

Kütleçekim Dalgası Peşinde

Einstein'ın genel görelilik kuramı, çok önemli sınavlarından birine daha hazırlanıyor. Önümüzdeki aylarda iki garip tasarımı gözlemevinin devreye girmesi, bir üçüncüsünün de iki yıl içinde onlara katılmasıyla, araştırmacılar kuramın öngördüğü kütleçekim dalgalarını ilk kez doğrudan gözleme olanağına kavuşacaklar.



FİZİKÇİLER olsun, bilime meraklı okuyucular olsun, Einstein'ın, büyük ölçekli evreni başarıyla betimleyen ve kütleçekimin kavranmasında devrim yaratan kuramının şaşırtıcı önermelerine yabancı değiller. Gene de, artık günlük söylemimize girmiş olsa bile dört boyutlu evren, iç içe geçmiş uzay-zaman gibi kavramları, kütle çekimin etkisiyle elastik bir kumaş gibi bükülen, uzayan ya da sünen bir evren düşüncesini zihinlerde canlandırmak kolay değil. Sözkonusu olan, büyük kütleli cisimlerin yaydığı ve evrende hiçbir engelden etkilenmeksizin, havuza atılan bir taşın yol açtığı dalgalar gibi yayılan ve ışık hızında ilerleyen kütleçekim dalgaları olunca iş daha da güçleşiyor. Eh av biraz değişik olunca, doğal olarak araştırmacıların av araçları da öyle sıradan şeylere benzemiyor.

ABD'nin Pasifik kıyısındaki Washington Eyaleti'nde bir çöldeki garip yapı, birbirine dik olarak uzayıp giden kollarıyla bu kütleçekim dalgalarını yakalamaya çalışacak. Yapının bir benzeri de, kıtanın öbür tarafında, Atlantik kıyısında aynı işi yapacak. Yapılacak iş pek öyle kolay değil. Kütleçekimi sınırsız erimde olmasına karşın, dört temel doğa kuvveti içinde en zayıf olanı. Dolayısıyla gezegen, hatta sıradan yıldızlar gibi gök cisimlerinin ha-

reketleri sonucu yayımlanan kütleçekim dalgaları da son derece zayıf ve Dünyamızda algılanabilmeleri olanaksız. Bu nedenle, bize ulaşabileceğine inanılan kütleçekim dalgaları, çok daha yoğun gök cisimlerince gönderilmek zorunda. Bu durumda temel adaylar olarak çarpışan nötron yıldızları ve karadelikler ortaya çıkıyor. Bunların bile yayımlayacakları kütleçekim dalgalarının algılanabilmesi için hassas kulaklar gerekli. Tanınmayan bir av sözkonusu olduğundan, kendisini torbaya koyabilmek için de alışılmadık silahlar olmalı. Bu işe soyunanlara gelince, işin pek acemisi sayılmazlar. ABD'nin en prestijli üniversitelerinden California Teknoloji Enstitüsü (Caltech) ve Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) yakın bir işbirliği içinde bulunuyor. Sırtları da oldukça sağlam. ABD Ulusal Bilim Vakfı para musluklarını açmış.

