaya çıkacak. Zaman içinde bu enkaz yıldız soğuyarak gözden kaybolacak.

Ama varsayalım, Güneş çökerek bir kara delik haline geldi. Bu durum, Dünya'nın ve öteki gezegenlerin yörüngeleri üzerinde herhangi bir etki yapmayacak. Hepsi aynı uzaklıkta dönmeye devam edecek. Nedeni, kara deliğin olay ufkunun çapı yalnızca üç kilometre olacak. Ama gene de Dünya'mızda böyle bir durumda yaşama veda edebiliriz. Nedeni, artık buraların çok soğuk ve karanlık olacağı...

Gelgelelim, bu kara delik söylemi öylesine yaşamımızın bir parçası haline geldi ki, bilim ne derse desin, insanoğlu yine tedirgin. Bazılarına göre, bir kara deliğe ziyafet olmamız yakın. Hem de kendi eserimiz olan bir kara deliğe: Londra'da yayımlanan The Sunday Times adlı etkili Pazar gazetesinin de köruklediği korku, New York'un Long Island banliyösünde bulunan Brookhaven Ulusal Laboratuvarı'nda hazırlıkları sürdürülen dev bir deneyden kaynaklanıyor. Laboratuvarda kurulu Relativistik Ağır İyon Çarpıştırıcısı adlı bir parçacık hızlandırıcısı, altın iyonlarını ışık hızına yakın (reletivistik) düzeylere kadar hızlandırdıktan sonra çarpıştıracak ve ortaya çıkan enkazı inceleyerek hem yeni parçacıklar elde etmeye, hem de bilinen bazı temel parçacıkların açıklanamayan bazı özelliklerinin aydınlatılmasına çalışacak. Dünyanın her yanından Brookha-



ABD'de bilim adamları altın iyonlarını çarpıştırarak "yapay Büyük Patlama" oluşturmayı hedefliyorlar.

ven'a gelen parçacık fizikçilerinin, Büyük Patlama'nın bir küçük kopyasını gerçekleştirecekleri haberleri, "deli doktorun elinden bir kaza çıkacağı" türünden endişelere yol açtı. Laboratuvar yetkilileri İnternet'te bir basın açıklaması yayınlarak, Dünya'yı yutacak kara delik senaryosunu yalanladılar.

Bilim adamlarına göre, olası en küçük kara deliğin çapı, Planck Uzunluğu da denin 10^{-35} m civarında olabilir (yani metrenin yüz milyar kere trilyon kere trilyonda biri). Ama böylesine küçük bir kara deliğin bile kütlesi 10 mikrogram kadar yani bir toz zerreciği ağırlığında olur. Parçacık hızlandırıcıları içindeki çarpışmalarla böylesine "büyük" kütleli cisimler yaratabilmek içinse 10^{19} giga-elektronvolt düzeyinde enerjiler gerekir. Demek ki, bir kara delik yaratabilmek için Dünya'nın en güçlü parçacık hızlandırıcısından 10 katrilyon kat daha güçlü bir makine gerekiyor. Günümüzdeki hızlandırıcıların boyutlarını aynı ölçüde büyütecek olursak, gerekli makinenin boyutları Samanyolu kadar olacak! Üstelik bu kadar çaba, masraf da boşa gidecek. Çünkü İngiliz fizikçi Stephen Hawking tarafından keşfedilen ve Hawking Işınımı denilen bir süreç sonucu laboratuvar ürünü kara delik 10^{-42} s (saniyenin bir trilyon kere katrilyon kere katrilyonda biri) içinde buharlaşıp yok olacak. Bir toz zerreciği yerine Everest Tepesi kütlesinde bir kara delik yaratılabilse bile, bunun yarıçapı 10^{-15} m (metrenin katrilyonda biri) olur ki, bir atom çekirdeği büyüklüğündeki böyle bir cismin, bir proton ya da nötron bile yutamayacağı fizikçiler arasında yaygın kanı.

Deliklerin Renkleri

Bu Hawking Işınımı da ne oluyor? Hani kara deliğin olay ufkundan dışarı hiçbir şey çıkamıyordu? Stephen Hawking'in 1970'lerde geliştirdiği modele göre kara delik ışınımı, kuantum mekaniğinin dinamikleriyle ortaya çıkan bir süreç; bu modele göre kara delikler kütleleri nedeniyle bir ışınım saçıyorlar. Kuantum Mekaniği'nin temel önermelerinden olan Belirsizlik İlkesi uyarınca enerjinin korunumu yasası kısa sürelerle de olsa çiğnenebiliyor ve "boşluk dalgalanmaları" denilen kuantum mekaniğin bir süreci sonucu boşluktan bir parçacık ve (ters elektrik



Deneyin gerçekleştirileceği Brookhaven Ulusal Laboratuvarı'ndaki parçacık hızlandırıcıları

yüklü) karşı parçacığı doğuyor. Çok kısa süreyle varolan bu parçacık çiftleri hemen birbirlerini yok ediyorlar. Bir kara deliğin olay ufkı yakınlarındaki güçlü kütleçekim alanlarının yoğunluğu, bu boşluk parçacıklarının oluşumu için gerekli kritik eşiği aşıyor. Eğer parçacık çiftleri olay ufkunun hemen dibinde oluşursa, parçacıklardan biri olay ufkunun içine düşüyor, ötekirse ufkun dışına. İşte zıt yönlerde giden bu parçacıklardan ufuk dışına düşeni, beraberinde kara delik içinden enerji çalmış oluyor ve uzaktaki bir gözlemci tarafından karadelik bir parçacık yayımlanmış gibi algılanıyor. Bir kara deliğin çevresindeki yoğun kütleçekim ortamında bu olaylar çok büyük sayılarda tekrarlandığından gözlemci kara delikten gelen sürekli bir ışınım görüyor. Işınım nedeniyle delik "kara" olmak özelliğini yitiriyor ve en azından kuramsal olarak görülebildiğinden, bazı araştırmacılarca "gri" olarak nitelendiriliyor. Gri deliklerin bir özelliği de "buharlaşmaları". Bu ışınım enerjisini kara deliğin kütlelerinden alıyor. Dolayısıyla kara delik giderek küçülüyor. Cismin kütlesi azaldıkça ışınım arttığından, kara delik giderek daha şiddetle ışınım saçıyor ve kütle kaybetme hızı da aynı ölçüde artıyor ve sonunda tümüyle yok oluyor.

