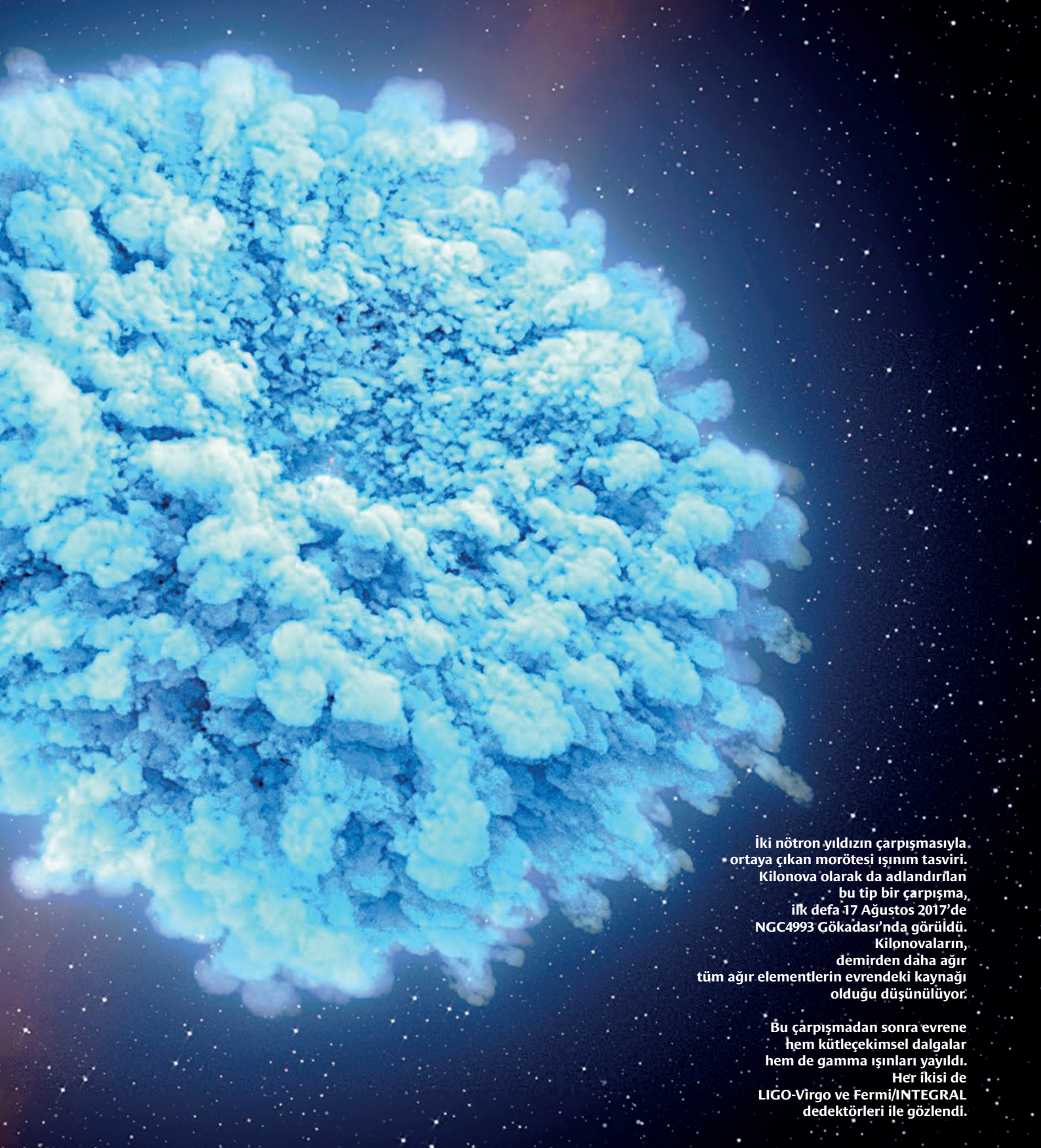


# İnsanlık İlk Kez Bir Kütleçekimsel Dalgayı “Gördü”

Özgür Can Özüdođru [ ODTÜ Fizik Bölümü Lisans Öğrencisi

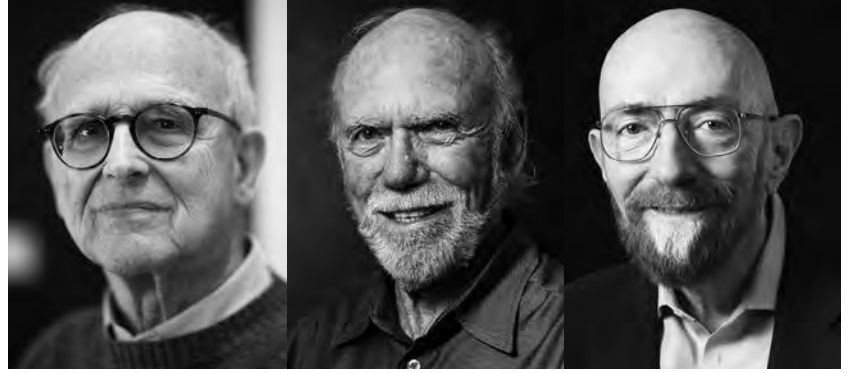
17 Ağustos 2017’de ABD’deki LIGO ve İtalya’daki Virgo dedektörleri kütleçekimsel dalgalar tespit etti.

Kütleçekimsel dalgalardan yaklaşık 2 saniye sonra NASA’nın Fermi Gamma Işını Uzay Teleskobu aynı doğrultuda kısa süreli gamma ışını patlamaları gözlemledi.



İki nötron yıldızın çarpışmasıyla ortaya çıkan morötesi ışınım tasviri. Kilonova olarak da adlandırılan bu tip bir çarpışma, ilk defa 17 Ağustos 2017'de NGC4993 Gökadası'nda görüldü. Kilonovaların, demirden daha ağır tüm ağır elementlerin evrendeki kaynağı olduğu düşünülüyor.

Bu çarpışmadan sonra evrene hem kütleçekimsel dalgalar hem de gamma ışınları yayıldı. Her ikisi de LIGO-Virgo ve Fermi/INTEGRAL dedektörleri ile gözlemlendi.