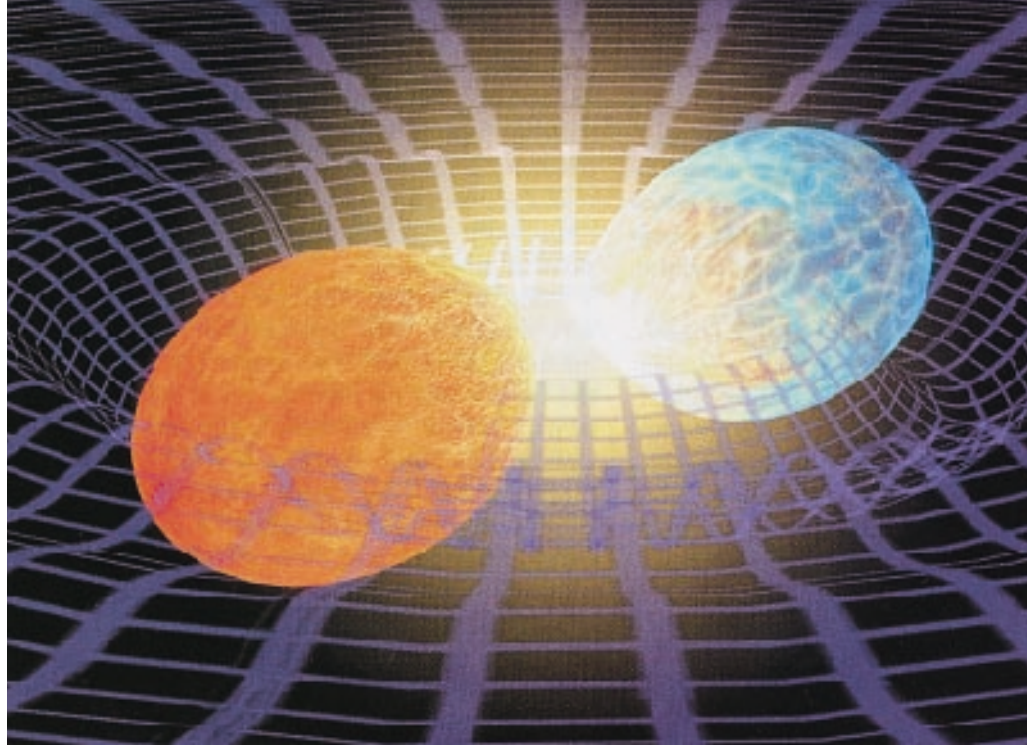
Sonuç, biri Washington eyaletindeki Hanford'da, ötekiyse Atlantik kıyısında, Louisiana eyaletindeki Livingston'da kurulan garip tasarımı yapılar. Bunlar LIGO (Lazer Girişimli Kütleçekim Dalgası Gözlemevi) projesinin temel birimleri. Gariplik, tabii ki yapıların biçimiyle sınırlı değil. Asıl sürprizler içeride! Bir kere gözlemevlerinin, alıştığımız türden, çelik iskeletlere oturtulmuş dev teleskopları yok. Aslında bunlara gerek de yok; çünkü

yapacakları iş gözlemek değil, "dinlemek". Bu, kütleçekim dalgalarının ses dalgaları olduğu anlamına gelmiyor. Ancak birçok astronomik sistemin bu dalgaları saniyede yüzlerce kez salınır biçimde yayımlamaları bekleniyor. Bir yükselticinin bu salınımı sese çevirmesi halinde de sinyalin duyulur hale gelebileceği düşünülüyor. Örneğin bir nötron yıldızının imzası bir zil sesini ya da bir müzik notasını andırırken, keskin bir şangırtı, küresel simetrisi biraz bozulmuş, uzamış dev bir yıldızın süpernova patlamasıyla noktalanmış sonunu haber veriyor olabilir. Gökbilimciler, Büyük Patlama'nın yankılarının da kısık bir fısıltı biçiminde ortaya çıkabileceğini düşünüyorlar.

Peki bu fısıltıları ya da çılgınlıkları algılayacak kulaklar nasıl? Beklenebileceği gibi oldukça büyük ve uzun. Hanford'daki gözlemevine üstten bakılınca birbirine dik açı yapacak biçimde çöle uzanan 4 metre çapında dev tüneller. Herbirinin uzunluğu da 4 km. Tüneler yalıtılarak birer büyük vakum odası haline getirilmiş. Bunların her iki ucunda, "dünyanın en iyi cilalanmış" aynalarından birer tane bulunuyor. Binadaki bir lazer kaynağından çıkan kızılötesi ışık, önce tünelin bir ucunda asılı duran yarıgeçirgen bir aynadan geçerek tünelin sonunda asılı bir başka aynadan geri yansıyor, daha sonra ilk aynaya çarparak tekrar yansıyor ve

