

Mikronovadan Hipernovaya

Şiddetli Yıldız Patlamaları

Prof. Dr. Faruk Soyduvan [Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fizik Bölümü,
Astrofizik Anabilim Dalı & Astrofizik Gözlemevi

Yıldızlar, enerji üretemez duruma geldiklerinde ve kendi kütle çekimlerini taşıyamadıklarında patlar. Patlamalar, bazen yıldızın ölüm evresinde meydana gelirken bazen de hâlihazırda ölmüş çekirdeklerinde meydana gelir. Ölü yıldız çekirdeklerinin birbirleriyle çarpıştıkları anlarda da uzay-zamanı çalkalayacak kadar şiddetli etkileşmeler olur. Patlamaları anladıkça sadece yıldızların yaşamı hakkında değil, aynı zamanda evrendeki ağır ve değerli elementlerin kaynağı hakkında da bilgi sahibi oluruz. Bu yazıda “patlama astrofiziği” araştırma alanını yıldızlar ekseninde ele alacağız.



Bir süpernova kalıntısı olan
Yengeç Bulutsusu'nun X ışını, optik ve
kızılötesi verilerinin birleştirilmesiyle elde
edilen görüntüsü (NASA)

“Evren nasıl oluştu?” sorusuna cevap vermeye çalışan bilim insanlarının önemli bir bölümü “Büyük Patlama” kuramı üzerinde duruyor. Yaşadığımız evrenin patlama ile oluştuğu kuramı kabul edilip yola devam edildiğinde çok sayıda kozmik oluşumu, fiziksel süreci ve olayı açıklamak için kozmik patlamaları; hatta genellikle çok şiddetli ve enerjik patlamaları kanıt olarak kullanıyoruz. Evrendeki patlamalar “yıldız kaynaklı patlamalar” ve “diğer patlamalar” şeklinde iki bölümde düşünülebilir. Bu yazıda ağırlıklı olarak yıldız kaynaklı patlamalara değineceğiz. Yıldız kaynaklı patlamalar o kadar farklı fiziksel süreçlerle ortaya çıkabiliyor ki buna göre patlama sırasında açığa çıkan enerji miktarı büyük oranda değişebiliyor. Enerji çıkışları dikkate alınarak günümüz terminolojisinde bu patlamalar; mikronova, kilonova, süpernova ve hipernova gibi sınıflara ayrılıyor. Bu patlama türlerinin yanında, karşılaştırma yapmak ve daha anlaşılır olmak için nova ve gama ışın patlamalarını da yazımızda ele alacağız.

Yıldızların yaşamını “canlıların” yaşamına benzetme, evrenin temel yapı taşı olan bu cisimleri anlatmak için sıklıkla başvurulan analogilerden biridir. Enerji temelli bu anlatımda, $E=mc^2$ ile verilen madde – enerji dönüşümü sırasındaki termonükleer (füzyon) reaksiyonlarla yıldızlar kendileri, bağlı bulundukları gök ada ve hatta belirli ölçüde evren için sürdürülebilir beslenmeyi sağlar.

Bir yıldızın öne çıkan en temel özelliği enerji üretip yaymasıdır. Bunun yanında, yıldızları kararlı ve dengede olan sıcak plazma küreleri diye tanımlarız. Dengede olmak yıldız olmanın şartlarından biridir çünkü denge bozulursa yıldız tanımı tartışılır olur. Patlama ve hatta öncesi olaylar, yıldızların dengesinin bozulduğunu açıkça ortaya koyar. Bazı yıldızlar patlama sonrası dengeyi yakalayabilse de patlama ile yıldız olmaktan çıkmaları da mümkün.