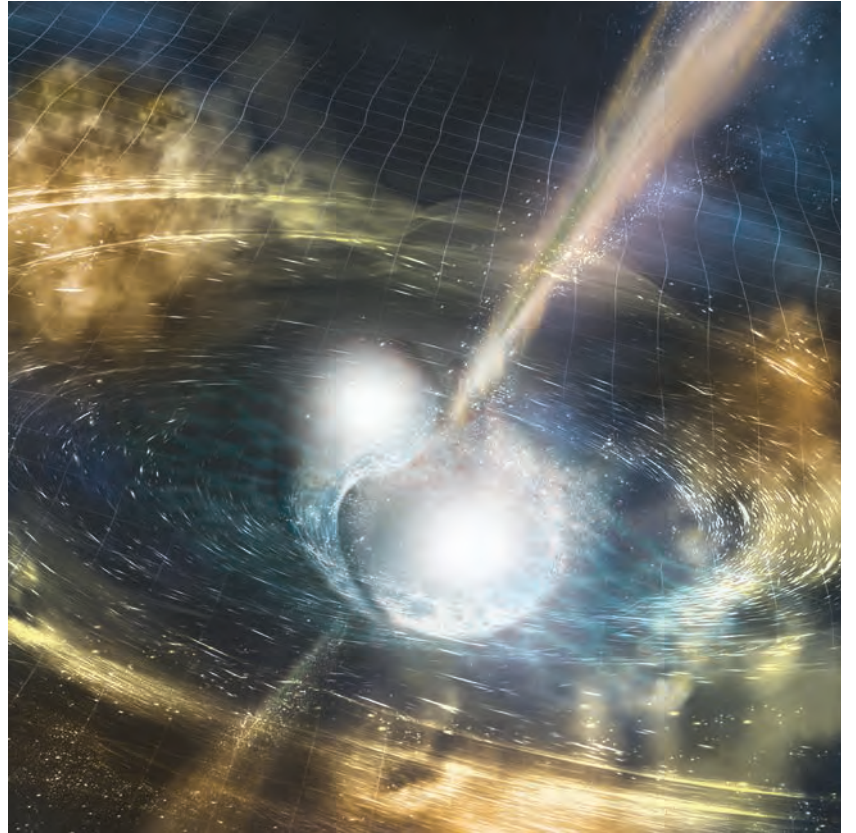


Rainer Weiss

Barry C. Barish

Kip S. Thorne

**T**akvimler 14 Eylül 2015 tarihini gösteriyordu. Albert Einstein'ın kuramının son sınavı da geçip geçmemesi, Los Angeles'taki (ABD) devasa bir interferometreye (kütleçekimsel dalga dedektörü) bağlıydı âdeta. Büyük ekranlara odaklanan fizikçiler, her zamankinden farklı bir hareketlenme gördü. Algılayıcının çizdiği grafiklerde sanki bir dalgalanma vardı. Kozmik okyanusun çok uzaklarında savrulan iki kara delik çarpışmış ve kısa süreli dalgalanmalar oluşturmuşlardı. Bu ufak dalgalanmalar, fizik kitaplarını yeniden yazdıracak kadar büyük bir etki yaratmıştı. Kütleçekimsel dalgalar ölçülmüş, Einstein hem haklı çıkmış, hem de yanılmıştı. Bu başarılı çalışma, bu yıl Nobel Ödülü'nü de beraberinde getirdi. Fizikçi Kip Thorne, Rainer Weiss ve Barry Barish kütleçekimsel dalga gözlemlerini olanaklı kılan LIGO (*The Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*, yani Lazer İnterferometresi Kütleçekimsel Dalga Gözlemevi) adına bu yılki Nobel Fizik Ödülü'ne layık görüldü.



#### **Şiddetli çarpışma sonucu birleşen iki nötron yıldızı.**

Bu resimde dalgalanan uzayzaman örgüsü, çarpışmadan dışarı kaçan kütleçekimsel dalgalar olduğunu gösteriyor. Cismin alt ve üst kısımlarından fırlayan ışınlar da kütleçekimsel dalganın yayılmasından yalnızca saniyeler sonra ortaya çıkan gamma ışını patlamalarını gösteriyor. Bir girdap gibi dönen bulutlar, yıldızların birbirine geçmesiyle ortaya çıkan madde bulutunu tasvir ediyor. Bu bulutlar görünür ışık da dahil olmak üzere ışığın diğer dalga boylarında da ışıltıyor.

Görüntü kaynağı: NSF/LIGO/Sonoma Devlet Üniversitesi/A. Simonet

# GW170817

## Nötron Yıldız Çifti Birleşmesi

**LIGO / Virgo uzayzaman dalgalanması ve ilişkili elektromanyetik olaylar 70'in üzerinde gözlemevi tarafından gözlemlendi.**



### Uzayzaman dalgalanması sinyali

Her biri bir şehir büyüklüğünde fakat en az Güneş kütlelerinde iki nötron yıldızı birbirleriyle çarpıştı.



### 15:41:04 TSİ (Türkiye Saati ile)

Bir çift nötron yıldızının birleşmesi sonucu oluşan uzayzaman dalgalanması tespit edildi.



GW170817 ilk kez uzayzaman dalgalanması sayesinde evrenin genişleme hızını ölçmemizi sağladı.



Nötron yıldızlarının birleşmesi sonucu oluşan uzayzaman dalgalanmasının belirlenmesi bu sıra dışı cisimlerin yapısı hakkında daha fazla bilgiye ulaşmamızı sağlar.