böylece sürekli olarak tünel içinde ileri geri gidip geliyor. Her seferinde ilk aynaya çarpan ışığın çok küçük bölümü düzenekten geçerek bina içindeki bir dedektöre ulaşıyor. O halde neden ikinci bir tünele gerek duyulmuş? Nedeni, ışın püf noktası!. Bir "L" oluşturan tünellerin her iki ucundaki aynaların açısı, bunlardan geçen ışığın bir girişim oluşturmasını sağlayacak biçimde düzenlenmiş. Ama ışık demetlerinin yaptığı girişim "yıkıcı" bir girişim; yani bir demetten gelen ışık dalgasındaki tepe noktaları, öteki dalgadaki çukurlarla üst üste geliyor. Böyle olunca da tepe noktaları ve çukurlar birbirlerini ortadan kaldırıyorlar, kara bir leke oluyor. Bir ışık algılayıcı, bu karanlık bölgeyi sürekli izliyor ve tünellerdeki aynalar küçük servomotorlarla sürekli ayarlanarak, Yerel dış etkenlerin bu girişimi bozmaları engelleniyor. İşte ancak bu "servo kilitleme" elde edildikten sonradır ki, kütleçekim dalgalarının aranması işlemine başlanabilecek. Hanford'daki tesisin yıl sonuna doğru hizmete girmesinin ardından Livingston'daki ikizi de birkaç ay içinde kendisini izleyecek. Üçüncü tesiste 2002 yılında gene Hanford'da devreye girecek, böylelikle üçlü bir dizge oluşturulmasıyla LIGO'nun bilimsel araştırmaları başlayacak.

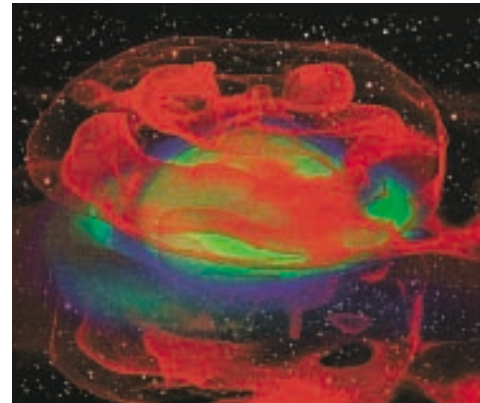
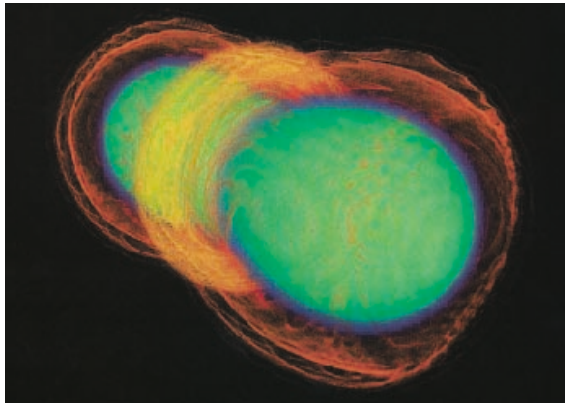
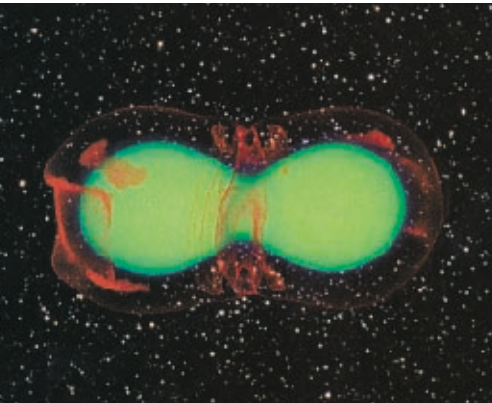
Servo kilitlenme sağlandıktan sonra Dünyamızdan geçecek bir kütleçekim dalgasının, aynaların düzeninde çok küçük değişikliklere yol açarak girişimin geçici bir süre bozulmasına ve kara leke üzerinde ışık belirmesine yol açacağı düşünülüyor. İşte Einstein'ın kuramının doğruluğu için yeni kanıt, bu küçük parlama olacak.