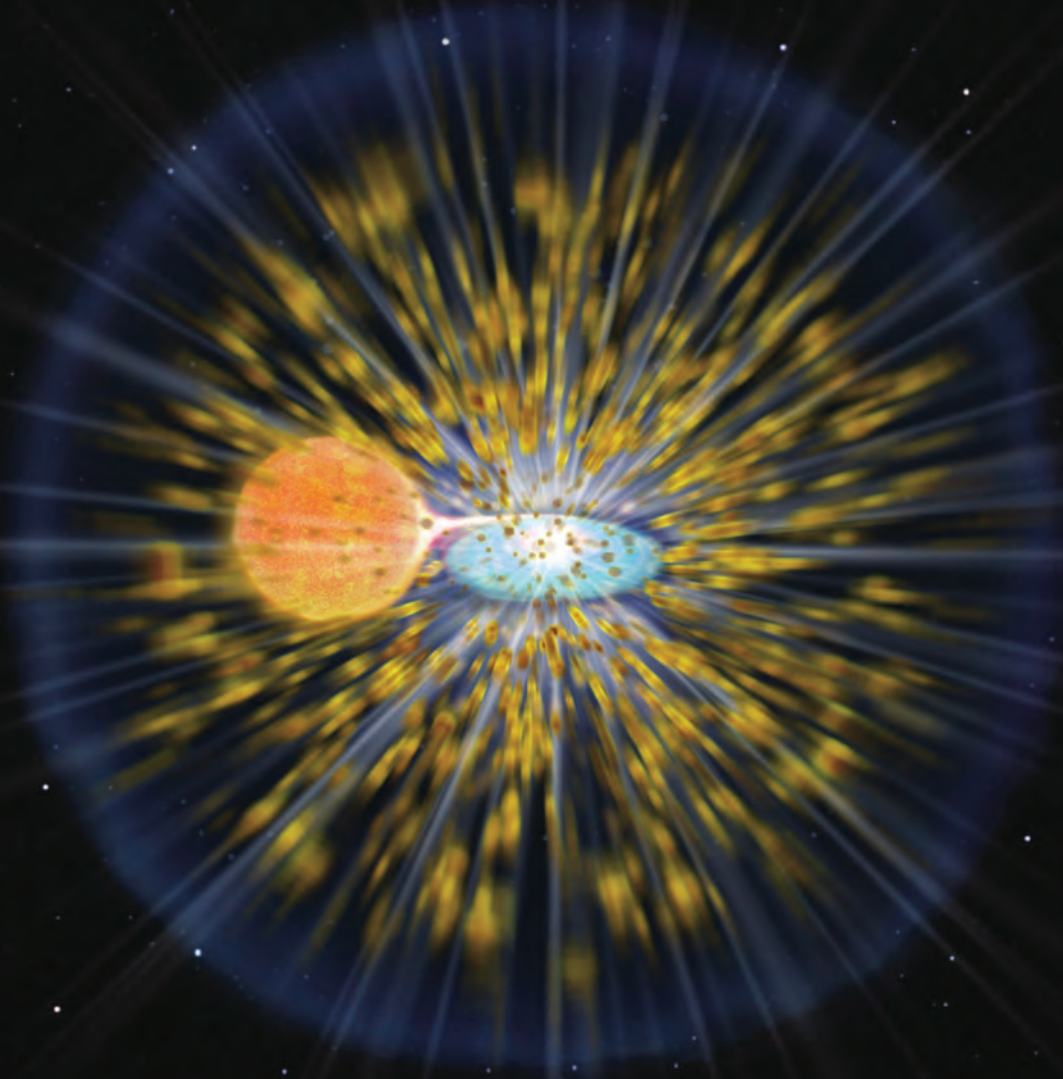
Yıldız patlamaları denilince gök bilimi meraklılarının neredeyse tamamının aklına süpernovalar (SN) gelir. Bunun için patlama isimlendirmelerinin birçoğunun içinde yer alan “nova” kelimesiyle nitelendirilen patlamalarla söze başlayalım.

Nova

Yıldızların “ölüm” anlarında veya enerji üretimleri sona erdiğinde patlama geçirdikleri bilinir. Peki, yıldızlar bunun dışında da şiddetli patlama gösterirler mi? 1572 yılında, Tycho Brahe, Kraliçe Takımyıldızı’nda daha önce gökyüzünde o konumda görülmeyen parlak bir nesne gözledi. Daha sonra SN 1572 olarak adlandırılan ve aslında SN olduğu anlaşılan bu

nesneye, “yeni yıldız” anlamına gelen “de nova stella” (kısaca nova) adı verildi. Sonraları bir tür yıldız patlaması olan novaların parlaklığı aniden artan ve birkaç hafta veya ay boyunca parlaklığı azalmaya devam eden geçici astronomik olaylar olduğu anlaşıldı.

Novalar, Güneş benzeri (orta ve küçük kütleli) yıldızların artıkları olan beyaz cücelerde gerçekleşen patlamalardır. Bu patlamalar, bir üyesi beyaz cüce olan çift yıldız sistemlerinde gözlenen ani parlaklık değişimleriyle kendini gösterir. Bir beyaz cüce ile bir kırmızı dev yıldızdan oluşan bir çift yıldız sisteminde, kırmızı devden beyaz cücenin yüzeyine yoğun hidrojen içerikli gaz akışı olur. Böylece beyaz cücenin yüzeyinde bir hidrojen örtü meydana gelir. Bu sırada sıcak beyaz cüce yüzeyindeki hidrojeni ısıtır ve sonunda ısınan hidrojen, füzyonu başlatacak şekilde tutuşur. Enerjideki ani artış, nükleer füzyon patlaması kaynaklı ani parlama olarak gözlenir. Patlamada nesnenin ışınım gücü 10.000 kattan daha fazla artabilir. Bu sırada yıldız aniden parlar, hatta bazı durumlarda sönük cisim gökyüzünde çıplak gözle görünür hâle gelir. Benzer şekilde gözlenen novalardan biri V1369 Cen’dir ve 14 Aralık



Bir klasik nova patlamasının gösterimi
(sanatçı çizimi)

2013 tarihinde çıplak gözle rahatlıkla görülebilecek şekilde 3,3 kadir parlaklığa ulaşmıştır. Şu andaki parlaklığı ise 13 kadirden sönüktür.