Bu olay nötron yıldızı çarpışmalarının kısa gamma ışın patlamalarına neden olduğunu doğrular.



Bu kilonova olayının gözlenmesi evrende bulunan ağır elementlerin (örneğin altın) çoğunun oluşumundan nötron yıldızı birleşmelerinin sorumlu olabileceğini gösterdi.



Hem elektromanyetik dalgaların hem de uzayzaman dalgalarının keşfedilmesi uzayzaman dalgalarının da ışık hızında yayıldığını gösteren önemli bir kanıttır.

### Gamma ışın patlaması

Kısa gamma ışın patlaması birleşmeden hemen sonra oluşan yoğun bir gamma ışın radyasyonudur.

### Kilonova

Bozunmaya uğrayan nötron bakımından zengin bir cisim, ağır elementler (örneğin altın ve platin) üreten parlak bir kilonova yaratır.

### Radyo ışıması kalıntısı

Maddeler birleşme bölgesinden uzaklaşırken yıldızlar arası ortamda bir şok dalgası oluşur. Bu yıllarca sürebilecek bir yayılma meydana getirir.



### Uzaklık

130 milyon ışık yılı



### Keşfedildi

17 Ağustos 2017



### Tip

Nötron yıldız birleşmesi

### +2 saniye

Bir gamma ışın patlaması belirlendi.

### +10 saat 52 dakika

Suyılanı Takımyıldızı'ndaki NGC 4993 isimli bir gökadamada yeni ve parlak bir ışık kaynağı keşfedildi.

### +11 saat 36 dakika

Kızılötesi ışınım gözlemlendi.

### +15 saat

Parlak morötesi ışınım belirlendi.

### +9 gün

X-ışını yayılması belirlendi.

### +16 gün

Radyo ışınım belirlendi.

Ceviri: @astronomTurk  
Kaynak: Public LIGO DCC



#### Kütleçekimsel Dalga ve Elektromanyetik Gözlemleri Haritası

GW170817 adı verilen kütleçekimsel dalgayı tespit eden 70 ışık bazlı gözlemvini gösteren harita.

17 Ağustos'ta LIGO ve Virgo dedektörleri iki nötron yıldızının çarpışmasıyla ortaya çıkan kütleçekimsel dalgayı yakaladı.

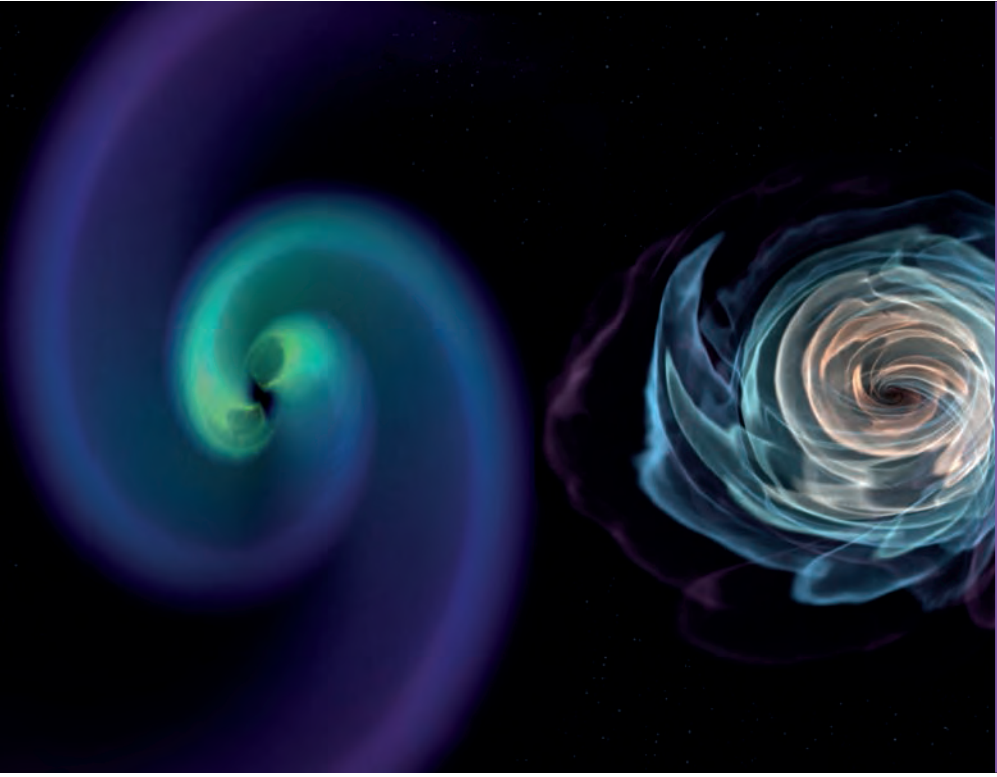
Dünya'nın her yanındaki ışık bazlı teleskoplar da bu çarpışmayı takip eden saatlerde, günlerde ve haftalarda çarpışmayı gözlemlemeyi başardı. Bu gözlemler, çarpışan nötron yıldızlarının uzaydaki yerinin ve ağır elementlerin (örneğin altın) izlerinin tespit edilmesine yardımcı oldu.