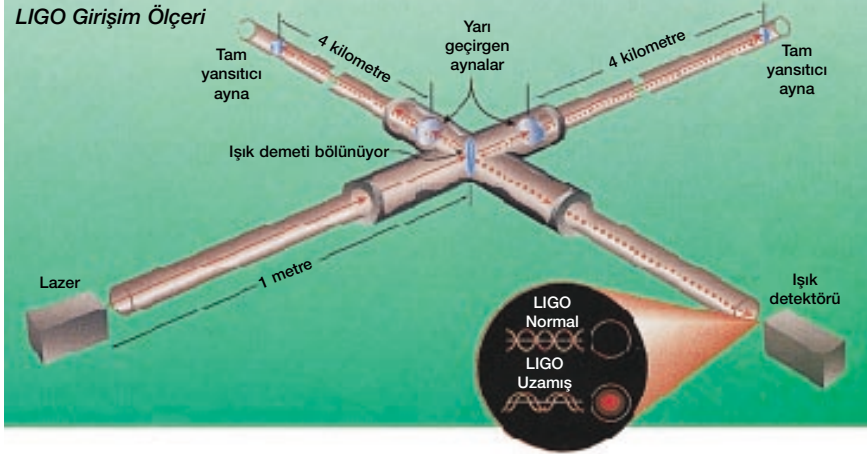


Tabii akla hemen bir soru geliyor: Neden bu iki tünel birbirine dik açıyla yerleştirilmiş? Bu garipliğin yanıtı, genel göreliliğin garipliklerinde gizli. Her yüklü parçacık, hızlandırıldığında elektromanyetik ışınım yayar. Bir radyo vericisinin ya da tıpta kullanılan X-ışın tabancalarının temelinde yatan ilke bu. Bu ilkeyi kütleçekim alanına da taşıyarak, hareket halindeki bir kütle- nin de kütleçekim dalgaları yayacağı sonucunu çıkartabiliriz. Ama burada, kütleyle elektrik yükü arasındaki çok önemli bir fark unutulmamalı: Elektrik yükleri, pozitif ya da negatif olabilirken, "negatif kütle" diye bir kavram bilinmiyor. Böyle olunca da kütleçekim dalgaları, elektromanyetik dalgaların özelliği olan çift kutuplu (dipol) yayılma davranışını sergilemiyorlar. Dipol yayılımda elektrik alanı, tek bir düzey üzerinde salınım yapıyor. Buna karşılık kütleçekim dalgalarının kura- m gereği, alışık olmadığımız "dört

kutuplu" bir yayılma örüntüsüne sahip olmaları gerekiyor. Bir cismin içinden geçerken bir kütleçekim dalgası, o cismin boyutlarını bir yönde uzatırken, ilk yöne dik açıdaki öteki yönde kısaltır. Uzama ve kısaltmalar da dalganın ilerleme yönüne dik bir düzlemde meydana gelir. Böyle olunca da kütleçekim dalgalarını yakalayacak bir "antenin" bir telsiz telefonun üzerindeki dipol antene benzemeyeceği açık. "Kütleçekim anteni" nin, uzayın iki farklı yönündeki "boyutların" farkını algılayabilmesi gerekiyor. Bu nedenle, kütleçekim dalgalarının "dört kutuplu" imzasını saptayabilmek için birbirine dik açıda iki ayrı "cetvel" gerekli. LIGO'nun gözlemlerinin L-biçimli mimarisinin nedeni de işte bu. Bir LIGO istasyonu, her iki tünel boyunca bir lazer ışığı göndererek, bir tanesi kısalırken ötekinin uzadığını, hemen ardından da (ortamdan geçen bir kütleçekim dalgasının yol açması gerektiği