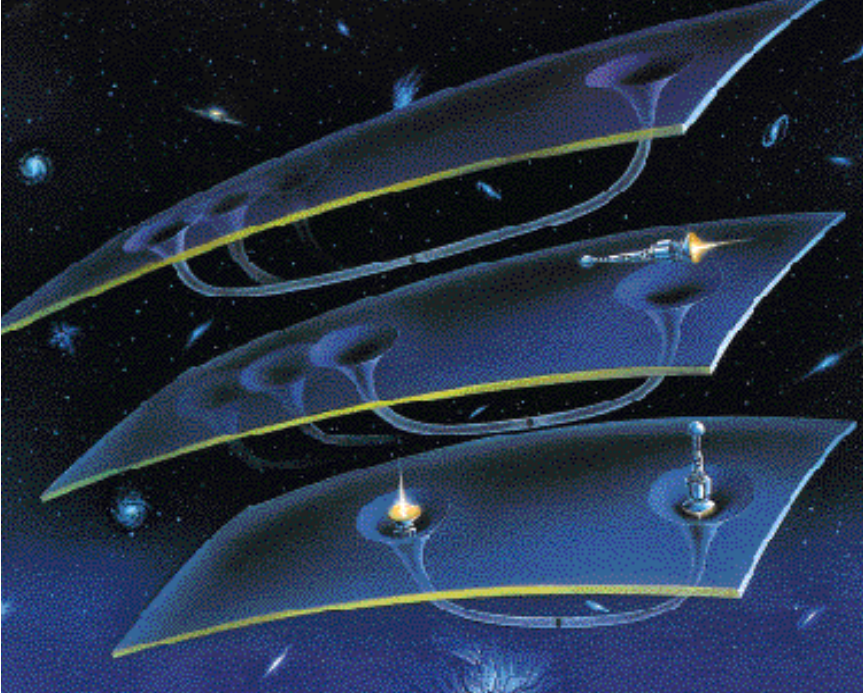
Kara deliklerin bir başka rengiyse, kuramsal olmanın ötesinde, tümüyle matematiksel bir varlık olmaları. Ama sonuçları önemli. Ak delikler, genel görelilik denklemlerinden kaynaklanıyor. Einstein'ın kütleçekim denklemlerinin bir özelliği, zaman içinde simetrik olmaları. Yani bir denklemin çözümünü alıp zamanın yönünü tersine çevirdiniz mi, aynı derecede geçerli bir başka çözüm elde edebiliyorsunuz. Bu kuralı kara delikleri tanımlayan çözüme uyguladınız mı, ak delik denilen bir sanal varlık ortaya çıkıyor. Kara delik, uzay-zamanın içinden hiçbir şeyin kaçamayacağı bir bölgesi olduğuna göre, zıtlık

gereği ak delik de içine hiçbir şeyin giremeyeceği bir yer. Kara delik yalnızca nesnelere içine çekebilirken, ak delik yalnızca püskürtüyor.

Uzayda Otoyollar

Kara delikler, yalnızca kütlelerine, ya da "renk"lerine göre ayrılmıyorlar. Dönen ve dönmeyen, elektrik yükü olan ya da olmayan biçimleri de var kurama göre. En yaygın olanlarsa, Yeni Zelanda'lı fizikçi Roy Kerr tarafından varlığı öne sürülen "dönen kara delikler." Dönme, açısal momentumun korunması yasasının bir sonucu. Kara deliği oluşturan kütle, çökmesinden önce eksenini etrafında dönüyorsa, bu dönme hareketini kara deliğe miras bırakıyor.

Bu kara deliklerin dönme hızları bazen öylesine büyük olabiliyor ki, olay ufkı, ekvatorunda şişiyor. Bu tür kara deliklerin çok daha ilginç ve kuramsal sonuçları, çok küçük olan tekilliklerinde ortaya çıkıyor. Hızlı dönüşlü kara deliklerde tekillik, bir nokta olmaktan çıkarak bir halka biçimini alıyor. Gene kuramsal olarak bu halka tekillikten geçen bir yolculukla madde, Evren'imizin başka bir bölgesine, hatta başka bir evrene geçebiliyor. Ak delik ve kurt deliği kavramlarına esin veren işte bu kuramsal temel. Bazı kuramsalara göre dönen ve (tercihen) elektrik yükü olan kara deliğin içi, kendine karşı gelen bir ak delikle birleşebiliyor. Ve içine düşen gemimiz, tekillikte atomlarına ayrılmadan ak delikten fırlayıp çıkabiliyor. Bu kara ve ak delikleri birleştiren tünelse kurt deliği diye adlandırılıyor. Bazen ak delik Evren'in çok başka yerlerinde, hatta başka bir evrende ya da zaman içinde geçmişte ya da gelecekte yer alabiliyor ve siz zaman içinde de yolculuk yapmış oluyorsunuz. Üstelik ışık hızıyla bile milyonlarca hatta milyarlarca yılda gidebileceğiniz bir yere, göz açıp kapa-



Bilimkurgunun düşü: Evren'deki "kurt delikleri" ışık hızıyla bile milyonlarca yıl sürecek uzay yolculuklarını birkaç saniyeye indirecek.

yıncaya kadar varabiliyorsunuz. Tabii burası, bilimle bilimkurgunun kesiştiği bir alan ve bazı kuramcıların öngörülleri, düş gücü zengin bilimkurgu yazarlarınıninkine yarışıyor. Bazılarıysa daha ihtiyatlı: Onlara göre ak delikler gibi bu kurt deliklerinin de matematiksel olarak olanaklı bulunması, doğada da bulunacakları anlamına gelmiyor. Kaldı ki, doğada varolan tek kara delik biçimi olan ve tanıdığımız sıradan maddenin çöküşüyle oluşan kara delikler kurt deliği oluşturamıyor. Oluştursalar bile bunlar son derece kararsız şeyler ve en ufak bir dış etken –sizin yolculuk için binmeniz gibi– kurt deliğinin aniden çökmesine yol açıyor. Hadi kurt delikleri var ve üstelik sağlam. Bu durumda bile kurt deliği aleyhtarları, yolculuğun son derece "rahatsız" olacağını savunuyorlar. Çünkü savlarına göre, dış çevreden, örneğin yakındaki yıldızlardan kozmik mikrodalga fon ışınımından vb. tekilliğe girecek ışınım, çok yüksek frekanslara (enerjilere) doğru maviye kayış gösterecektir. Böyle olunca da siz kurt deliğinden geçmeye çalışırken, gama ve X-ışınına dönüşmüş bu ışınım sizi kızartacak.