Bu ölçümün ardından yenileri geldi. Kaliforniya'daki (ABD) LIGO, halen aktif olarak çalışıyor ve her an yeni bir ölçüm daha yapabilir. Fakat şu ana kadar yapılan ölçümlerin hepsinin kaynağı kara deliklerdi. Bilindiği gibi "kara" delikler, insan gözü tarafından görülemez, çünkü ışığı tamamen emerler. Bir cisim görmemizi sağlayan şey fotonların o cisme çarpması, cismin atomları ile etkileşime girip kendine özgü bir miktarda yansınması ve frekans değerlerinin değişmesidir. Cisimden yansıyan ışık sayesinde cisim görülebilir. Işıktaki değişimler de bize cismin rengi hakkında bilgi verir. Kara deliğe gelen ışık ise yansıyacak bir

yüzey bulamaz ve hızla kara deliğin içine doğru "akmaya" başlar. Dışarı hiç ışık çıkmaz. Astrofiziğin bilgi kaynağı ışık, yani fotonlardır. Eğer bir cisimden bize foton ulaşmazsa o cisim astronomi bakımından "görmek" mümkün olmaz, fakat astrofiziksel hesaplamalar sayesinde kara deliklerin varolduğundan eminiz ve bize yolladıkları kütleçekimsel dalgaları da gözlemliyoruz. Ancak optik olarak bu cisimleri görmek mümkün değildir. Bu nedenle de günümüze kadar kütleçekimsel dalgaların kaynaklarını teleskoplarımızla belirleyemedik. Ta ki 17 Ağustos'a kadar.

17 Ağustos 2017'de kütleçekimsel dalga GW17082017 gözlemlendi.

Bu gözlem yine kütlesi çok büyük iki cismin çarpışması ile ortaya çıkmıştı. Fakat bu kez cisimler kara delikler değil nötron yıldızlarıydı. 16 Ekim'de basın açıklamasının yapılmasının hemen ardından yüksek enerjili ışığı ölçebilen Hubble Uzay Teleskobu'nun gözleri dalganın geldiği yöne çevrildi. Gerçekten de dalganın kaynağı olan NGC 4993 Gökadası oradaydı. 130 milyon ışık yılı uzaktaki NGC 4993 Gökadası'nda, kütleçekimsel dalga ölçümlerinden bağımsız olarak, tam da iki nötron yıldızı çarpışmasının olduğu zamanlarda GRB 170817A adında bir gamma ışını parlaması (*Gamma Ray Burst* yani GRB) tespit edilmişti.