Genel görelilik denklemlerine göre uzamış biçimli cisimler, daha etkin bir biçimde kütleçekim dalgaları yayıyorlar. İkili nötron yıldız sistemlerinde yörünge bozunmasının ileri aşamalarında, yıldızlar birleşme öncesi birbirlerinden çevresinde ses hızına yakın hızlarda dolanıyorlar ve birleşmenin başlangıcındaki uzamış geometri yoğun kütleçekim dalgalarını sistemden yayımına neden oluyor. Modeller, birleşen nötron yıldızlarının çöküp karadelik haline gelmeden önce 10 saniye kadar kararlı durumda kalabildiğini gösteriyor. Resimlerde mavi renkli bölgeler, nötron maddesinin yıldız yüzeyi yakınlarındaki yoğunluğunu gösteriyor. Kırmızı, turuncu ve sarı bölgeler de çarpışma sonunda sistemden fırlayan gazın sıcaklığını gösteriyor (Kırmızı en soğuk, sarı en sıcak).





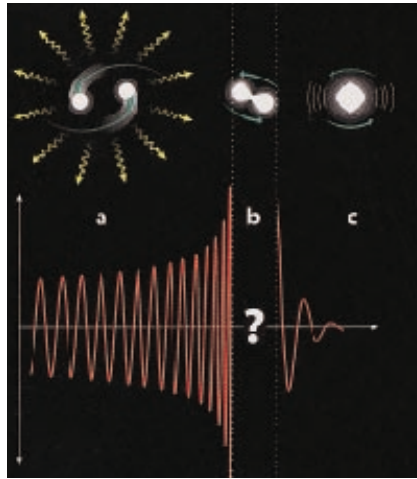
Bir lazerin ışığı, birbirine 90° açılı iki demete ayrılıyor. Demetlerden her biri yarıgeçirgen bir aynadan geçtikten sonra 4 km uzunluğunda bir vakum tüpüne giriyor ve sonundaki aynaya çarpıp, ilk aynaya geri dönüyor. Burada demetin çok küçük bir bölümü bir detektöre giriyor. Büyük kısmı tüp içinde ileri geri yansıyor ve böylece girişimölçerin iki kolunun uzunluğundaki değişimleri ölçmek mümkün oluyor. Kütleçekim dalgalarının tünellerin uzunluğunda böyle değişiklikler yapması bekleniyor.

gibi) bunun tersinin gerçekleştiğini belirleyebilir. LIGO'nun çapraz "antennelerinin" bir avantajı da "genişbant" araçları olmaları. Bunun anlamı, çeşitli dalga boylarındaki çalkantıları aynı anda algılayabilme yeteneği.

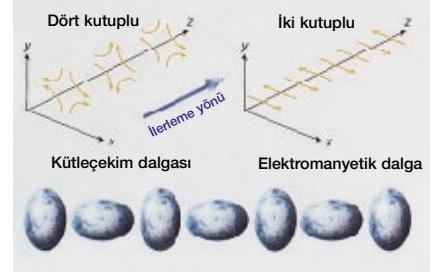
Kağıt üstündeki tüm yeteneklerine karşın, LIGO gözlemlerindeki düzenekler için asıl sınav, aynaları arasındaki mesafede son derece küçük değişimleri kaydederken, Dünya kaynaklı pek çok etkinin yarattığı muazzam paraziti perdeleme yeteneği olacak. Aslında tüm projenin başarısı bu yeteneğe bağlı. Çünkü herhangi bir anda birleşerek kütleçekim dalgaları yayımına neden olacak ikili nötron yıldızı sistemleri, Dünya'ya yüz milyonlarca ışık yılı uzaklıkta olabilir. Bu uzaklıktan gelen bir kütleçekim dalgasının da Dünyamız yakınlarında uzayın düzgünlüğünü bir milyar kere trilyonda bir ölçeğinde dalgalandırması beklenebilir. Bunun anlamı, LIGO gözlemlerinin çapraz tünellerinin uçlarındaki aynaların birbirlerine göre konumlarının, ancak metrenin milyar kere milyarda biri ölçeğinde değişmesi. Bu mesafeyse, bir atom çekirdeğinin çapından 1000 kez daha küçük. Ne var ki, dalganın cephesi ayna yüzeyinde hemen her atoma çarpıp yansıtacağından ve ayna yüzeyinde de trilyon kere trilyonlarca atom bulunduğundan, aynanın yönünde atom ölçeğinin altındaki değişimleri bile saptamak olası. Ama gene de aynaların Dünya kaynaklı titreşimlerden ve akustik etkilerden yalıtılması gerekiyor. Kütleçekim dalgalarının saptan-