Bu deliklerin varlıklarına inananlarsa, kara delik kozmolojisinin iki saygın ismi, Kip Thorne ve Michael Morris'in, 1988 yılında Carl Sagan'ın "Contact" (Mesaj) adlı bilimkurgu romanı için, içinde yolculuk yapılabilecek kurt delikleri konusunda yaptıkları hesaplara güveniyorlar. İki bilim adamı, gerekli koşulları genel görelilik denklemlerine uyguladıklarında, her biri farklı bir kurt deliğine karşı ge-

len değişik çözümler elde ettiler. Thorne'a göre izlenebilecek iki yol vardı. Birincisi, bir kurt deliğini "yoktan var etmekti". Bilim adamı, Planck-Wheeler uzunluğu denen $1,62 \times 10^{-35}$ metre ölçeğin altına inildiğinde ortaya çıkacak şiddetli kuantum kütleçekim dalgalanmaları yoluyla, uzayı, üzerinde kısa ömürlü kuantum kurt deliklerinin ortaya çıkıp kaybolduğu bir kuantum köpük yaratılmasını öneriyordu. Bu köpük üzerindeki kurt delikleri Büyük Patlama'nın hemen ardındaki şişme sürecinde yaşandığı gibi, bir biçimde geliştirilebilirdi.

Thorne'un önerdiği alternatif stratejiyse makro uzayın bükülüp kıvrılması. Bunun yolu da sıfırdan başlayıp makroskopik uzayı bükerek bir yol açmak. Ancak iki boyutlu bir düzlem üzerinde uzun yoldan girmek yerine çok boyutlu uzayda iki nokta arasında doğrudan bir köprü kurabilmek için iki noktada uzay-zaman dokusunun yok edilmesi gerekiyor. Thorne'a göre kara deliklerin merkezinde bulunan tekillikler, işte bu dokunun yok olduğu yerler. Ancak bu tekillikler kütleçekimin kuantum kuramı tarafından betimlendiği için, kara delik tekilliklerinin kestirme yollar olarak kullanılıp kullanıl-

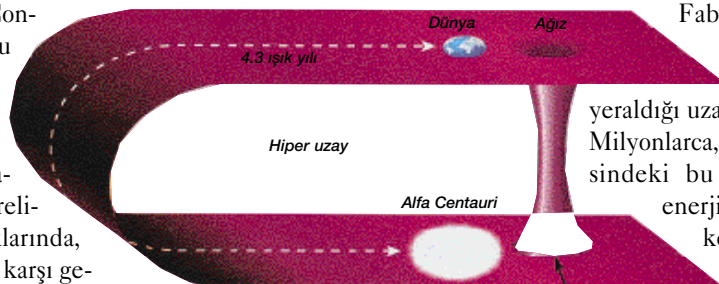
mayacağını anlamak için bir süre daha beklemek gerekecek.

Claudio Maccone adlı bir uzay araştırmacısının önerilen üçüncü bir yolsa manyetik bir alan aracılığıyla uzayın bükülmesi. Uzayın kütleçekimi yerine manyetik bir alanla nasıl bölüneceği sorusuna, İtalyan fizikçi Tullio Levi-Civita'nın ortaya attığı manyetik kütleçekimi kuramıyla yanıt veriyor. Levi-Civita Einstein'ın, enerjisi olan her şeyin uzay-zamanı bükeceği önerisinden yola çıkmış. Ve Einstein'ın genel göreliliği açıklamasından iki yıl sonra aynı alan denklemlerini kullanarak manyetik kütleçekimini kanıtlamış. Maccone, dört yıl önce Levi-Civita'nın denklemleri yoluyla laboratuvarında manyetik bir kurt deliği gerçekleştirilebileceğini öne sürdü. Ancak bu tür projelerde alışıldığı gibi, pratik uygulama ya gerçekçi değil, ya da gerçekleşmesi, dünyada henüz düşünemeyecek koşullara ya da teknolojilere bağlı. Maccone'nin yapılabileceğini savunduğu kurt deliğinin ancak "çok küçük bir kısmı" laboratuvara sığabiliyor. İtalyan araştırmacıya göre laboratuvar ölçeğinde, 2,5 tesla kuvvetindeki bir manyetik alanla gerçekleştirilecek kurt deliğinin iç çeper yarıçapı, "Dünya ile, 8,7 ışık yılı uzaklıktaki Sirius yıldızı arasındaki uzaklığın 17 katı" oluyor!.. Bu deliğin 1 metre yarıçapa indirilmesi için gerekli manyetik alanın gücü, milyar kere milyar tesla. Maccone moralini sağlam tutuyor. Ona göre nötron yıldızlarının yüzeyindeki manyetik alanlar 1 milyar tesla kadar ve bu dev yıldız artıkları, kendi kendilerine böyle kurt delikleri kurabilirler.

Daha Küçük, Daha Güçlü

Bilim adamlarının daha az macera düşkünleri, kara deliklerden daha alçakgönüllü yararlar peşinde koşuyor. Cambridge Üniversitesi Gökbilim Enstitüsü kuramcılarında Andrew

Fabian'ın ilgi alanı süperkütleli kara delikler ve merkezlerinde bu canavarların yer aldığı uzak gökadalara olan kuasarlar. Milyonlarca, milyarlarca Güneş kütle-sindeki bu kara deliklerin görünür enerjileri için çekmeleri gereken gazın miktarını hesaplayan Dr. Fabian, uzayda



bir X-ışını fazlası bulunduğu görüşünde. Kuramcı, Eylül ayında İtalya'nın Bologna kentinde yapılan X-ışını Astronomisi toplantısında yaptığı konuşmada, ölçülen fazlalığın, görünen her kuasar için 10 adet başkasının toz bulutları arkasında kaldıkları için görünmediğini savundu. Fabian'a göre bunun anlamı, süper kütleli karadeliğin Büyük Patlama'dan bu yana Evren'de üretilen ışınımın yarısından sorumlu olabileceği.

Daha başka gökbilimcilerse, son yıllarda daha önemli bir başarıyı yakaladılar: Kara deliklerin imzalarını keşfetmek. Kara deliklerin bir özelliği, haklarında yazılan binlerce makaleye, yüzlerce kitaba, uçuk ya da sağlam kuramlara karşın, şimdiye değin hiç gözlenememiş olmaları. Bir neden, (Hawking ışınımına karşın) gözlenemeyecek kadar "kara olmaları". Bu nedenle kara delikleri ancak çevrelerinde yarattıkları

şiddet nedeniyle gözleyebiliyoruz. Gökada merkezlerine çöreklenmiş süperkütleli kara delikler, çevrelerindeki gazı yutarken, ya da yıldız kökenli küçük kara delikler, ikili sistemlerdeki eşlerini yavaş yavaş soyarken etraflarında kütle aktarım diskleri oluşturuyorlar. Kara deliğin güçlü kütleçekim alanında dönen gaz sürtünme ve parçacık çarpışmaları nedeniyle ısınıyor ve enerjik gama ışınları, X-ışınları ve radyo dalgaları yayıyor. Bizler bu ışınımı uzaydaki ya da yeryüzündeki teleskoplarımızla algılayarak kara deliklerin varlığından haberdar oluyoruz. Ama emin miyiz? Bunlar gerçekten kara delik mi? Nötron yıldızları olamazlar mı? Nötron yıldızları da büyük kütleli yıldızların çöküşünün ürünü. Nötron yıldızları da maddenin uç bir biçimi. Kütleçekim altında muazzam yoğunluklara kadar sıkışmış bu cisimler, bir kent büyüklüğünde bir atom çekirdeği sayılabilir. Bir Güneş kütleindeki bir nötron yıldızının yarıçapı da, 10 Güneş kütleli bir kara delik olay ufkunun yarıçapı kadar: Yaklaşık 30 kilometre. Onların da son derece güçlü kütleçekim alanları var. Onlar da çevreden gaz alıyor, talihsiz eşlerini ya da yakaladıkları serseri yıldızları soyuyorlar. Güçlü X-ışınımının kaynakları bunlar da ola-

maz mı? Bunu nasıl anlayacağız?