### Çarpışarak kütleçekimsel dalgalar yaratan iki nötron yıldızına ev sahipliği yapan NGC 4993 Gökadası.

İlk kez William Herschel tarafından 1789 yılında gözlenen elips şeklindeki bu gökada bizden 130 milyon ışık yılı uzakta.

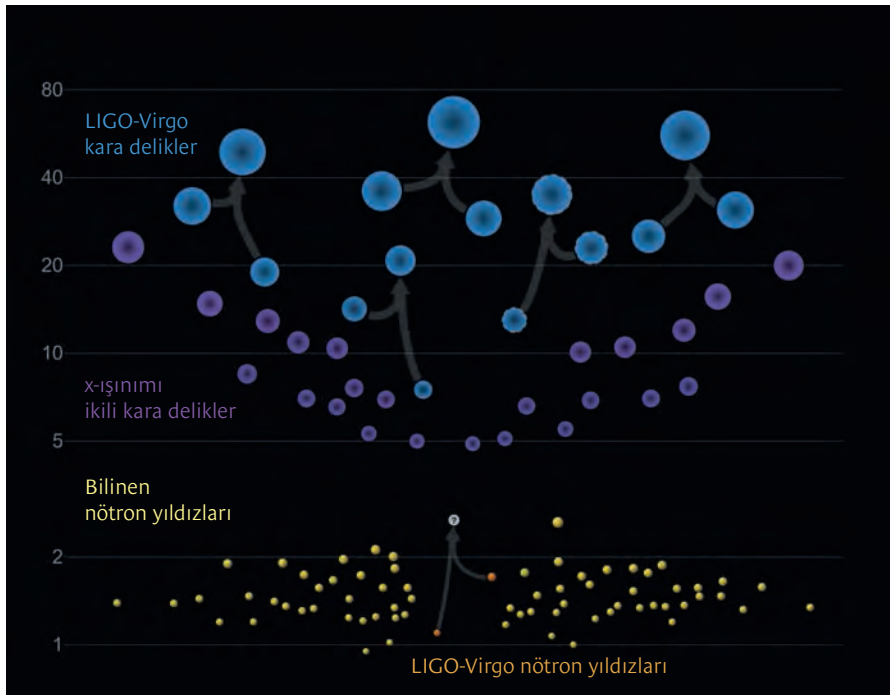
### Kütleçekimsel Dalga Maddeye Karşı

Solda çarpışan iki nötron yıldızının yörüngesindeki birleşme tasvir ediliyor. Sağ tarafta nötron yıldızlarında bulunan maddeler, sol tarafta uzayzamanın çarpışmaya yakın bölgelerde nasıl bozulduğu gösteriliyor.

(Karan Jani/Georgia Tech)

### Kara Delik ve Nötron Yıldızı Kütle Tablosu (aşağıdaki şekil)

Yıldız kalıntılarının kütleleri farklı şekillerde ölçülebilir. Bu grafik elektromanyetik ölçümler (mor) ve kütleçekimsel dalga gözlemleri sonucu belirlenen kara delik kütleleriyle (mavi), elektromanyetik gözlemler sonucu tespit edilen nötron yıldızı kütlelerini (sarı), son olarak da GW170817 kütleçekimsel dalgasına sebep olan nötron yıldızlarının kütlelerini (turuncu) gösteriyor. GW170817'nin kalıntıları (soru işareti simgesi) henüz sınıflandırılmış değil. (LIGO-Virgo/Frank Elavsky/Northwestern Üniversitesi)



Albert Einstein kütleçekimsel dalgaların varlığını ortaya koymuş fakat yazdığı son makalelerin birinde bu dalgaların çok ufak ve gözlemlenmelerinin de imkânsız olduğundan bahsetmişti. Kütleçekimsel dalgalar, kara deliklerin ya da nötron yıldızlarının birleşmesi gibi güçlü kozmik olaylar sonucunda uzayzamanın dokusunda ortaya çıkan dalgalanmalardır. Kuramsal olarak nötron yıldızlarının birleşmesi sonucu kütleçekimsel dalgalarla birlikte kısa süreli gamma ışınlarının da açığa çıkacağı ön görülüyordu.