masını engelleyebilecek başka bir sorun da aynalardaki ve bunları boşlukta tutan teller üzerindeki atomların rastgele hareketleri. Hatta tünellerde gidip gelen lazer ışığının da tek tek fotonlardan oluşması bile, düzeneğin optik dengesini etkiliyor.

Proje yöneticilerini, birbirlerinden 3000 kilometre uzakta iki gözlemevi kurmaya yönelten etmen, Dünya kaynaklı etkileri ayıklamak gerekliliği. Her iki LIGO gözlemevinin de çalışmaya başlamasıyla araştırmacılar, ancak her ikisinde de gözlenen "olay"ları



İkili nötron yıldızları (ya da karadeliçler) gibi yoğun cisimlerin birleşmelerinin üç aşaması, alt sıradaki dalganın biçimi tarafından eleveriliyor. a) Yoğun cisimler birbirlerine yaklaştıkça, yörünge periyodu saniyenin %1'nin altına iniyor ve yaklaşmayla ortaya çıkan kütleçekim dalgalarının büyüklüğü ve frekansı aniden yükseliyor. b) Birleşme anının modeli tam olarak çıkartılmadığından, dalganın bu aşamadaki biçimi pek bilinmiyor. c) Birleşmenin ardından, yoğun çalkantı geçirmiş uzay-zaman bölgesi, üzerine vurulan bir çanın çınlamasına benzer bir süreçle rahatlıyor.



Üstte: Kütleçekim dalgaları, uzayı dört kutuplu bir biçimde, aynı anda iki eksen üzerinde uzatıp kısaltıyor. (Buna karşılık, örneğin bir radyo vericisine yayımlanan iki kutuplu elektromanyetik dalgalar tek bir düzlem üzerinde ters yönlü olarak dizilmiş ardışık elektrik alanlarından oluşuyor). Alttı: Bir an için kendinizi Dünya'ya çarpan kütleçekim dalgalarının kaynağında duruyormuş gibi düşünün. Bulduğunuz noktadan, kütleçekim dalgalarının çarpıtacağı Dünyamız, resimlerdeki gibi görünecektir. Temsili resimdeki çarpılmalar, gerçekte olabileceğın binlerce kat abartılmış biçimi.

inceleyip, yerel kaynaklı öteki girişim değişmelerini görmezden gelebilecekler. Hanford'daki araştırmacılar yerel etkilerce aldatılmamak için ek bir önleme daha başvuruyorlar. Aynı gözleminde ikinci bir girişimölçer düzeneği kurulacak. Ancak bunun çapraz kolları iki kilometre uzunlukta olacak. Nedeni, bir kütleçekim dalgasının, yolu üzerindeki tüm "cetvelleri" sabit bir oranda uzatıp kısaltması. Böyle olunca da dalganın geçtiği 2 km uzunluğundaki girişimölçerdeki uyum bozulması, 4 km uzunluğundakinin tam yarısı kadar olacak. Bu oranı belirleyen gözlemciler, ancak bu durumda bir kütleçekim dalgasından haberdar olabilecekler.