Gökada merkezlerindeki süperkütleli karadeliği başka bir şeyle karıştırmak olanaksız. Çevrelerindeki yıldızların ya da gaz bulutlarının çok büyük dönüş hızları, bunların etrafa saçılıp gitmelerini önleyecek çok büyük kütlede bir cismin çevresinde döndüklerinin bir işareti. Böylesine büyük kütleler de kara deliklerden başka cisimlerde bulunamaz. Ama gökyüzünün her yerinden gelen, kimisi devamlı, kimisi arada bir parlayıp sönen X-ışını kaynaklarını nasıl ayırt edebileceğiz? Son yıllarda gökbilimciler bu ikisini ayırabilecek bir yol bulabildiklerine inanıyorlar. Yöntem, bu iki güçlü gökcismi arasındaki temel bir ayrıma dayanıyor. Nötron yıldızlarının katı bir yüzeyleri var ve bu yüzeyin üzerinde madde birikebiliyor.

Oysa kara deliklerde böyle sert bir yüzey yok. Olay ufkunu geçen madde ve ışınım, bir daha geri dönmek üzere Evren'i terk ediyor. Bu fark, her iki cismin yakınlarından yayılan ışınımı da farklı kılıyor ve gökbilimcilere, kara deliklerin varlığı konusunda ilk doğrudan kanıtı sunuyor.

Enerji Santralleri

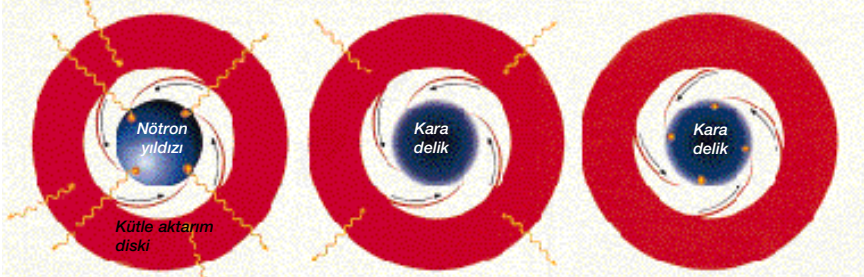
Kara deliklerin büyük çekim alanları, bu cisimleri son derece randımanlı makineler haline getiriyor. Olay ufkunu, ışık hızıyla bile hareket etse hiçbir şeyin kaçamayacağı bir yüzey. Dolayısıyla dışarıdaki madde de ufuk yakınlarına ışık hızına yakın hızlarda çekiliyor ve yolda öteki parçacıklarla çarpışıp parçalanıyor. Ortaya çıkan etkiyle, olay ufkunun yakınında madde ısınıyor. Ufuk yakınındaki cisimler ışık hızına yakın hızlarda dolaştığından, ısıya dönüşecek kinetik enerjileri de, durağan halde kütlelerinin taşıyacağı enerjiye ($E=mc^2$) yakın oluyor. Kara deliğin uzaklarında ilk çıktığı konumuna dönmek isteyen bir cisim, bunun için kütlelerinin önemli bir bölümünden vazgeçerek saf enerjiye



İkili yıldız sistemlerinde kara delik eşlerinden kütle alıyorlar. Varlıklarını "kütle aktarım diski"nin yaydığı ışınım niteliğinden anlaşıyor.

dönüştürmek zorunda. Bu anlamda, kara delikler, durağan kütleli termal enerjiye dönüştüren birer santral işlevi görüyorlar. Bu dönüşümün hangi oranda gerçekleştiği ise, kara deliğin dönme hızına bağlı. Kara deliğin parçası haline geldiğinde maddenin kaybetmediği nadir özelliklerden bir tanesi, açısal momentumu, yani dönme hızı. Madde, bu hızı kara deliğe transfer ediyor. Kara deliğin dönmesi görünmese de olay ufkunun yakınında uzay-zamanı bükmesinden anlaşılıyor. Ancak bir kara deliğin dönüş hızı sınırlı; çünkü belli bir maksimum hızın ötesinde kara deliğin yüzeyi varlığını yitirir. Maksimum hızı civarında dönmekte olan bir kara delik, içine düşen maddenin yüzde 42'sini enerjiye dönüştürür. Dönmeyen, statik bir kara delik içinse bu oran yalnızca yüzde 6. Bu bile çok yüksek bir randıman sayılır. Karşılaştırılacak olursa yıldızların merkezlerindeki termonükleer tepkimelerde maddenin enerjiye dönüşme oranı yüzde 0,7. Uranyum çekirdeğinin parçalanmasıyla elde edilen bu değerse yalnızca yüzde 0,1.

Kara delik çevresindeki parçacıklar çarpışmalar yoluyla enerjilerini eşitlerlerse, madde içeri düşmeden önce inanılmaz sıcaklıklara kadar ısınır. Örneğin olay ufkunun hemen dışındaki bir protonun sıcaklığı, kütlelerinin büyük bölümünün saf enerjiye dönüşmesiyle kazanacağı düzeye yaklaşır ve 1 trilyon dereceye erişir. Bu durumda disk çevresindeki maddenin yüksek oranlarda gama ışını yayması gerekir. Ancak protonlar (ve genel olarak iyonlar) kolayca ısınmalarına karşın, enerjilerini yaymakta o kadar becerikli değiller. Çarpışmalar yoluyla enerjilerini, bu işte daha usta olan başka parçacıklara, özellikle de elektronlara aktarırlar. Bunlar da X-ışınları gibi daha düşük enerjilerde foton yayarlar. Dolayısıyla kara delik imzası görmek isteyen gökbilimciler, elektronların yoğun olarak toplandığı bir bölgeden gelen şiddetli X-ışını demetlerine dikkat etmeli.