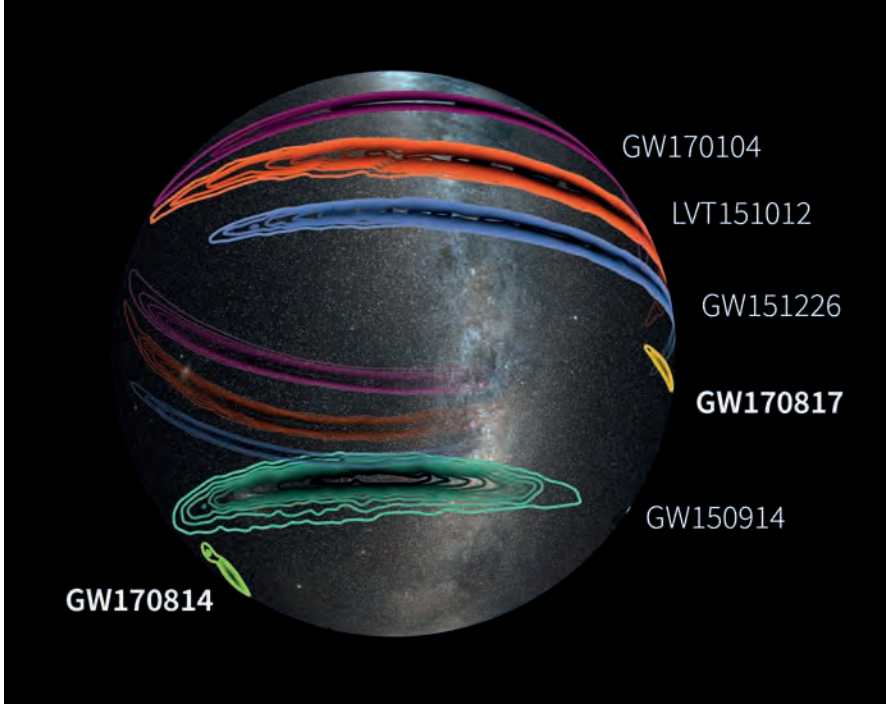
## Lazer İnterferometre Kütleçekimsel Dalga Gözlemevi (LIGO)

**LIGO** geniş çaplı bir fizik deneyinin adı olduğu gibi aynı zamanda kütleçekimsel dalgaları inceleyen bir gözlemevi. Bu gözleminde ve projede dünyanın farklı ülkelerinden 1000 bilim insanı görev alıyor ve kütleçekimsel dalga veri analizi yapıyor.

Günümüzde tüm kütleçekimsel dalga interferometrelerini barındıran bir ağ var. Bu ağda birden fazla detektör bulunması, yerel kaynaklar ve genel gürültü nedeniyle oluşan yapaysinyalleri ayırt edebilmek ve gerçek sinyalleri gökyüzünde konumlandırabilmek bakımından hayli önemli. ABD’de (Washington ve Luisiana eyaletleri) Lazer İnterferometre Kütleçekimsel Gözlemevi (LIGO)

bünyesinde çalışan 4 kilometre uzunluğunda iki Michelson interferometresi var. Almanya’da (Hannover) 600 metre uzunluğunda bir GEO600 interferometresi var. Japonya’daki Kamioka madeninde bir dağın içine inşa edilen KAGRA adlı interferometrenin yakında kullanıma gireceği öngörülüyor. Ayrıca LIGO işbirliği, LIGO-Hindistan projesi adı altında, Hindistan’da üçüncü bir 4 kilometrelik interferometre inşa etmeyi planlıyor. Pisa şehrinin Cascina kasabasındaki (İtalya) Virgo ise Avrupa Kütleçekimsel Gözlemevi (EGO) çatısı altında Fransız, İtalyan, Hollandalı, Polonyalı ve Macar bilim insanları tarafından tasarlanan ve kütleçekimsel dalgaları ölçmek için kullanılan bir başka dev lazer interferometresi.