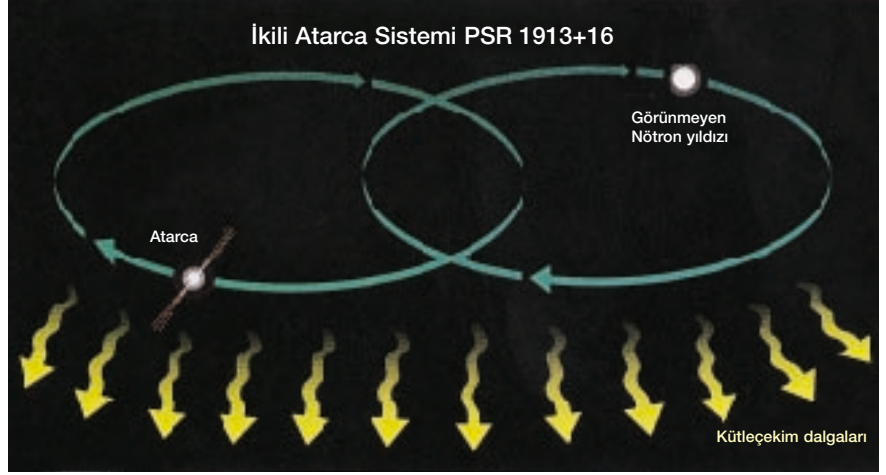
Ligo araştırmacılarının umutlarını bağladıkları olaylar, iki nötron yıldızının, bir nötron yıldızı ve bir karadeliğin, ya da iki karadeliğin oluşturduğu sistemlerin bozunması ve son derece ağır ve yoğun bu kütlelerin birleşmesi. Daha önce görüldüğü gibi ancak bu uç yoğunluk ve kütledeki cisimler, Dünyamızdan belirlenebilecek güçte kütleçekim dalgaları yayımlayabiliyorlar. Böyle cisimler tek başlarına bile görece ender görülüyor. Bunların ikili sistemler oluşturmaları ve birleşmeleri daha da ender olaylar. O halde neden ille de bunlar gerekli? Nedeni, Einstein'ın hesaplarına göre kütleçekim dalgalarının, ancak iç hareketleri küresel simetriden yoksun sistemlerce yayımlanabilmesi. Dolayısıyla bir yıldız, mükemmel bir küresel simetriyi bozan "pürüzlere" sahip olmadıkça, ne kadar hızlı dönerse dönsün, kütleçekim dalgaları yayımlayamaz. Gü-

neş'imize ve öteki benzerlerine bakınca bunların pürüzsüz olmadıklarını, üzerlerinde büyük parlamalar, plazma fişkırmaları gibi büyük pürüzler bulunduğunu görüyoruz. Ancak bunlar bize ne kadar büyük görünürse görünsün, sonuçta bu pürüzlerin kütlesi yıldızlarının kütlesine göre çok küçük olduğundan normal yıldızların uzaktan farkedilebilir bir kütleçekim dalgası yaymaları beklenemez.

Dev kütleli yıldızların çöken merkezlerinin oluşturduğu ve Güneş külesinden daha büyük bir kütleli 10-20 km çaplı bir küreciğe sıkışmış olduğu nötron yıldızlarıysa, neredeyse mükemmel küreler ve bunların dönüş hareketleri de olağanüstü düzgün. Dolayısıyla tek başlarına çok uzaklardan farkedilebilecek kütleçekim dalgası oluşturmak için pek uygun kaynaklar değiller. Ama bunlar ikili bir sistem oluşturduklarında, yoğun kütleleri ve küçük boyutlarının sağladığı muazzam kütleçekimi bunların yörüngesel enerjilerini etkiliyor ve iki nötron yıldızı giderek birbirlerine yaklaşıyorlar. Ortak kütleçekim merkezi etrafında artan hızlarla dolanan –birleşme öncesinde bu hız ışık hızına yaklaşıyor– nötron yıldızları, tümüyle birleşip karadelik oluşturmadan önce çok kısa süreyle su kabağı gibi uzamış bir görünüm alıyorlar ve bu sırada güçlü kütleçekim dalgaları yayımlıyorlar. Birleşen karadeliklerin de, çok daha güçlü olmak üzere aynı süreci yaşadıkları sanılıyor.