Kütle aktarım yolları: Aktarım diskinde dönen gaz, nötron yıldızına düştüğünde çarpma ile enerjisini büyük ölçüde yitirir (solda). Kara deliğe düşen gaz ise hiçbir yere çarpmadan olay ufkundan geçer. Gaz, enerjisini ufka varmadan yayabilir Çünkü enerjisi yüksektir ve gaz atomları çarpışır (ortada). Ya da enerjisini kendisiyle birlikte mezarına götürür (sağda).

Aslında eşlerden birinin ötekinden kütle çaldığı ikili yıldız sistemi anlamına gelen "X-ışını çiftleri" nin bazılarında gözlenen de bu. Gökyüzündeki en parlak X-ışını kaynakları olan bu sistemlerin, görünmeyen bir cisimle, çevresinde dönen sıradan bir yıldızdan oluştuğu sanılıyor. Bunlardan bazıları sürekli biçimde ışınım yayarken, "geçici X-ışını kaynakları" denen bazılarıysa, uzun süreler gözden kaybolduktan sonra, birkaç ayda bir 10^{30} - 10^{31} watt, yani Güneş'in toplam enerjisinin 100 000 katı düzeyde enerji yayıyorlar.

X-ışını çiftlerinin sıcaklığı 10 milyon derece olarak hesaplanıyor. Bu da kara delik modellerine uygun düşüyor. Ayrıca, gözlenen ışınımı yapabilmek için, bir kara deliğin her yıl güneş kütlelerinin 1 milyar ila 100 milyonda biri kadar kütleli yutması gerekir. Gözlemciler, bu değeri de sıradan yıldızın kütle kaybı ile ilgili modellerle uyum içinde görüyorlar. Böylece, X-ışını çiftleri, kara deliklerin varlığı için en iyi kanıt olarak görülebilir.

Öte yandan, aynı şeyler bir nötron yıldızı için de söylenebilir. Kara delik kadar olmasa da bir nötron yıldızı da etkili bir jeneratör. Üzerine düşen maddelerin hızı ışık hızının yarısı kadar olabiliyor ve yüzde 10 randımanla enerjiye dönüşebiliyor ki, bu da sıradan bir kara deliğin randımanına fazlaca uzak değil.

Aslında gökbilimciler, birçok ikili sistemdeki küçük cismin kara delik olmadığını biliyorlar. İkili sistemlerde görülen radyo atarcalarının, hızla dönen ve güçlü manyetik alanlara sahip nötron yıldızları olduğu sanılıyor. Kuramlara göre, "astronomik" yani yıldız kökenli kara deliklerin manyetik alanları olamaz. Dolayısıyla atarcaların yaydığı gibi düzenli atımlar, kara deliklerin eseri olamaz. Öte yandan X-ışını atarcaları da birer kara delik olamaz. Düzenli ve kararlı ışınım atımları, kara delik ola-

sılığını ortadan kaldırır. Hatta düzensiz X-ışını patlamaları da bir nötron yıldızı imzası sayılıyor. Nedeni, nötron yıldızlarının, maddenin üzerinde birikeceği ve zaman zaman patlayacağı sert yüzeyleri olması.

Ama ne yazık ki, bunun tersi doğru olmadığından kara delikleri nötron yıldızından kesin olarak ayıracak bir kimlik kartına henüz kavuşabilmiş değiliz. Çünkü patlamaların olmaması, kaynağın bir kara delik olduğunun kanıtı değil. Çok hızlı bir biçimde madde yutan nötron yıldızlarının da X-ışını yayamayacakları biliniyor.

Kara delikler, ikili sistemler içinde varlıklarını kuşku bırakmayacak biçimde ortaya koyan iki özelliğe sahipler: Sert bir yüzeylerinin olmayışı ve sınırsız kütleleri. Bir kara deliğin kütlesi, oluşma biçimi (özellikle atası olan yıldızın kütlesi) ve daha sonra yuttuğu

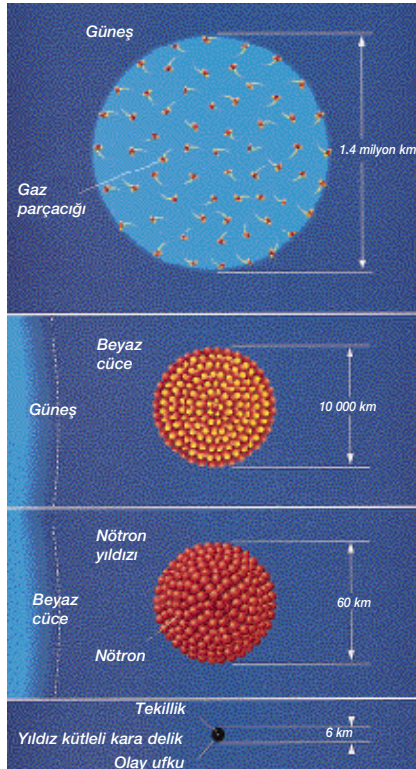
maddenin miktarıyla belirlenir. Hiçbir fizik kuralı, bir kara delik kütlesi için üst sınır koymaz. Oysa, öteki yoğun kütleler, örneğin nötron yıldızları, sınırsız kütleyle sahip olamazlar.

Kara delik dışındaki bir cismin kütlesi, kendi ağırlığına dayanma yeteneğine bağlıdır. Sıradan yıldızlarda parçacıkların, merkezdeki termonükleer tepkimeden kaynaklanan termal hareketleri, yıldızın kütleçekiminin etkisiyle çökmesini önleyen basınç oluşturur. Ancak nötron yıldızı ya da beyaz cüce gibi ölü yıldızlar enerji üretemezler. Bunlar da, kütleçekiminin tümüyle baskın çıkmasını önleyen, dejenerasyon basıncı denen, yoğunluğun uç sınırlarında kuantum mekaniğin etkileşimlerinden kaynaklanan pasif birer kuvvettir.

Pauli dışlama ilkesine göre, belirli bir alana sığdırılabilecek fermiyonların (başlıca iki temel parçacık sınıfından elektron, proton ve nötronları kapsayarak) bir sınırı vardır.

Bir beyaz cüce içinde elektronlar en düşük enerji düzeylerine yerleşmek isterler. Ama Pauli ilkesine göre hepsi birden en düşük enerji düzeyinde olamazlar. Her enerji düzeyinde ancak iki elektron bulunabilir. Dolayısıyla elektronlar, yoğunluğa bağlı olarak belirli bir enerji düzeyine kadar üst üste yığılırlar. Bu yığılma da kütleçekimine karşı koyan basıncı oluşturur. Hint asıllı ABD'li fizikçi Subrahmanyam Chandrasekhar'ın 1930'da gösterdiği gibi bir beyaz cüce yıldızın kütlesi, 1.4 Güneş kütlelerinden az olmalıdır.