### Gökyüzü Haritası

2015'ten beri LIGO (GW150914, LVT151012, GW151226, GW170104) ve Virgo (GW170814, GW170817) tarafından yakalanan kütleçekimsel dalgaların sinyallerinin gökyüzündeki konumları.

Virgo ağı Ağustos 2017'de aktif olarak çalışmaya başladıktan sonra bilim insanları kütleçekimsel dalga sinyallerini daha iyi konumlandırmayı başardı.

Arka planda optik dalga boyunda Samanyolu Gökadası var. (LIGO/Virgo/Leo Singer)

(Samanyolu görüntüsü: Axel Mellinger)

Fermi Gamma Işını Uzay Teleskobu tarafından tespit edilen gamma ışını gözlemi daha sonra Avrupa Uzay Ajansı'nın (ESA) Integral adlı teleskobu tarafından doğrulandı. Bu gözlemden sonra bilim insanları kütleçekimsel dalgaların ve kısa süreli gamma ışını patlamasının kaynağının bulunduğu noktayı, aralarında Hubble Uzay Teleskobu'nun da olduğu farklı teleskoplarla gözlemlemeye devam etti. Bu süreçte gamma ışınlarından X-ışınlarına, görünür dalga boyundaki ışılardan radyo dalga boyundaki ışınlara kadar farklı dalga boylarında elektromanyetik ışınım tespit edildi.

Hubble tarafından elde edilen görüntülerde NGC 4993 Gökadası'nda novadan daha parlak, süpernovadan daha sönük kilonova olarak isimlendirilen yapı gözlemlendi. Kilonovaların iki nötron yıldızı ya da bir nötron

yıldızı ile bir kara delik birleştiğinde oluştuğu kuramsal olarak öngörülüyordu. Bu gözlemlerin, evrendeki atom numarası demirden daha büyük (örneğin gümüş, altın ve platin) ağır elementlerin nasıl oluştuğunun anlaşılmasında önemli bilgiler sağlayacağı düşünülüyor.

Araştırmaların sonunda *Physical Review Letters*, *Science*, *Nature*, *Nature Astronomy* ve *Astrophysical Journal Letters* isimli dergilerde otuzdan fazla makale yayımlandı.

Sonuçta teleskoplarla tespit edilen parlama sınıflandırıldı, isimlendirildi ve kaynağının iki nötron yıldızı olduğu anlaşıldı. LIGO ise bu çarpışma sırasında ortaya çıkan kütleçekimsel dalgaların ölçüldüğünü açıkladı. Böylece bilim tarihinde ilk defa optik olarak gözlemlenen bir görüntünün kütleçekimsel dalgasını elde edilmiş oldu. Şüphesiz bu son olmayacak. ■



### Kaynaklar

- <http://www.sciencemag.org/news/2017/10/merging-neutron-stars-generate-gravitational-waves-and-celestial-light-show>
- <https://www.nature.com/nature/journal/vaop/ncurrent/full/nature24153.html>
- <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-missions-catch-first-light-from-a-gravitational-wave-event>
- <http://www.spacetelescope.org/news/heic1717/>
- <https://www.ligo.caltech.edu/page/press-release-gw170817>
- <https://www.ligo.caltech.edu/news/ligo20171016>
- <https://www.youtube.com/watch?v=ZCvKXkjJKg>
- <https://www.youtube.com/watch?v=99xEUFP5U8g>
- [https://www.youtube.com/watch?v=x\\_Akn8fUBeQ](https://www.youtube.com/watch?v=x_Akn8fUBeQ)
- <https://www.youtube.com/watch?v=VMGdVMrqu0&feature=youtu.be>