Görüldüğü gibi bu türden olaylar, sıkça rastlanılardan değil. Bu nedenle araştırmacılar bir yandan LIGO gibi araçlarla Kütleçekim dalgalarını saptamaya çalışırken, bu dalgaları ürettiği düşünülen dinamiği daha iyi kavramak için modeller geliştirmeye çalışıyorlar. Ama, çok güçlü süperbilgisayarlarla bile nötron yıldızı birleşmelerinin dinamiği ancak çok kaba genellemelerle belirlenebiliyor. Güçlük, gene

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 bir araya gelir. Bir kara delikte ise dışa doğru bir basınç yoktur; kütleçekimi engellenemez ve yıldız, olay ufku diye bilinen bir daha geri çıkılamayacak bir yüzeyin merkezinde matematiksel bir noktaya haline gelir.



Kütleçekim dalgalarının varlığına ilişkin inandırıcı ama dolaylı bir kanıt PSR 1913+16 adlı ikili nötron yıldız sisteminden geldi. Sistem üzerinde yapılan gözlemler, yıldızların düzenli olarak birbirlerine yaklaştıklarını ortaya koydu. Araştırmacılar, bunun yıldızlarca yayımlanan kütleçekim dalgalarının, iki yıldızın ortak çekim merkezi çevresindeki yörünge hareketlerini etkilemesine bağladılar. Keşif, gökbilimciler Joseph Taylor, Russell Hulse'a 1974 yılında Nobel Ödülü kazandırdı. Nötron yıldızlarının birleşip bir karadelik oluşturmalarını gözlemek için, ne yazık ki 200 milyon yıl beklememiz gerekecek.

genel görelilik kuramının öngörülerinden kaynaklanıyor. Hepimizin bildiği gibi genel göreliliğin temel önermelerinden biri, kütleçekiminin, uzay-zamanın eğriliğinin bir sonucu olması. Einstein'ın kuramına göre kütle uzay-zaman dokusunu büküyor ve bu bükülme de kütlelerin hareketlerine yön veriyor. Genel göreliliğin daha az yaygınlıkta bilinen bir çıkarımı da "sürüklenme etkisi". Büyük kütleli bir cismin dönerken, çevresindeki uzay zamanı da etrafında sürüklenmesi. Bu etki, iki-

li nötron yıldızlarının birleşmesi öncesinde olay yerini fırtınalı bir denizdeki anafora benzetiyor. Birleşmenin dinamiğini belirlemek, bu nedenle bir hayli güç. Genel göreliliğin son derece karmaşık denklemlerini, böyle hareketli bir ortama uygulamanın zorluğu karşısında, Washington Üniversitesi fizikçilerinden Wai-mo Suen, uluslararası bir ekiple çalışarak özel bir algoritma geliştirmiş. Üstelik Suen ve ekibi, teknoloji harikası yeni paralel bilgisayarlar kullanıyorlar. Bunların 500 kadar silikon "beyni" aynı anda işlem yapıyor. Gene de sorun tümüyle çözülmüş değil. Suen, "Bir nötron yıldızını uzayda iletmeye çalışırken yeterince dikkat göstermezseniz koordinat çizgileri spagetti haline geliyor" diyor.

Gene de LIGO araştırmacıları umutlular. Onlara göre bu yeni "antenneler" radyoastronominin yaptığı gibi evrene açılan penceremizi olağanüstü genişletebilir. "Öğrenmek istediklerimizin yanıtlarını duymak istiyorsak, boşluğa sürekli kulak vermek zorundayız" diyorlar. "Bugün kütleçekim dalgalarının şarkısı, karanlık bir konser salonunda dinlenmeyi bekliyor; Ama dinleyiciler salonda toplanmaya başladı. Yarın bize kozmik bir senfoninin notalarıyla çınlayan yeni bir gökyüzü vaat ediyor."

Derleyen: Raşit Gürdilek

Kaynaklar
Sanders, G. H., "LIGO: An Antenna Tuned to the Songs of Gravity, Sky&Telescope, Ekim 2000
Frank, A., "Teaching Einstein to Dance: The Dynamic World of General Relativity", Sky&Telescope, Ekim 2000
Kennefick, D., "Gravitational Waves: A Prehistory", Sky&Telescope, Ekim 2000