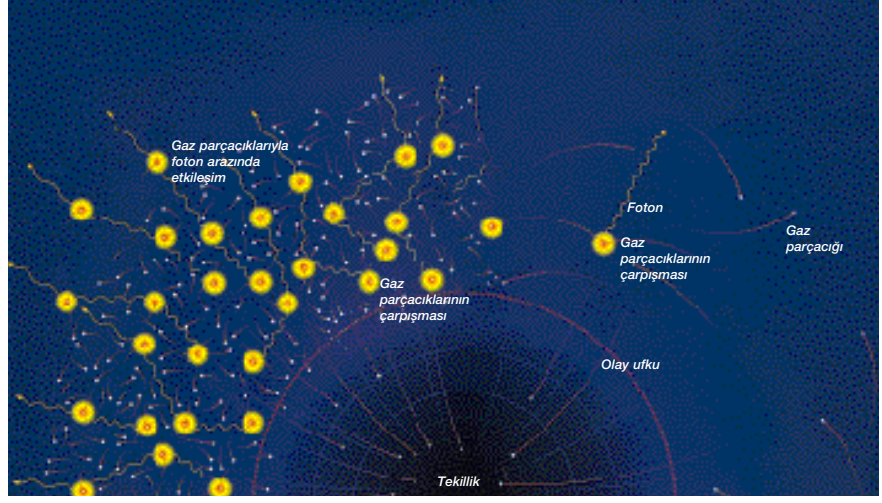
Nötron yıldızlarında yoğunluklar öylesine yüksektir ki, dejeneratif basınç kütleçekimine direnemez. Atomlar çöker, protonlar ve elektronlar birbirlerine geçip nötrona dönüşürler; atom çekirdekleri birleşir. Sonuçta bir nötron topu ortaya çıkar. Parçacıkların hepsi aynı enerji düzeyine yerleşemedikleri için gene birbirleri üzerine yığılırlar ve dışarıya doğru basınç oluştururlar. Dejeneratif çekirdek maddesinin



Gerek canlı gerekse ölü yıldızlar kütleçekimi ve dış yönelimli basınç biçimleri arasında birer savaş alanıdır. Kuvvet dengesi yıldızların boyutlarını belirler. Güneş gibi canlı ve sıradan bir yıldızda basınç gazdan kaynaklanır ve merkezdeki tepkimelerle yönetilir. Bu tür yıldızların çökmesiyle oluşan beyaz cücelerde basınç, elektronların üstüste yığılmasıyla oluşan dejenerasyon basıncıdır. Büyük kütleli yıldızların patlamasıyla oluşan nötron yıldızında atomlar ezilir ve çekirdekleri biraraya gelir. Bir kara delikte ise dış doğru bir basınç yoktur; kütleçekimi engellenemez ve yıldız, olay ufkunu diye bilinen bir daha geri çıkılamayacak bir yüzeyin merkezinde matematiksel bir nokta haline gelir.

özellikleri pek iyi bilinmediğinden, araştırmacılar, bir nötron yıldızının sahip olabileceği maksimum kütle konusunda güvenli bir şey söyleyemiyorlar. Ancak, basit bir akıl yürütme, üst sınır konusunda bir fikir verebiliyor: Dejenere yıldızlarda kütleçekiminin etkisi kütleyle birlikte artar. Bu kütleçekiminin baskısına direnebilmek için madde sertleşir. Belli bir kritik kütle için ne çıktığında maddenin öyle sıkışmış olması gerekir ki, fizik yasalarının yasaklamasına karşın ses, ışıktan daha hızlı yol alır. Bu kritik kütle üç Güneş kütlelerine eşit. Zaten gözlenen nötron yıldızlarının hiçbirinin kütlesi, iki Güneş kütlelerini geçmiyor. Bu durumda gökbilimciler, kara delik adaylarını belirlemek için kütlelerinin üç Güneş kütlelerini aşmış olmasına bakıyorlar. İkili sistemlerde yıldızların hızları ve yörünge hareketiyle ilgili Kepler yasaları, sistemdeki yıldızların kütleleri için bir alt sınır belirliyor. Bundan hareket eden gökbilimciler, Düzensiz aralıklarla X-ışını yayan ikili yıldız sistemlerinden yedisinde, küçük cismin kara delik için getirilen ölçütleri karşıladığını saptamışlar. Araştırmacılar, bu kara deliklerin kütlelerinin 4-12 Güneş kütleleri arasında değiştiğini hesaplıyorlar.

Ancak bu cisimlerin kara delik olduklarından iyice emin olmak istiyorsak, bunların, nötron yıldızlarında bulunamayacak başka özelliklere de sahip olup olmadıklarına bakmamız gerekiyor. Kara deliklerin sert bir yüzeyi yok. Olay ufkundan içeri düşen her şey, geri dönüşü olmayan bir biçimde Evren'imizden ayrılıyor. Sıcak bir plazma topağı olay ufkundan içeri düşerken termal enerjisini yaymak için zaman bulamamışsa, ısı da maddeyle birlikte yok olacaktır. Uzaktaki gözlemciler, yutulan topağın enerjisini hiçbir zaman göremeyecekler; enerji de madde gibi ufkun içine "çekilecek" ve kaybolacak. Bu durum, enerjinin (ve maddenin) korunması yasasına ters düşmüyor. Çünkü içeri düşen madde, kara deliğin kütlesini artırıyor. Ama bunu yaparken de delik dediğimiz enerji santralının görünür randımanını azaltıyor. Çünkü deliğin çevresinden daha az ışınım yayılıyor. Tersine, sıcak plazma topağı bir nötron yıldızının sert yüzeyi üstüne düştüğü zaman, tüm termal enerjisi, ya plazmanın kendisi, ya da nötron yıldızının yüzeyi tarafından uzaya saçılır. O



Kara deliğe düşüş, gazın kalın (sol taraf) ya da ince (sağ taraf) olmasına göre değişik biçimlerde olur. Eğer gaz kütle- si kalınsa, ışınım fotonları yayan parçacıklar arasındaki çarpışmalar sık olur. Böylece düşme hareketi ısıya ve ışınım- a dönüşür. Parçacıklar olay ufkunu geçip kaybolmadan önce enerjilerinin çok büyük bölümünü yitirmiş olurlar. Dışarıya kaçan fotonlar, maddeyle etkileşerek enerji yitirirler. Parçacıklar kara deliğe düştüklerinde hareket ener- jisinin tümünü birlikte mezara taşırlar. Bu yoğunlukta bir gaz için tekilliğin enerji yutuşunu izlemek daha kolaydır.

halde bir kara delikle bir nötron yıldızını ayırmanın en kolay yolu, görünmeyen cismin çevresindeki gazın ufuk ya da yüzey üzerine düşerken termal enerji yayıp yaymamasına bakmak. Fizikçiler sıcak plazmanın böyle enerji- siyle birlikte yutulmasını "çekim ağırlıklı kütle aktarım akımları" (advection-dominated accretion flow - ADAF) diye adlandırıyorlar. Çok sıcak ve seyrek plazmalar ışınımını etkili bir biçimde yayamazlar. Bu durumda gökbilimciler, kara delikleri belirleyebilmek için, ışınım randımanları yüzde 10 yörelerindeyken olmaları gerekenden daha sönük görünen X ve gama ışın kaynaklarını arıyorlar.

“Gerçekleşen” Düş

Fizik dünyasının öteki bölgelerinde kuramsal fizikçiler, bir başka kara deliğe doğru çekiliyorlar. Einstein'ın ünlü düşünce deneylerinin terminolojisiyle "gedanken (düşünce düzeyinde, kuramsal) kara delik" diye adlandırılan kuramsal delik, Evren'deki ağabeylerinden çok, mikroskopik dünyanın temel parçacıklarına benziyor. Bu hayali kara delikler, gerçek olsalardı, boyutları 1 cm'nin 100 katrilyon kere katrilyonda birini aşmayacaktı. Ama bu küçük boyutlarına karşın kendilerine verilmek istenen görev, sırtlarında tüm Evren'i taşımaları. Daha doğru bir deyişle Evren'i en doğru biçimde açıklamaları. Bu kara delikler son zamanlarda doğanın tüm temel kuvvetlerini özdeşleştirmek için geliştirilen "sicim" (string) kuramlarının baş aktörü haline geldi. Amaç, temel kuvvetler olan atom-altı ölçekteki şiddetli çekirdek kuvvetin, elektrozayıf kuvvetin (daha önce özdeşleştirilmiş olan elektromanyetik ve zayıf çekirdek kuvvetlerine bir-

likte verilen ad) ve büyük ölçekli kütleçekim kuvvetinin, aslında aynı kuvvetin değişik açılardan görünümü olduklarını kanıtlamak. Bunun için gerekense, kütleçekimini açıklayan Einstein'ın genel görelilik kuramıyla, atom-altı dünyadaki etkileşimler belirleyen kuantum mekaniğini bağdaştırmak. Buna fizikçiler kütleçekiminin kuantum kuramı da diyorlar. Ancak bu hedef şimdiye değin tüm çabalara karşın erişilmez olarak kaldı. Amacı yakalamaya en yakın olansa, hâlâ sicim kuramı. Bu, Evren'deki tüm parçacıkların ve etkileşimlerinin sicim biçimindeki yapıların değişik titreşimlerinin bir ürünü olarak gören ve giderek taraftar kazan bir kuram. Sicimler, kuramcılara göre boşlukta sürekli titreşen, açık, ya da paket lastiği gibi kapalı biçimde, hatta iki boyutlu zarlar ya da kapalı yüzeyler olabiliyorlar. Kuramın, yeni temel parçacıkların ve değişik sayıda boyutların varlığı üzerine kurulmuş değişik biçimleri var. Sicim kuramının temel sıkıntısıysa boyut: Günlük yaşamımızı ve büyük ölçüde Evren'i anlamamız için dört boyut (üç uzay ve bir zaman) yetiyor. Oysa sicim kuramlarının kimi için 10, kimi içinse 26 boyut gerekiyor. Bu boyutların sorunuyorsa, tanıdığımız büyük ölçekli dört boyutun aksine akıl almaz küçüklüklerde olmaları. Fizikçiler bunları Evren'in her noktasında kendi üzerine kıvrılmış, ya da yoğunlaşmış olarak zihinlerinde tasarlıyorlar. Bunların boyutları, kurama göre santimetrenin katrilyon kere katrilyonlarda biri. Gene kuramcılara göre bunları ortaya çıkarmak için, en gelişkin parçacık hızlandırıcılarında elde edebileceğimizden trilyonlarca kat fazla enerjiler gerekli. Bu nedenle kuramsal fizikçiler "boyut büyütme", boyut azaltma ya da

benzerleri kuramsal ya da matematiksel tekniklerle ilerlemeye çalışıyorlar.

Bu alanda bir sıçrama ABD'li fizikçi Joe Polchinski'nin daha önce ortaya attığı "D-brane" adlı yapılar için pratik işlevler tasarlamasıyla gerçekleşti. Polchinski ve arkadaşlarına göre bu yapılar sicim biçiminde tek boyutlu yapılar olabildiği gibi iki, üç, hatta çok boyutlu yüzeyler de olabiliyor. Yaptıkları genel tanım, D-brane'lerin sicimlerin üzerlerinde son bulunduğu yüzeyler oldukları (bir masa ve bacakları gibi). Polchinski'nin daha sonra kurama getirdiği bir katkı, bu yapılar içinde elektromanyetik itim ve kütleçekiminin birbirlerini yok ettikleri. Böylelikle kuramsal olarak, sicim biçimli, tek boyutlu bir D-brane, az önce sözü edilen küçük, yoğun boyutların birinin çevresine sarılabiliyor. Aynı şekilde çok boyutlu D-brane'leri de daha fazla boyutun etrafına sararak yapılar oluşturabiliyorsunuz. Polchinski, "bu yapıları lego parçaları kadar istediğiniz miktarda üst üste dizebilirsiniz ve böylece kütleyi çoğaltabilirsiniz" diyor. Sonuçta ortaya çıkan kuramsal yapı, fizikçiye göre uzun mesafelerde gerçek kara delikten ayırt edilemeyecektir.

Başka deyişle, bu lego kara delik, eğer gerçek olsaydı, kuantum mekaniğinin araçları olan sicimlerle yapıldıkları halde, genel göreliliğin tanımladığı kara deliklerle aynı özelliklere sahip olacaktı. Öylesine büyük kütleli olacaktı ki, içinden ışık bile kaçamayacak, gene tanıdığımız kara delikler gibi entropisi ve sıcaklığı olacaktı.

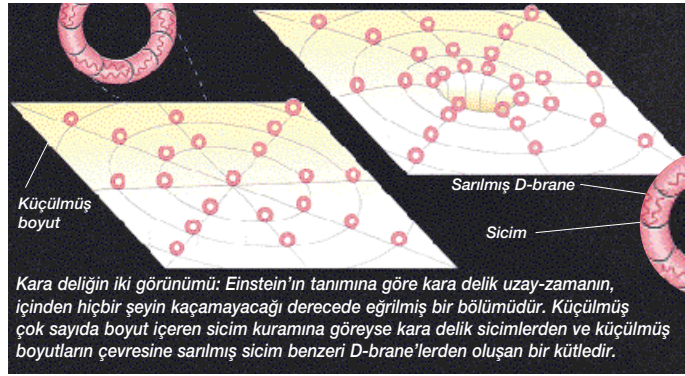
D-brane'den yapılmış kara delik modeli, daha sonra başka fizikçilerce geliştirildi. Sonunda Harvard Üniversitesi fizikçilerinden Juan Maldacena, adını taşıyan varsayımla daha basit ve daha gerçekçi kuramsal bir model oluşturdu. Maldacena Varsayımı'na göre, belli bir uzay-zaman bölgesinde hem kütleçekimini hem de mikroskobik kuantum etkileşimlerini açıklayan bir sicim kuramı, o bölge sınırının hemen dışında bulunan, kütleçekimsiz sıradan bir kuantum sistemiyle aynı özellikleri taşır. Kara deliklere uygulandığında bunun anlamı şu: Kara deliğin içindeki koşulları açıklayan kuram, özünde kara deli-

ğin olay ufkunun hemen dibindeki durumu açıklayan bir kuantum alan kuramıyla eşit geçerliliktedir.

Maldacena, varsayımını sınamak için, sıcaklığı mutlak sıfır (-273°C) yaklaşan bir kara deliğe bir, D-brane gibi kuantum mekaniksel yapı açısından, bir de genel görelilikçe betimlendiği gibi kütleli bir cisim olarak yaklaştı.

D-brane yaklaşımında gördü ki, kara deliğin sıcaklığı mutlak sıfır sınırında enerji (ve dolayısıyla da kütle) azaldığından, hem kütleçekim kuvveti, hem de sicim ve D-brane'ler arasındaki etkileşimler sıfırlanıyor. Geriye, "ayar kuramı" denen ve elektrozaıf ve şiddetli çekirdek kuvvetlerini açıklayan basit bir kuantum alan kuramı kalıyor.

Denklemlerin genel görelilik tarafındaysa, düşen sıcaklığın etkileri daha da dramatik. Fizikçi Edward Sro-



Kara deliğin iki görünümü: Einstein'ın tanımına göre kara delik uzay-zamanın, içinden hiçbir şeyin kaçamayacağı derecede eğrilmüş bir bölümdür. Küçülmüş çok sayıda boyut içeren sicim kuramına göre ise kara delik sicimlerden ve küçülmüş boyutların çevresine sarılmış sicim benzeri D-brane'lerden oluşan bir küttedir.

eminger'in anlatımına göre, işe bir kara delik ve sicimler bulunan bir evrenle başlanıyor ve sıcaklık giderek düşürülüyor. Sıfır sınırına dayanınca Evren'in uzay-zamanı "donuyor". İçinde herhangi bir hareketin, bir olayın ortaya çıkması olanaksız. Tek istisna, kara deliğin uzay ufkunun çok, çok yakınlarında, her zaman için sicimlerin rahatlıkla hareket edebilecekleri kadar sıcak kalacak bir bölge. Uzay-zaman ne kadar soğursa, bu "serbest bölge"nin olay ufkuna o kadar yaklaşması gerekiyor. Geniş ölçekli uzay zaman, (kütleçekiminin etkisiyle) genel olarak çukurlardan ve düz alanlardan oluşan karmaşık bir yapıda. Oysa olay ufkunun hemen dibindeki bu küçük bölge çok daha düzgün ve simetrik. "Daha basit bir coğrafya, içinde geçerli olan sicim kuramını da basitleştiriyor. Günün sonunda vardığımız noktada, başladığımızdan (genel görelilik) çok daha basit bir kuramdı: Kütleçekimin kuantum kuramı".

Yalnız ilk bakışta bir sorun var gibi görünüyor. Bilinen kuantum alan kuramları "üniter", yani bilginin korunması esasına dayalı kuramlar. Oysa kara deliklerin içine giren hiçbir şey dışarıya çıkamayacağından ve karadelikler de mutlaka yok olacağından içeri düşen "bilgi" de yok olacak. Oysa fiziğin kutsal yasalarından biri (maddenin içinde gizli bulunan) "bilgi"nin korunmasını öngörür.

Maldacena Varsayımı bu çıkmazdan, tüm kara delikleri (buharlaştıran) Hawking Işınımı sayesinde kurtuluyor. Önce de gördüğümüz gibi, kara deliğin olay ufkunun hemen sınırındaki güçlü kütleçekim alanları, boşluktan parçacık ve anti parçacık çiftleri yaratıyor. Bunlardan biri pozitif, ötekisine negatif enerji taşıyor. Negatif enerji taşıyan parçacık, olay ufku içine düşerek kara deliğin kütlelerinde azalmaya neden oluyor. Pozitif enerjili parçacıksa, deliğin içindeki olaylardan bağımsız bir ışınım olarak dışarıya akıyor.

Maldacena Varsayımı, kara delik içindeki koşulları açıklayan kuramla (sicim), kara deliğin sonundaki (dışındaki) koşulları açıklayan (üniter) kuantum alan kuramının aynı olmasını öngörüyordu. Hawking ışınımı da sınırdan ortaya çıktığından, normal olarak kara delikle birlikte yok olması gereken bilgi, ışınım nedeniyle dışarıya kaçıyor, yani buharlaşmaktan kurtuluyor.

Fizikçilerin en güçlü bilgisayarlarla çözümlenebildikleri sicim denklemleri, tabii ki en basit olanları. Yapay varsayımları, genellemeleriyle bunların, doğadaki gerçek kara deliklerin içindeki olağanüstü güçlü etkileşimleri açıklamaları zor. Bu durumda, anlaşılacak gerçeği tekillikten geçerken kendimiz öğrenebileceğiz. Ama en iyisi galiba kurt deliği biletimizi biraz erteleterek şimdilik olay ufkundan uzak durmak.

Raşit Gürdilek

- Kaynaklar
Blandford, R. ve N. Gehrels, "Revisiting the Black Hole", *Physics Today*, Haziran 1999
Lasota, J. P., "Unmasking Black Holes" *Scientific American*, Mayıs 1999
Matthews, R., "Black Hole Ate My Planet" *New Scientist*, 28 Ağustos 1999
Schilling, G., "Links Between Supernovae and Gamma Ray Bursts Strengthen" *Science*, 15 Ekim 1999
Taubes, G., "String Theorists Find a Rosetta Stone" *Science*, 23 Temmuz 1999
<http://www.inthecosmos.com/blackholes>
<http://phobos.caltech.edu/~jsb/pr-images.html>
"Black Holes Possibly Produced up to 50% of Energy Since Big Bang"
<http://www.nasa.gov>
"New Way to Weigh Black Holes Reportedly Found" <http://www.nasa.gov>