Gökyüzünde yaklaşık iki senede bir çıplak gözle nova patlaması (o bölgede daha önce görülmeyen parlak bir nesne

olarak) gözlenebilir. Klasik nova, tekrarlayan nova ve cüce nova gibi farklı türlerde novalar vardır. Bazılarında beyaz cücenin üzerine bileşen yıldızdan gaz beslemesi devam eder ve füzyon tekrar tekrar ateşlenir, böylece patlamalar sürekli devam eder. Beyaz cücenin ateş alarak parlaması olarak adlandıracağımız

ve beyaz cücenin dağılmadan kaldığı bu “nova” patlamalarını, SN patlamaları ile karıştırmamak gerek.

Anahtar kelimemiz nova artık daha açık olduğuna göre, yıldız kaynaklı patlamaları çıkış enerjilerine dayanarak küçükten büyüğe doğru inceleyelim.

Mikronova

Bu yıl gök bilimciler yıldız kaynaklı yeni bir patlama türü keşfettiler. ESO (European Southern Observatory: Avrupa Güney Gözlemevi) VLT (Very Large Telescopes) teleskoplarının verilerini kullanan bilim insanları, beyaz cücelerin yüzeylerinde gerçekleşen patlamalar tespit ettiler. Ancak bu patlamalarda ortaya çıkan enerji miktarı nova patlamalarındakinden düşük olduğu için patlamaya “mikronova” adını verdiler.

Mikronovalardaki patlamanın kaynağı novalarla benzerdir. Çift yıldız üyesi olan beyaz cüceye, yakınındaki bileşen yıldızdan hidrojen ağırlıklı gaz akışı gerçekleşir. Bu gaz sıcak beyaz cücenin yüzeyine ulaştığında, hidrojen-helyum dönüşümü (füzyon reaksiyonları) tetiklenir. Novalar sırasında bu olay beyaz cücenin

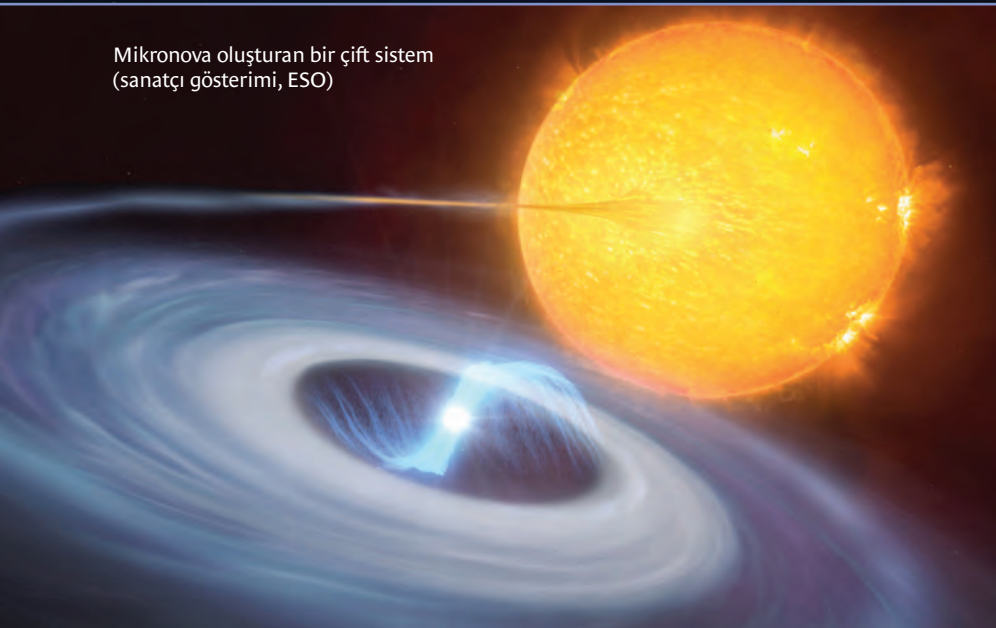
yüzeyinin tamamında gerçekleşir ve âdeta tüm yüzey birkaç hafta boyunca yanar. Mikronovalar ise daha küçük ölçekte gerçekleşen ve yalnızca birkaç saat süren patlamalardır. Beyaz cücenin güçlü manyetik alanı, yakındaki bileşen yıldızdan gelen maddeyi manyetik kutuplarına doğru yönlendirir. Böylece hidrojen füzyonu bölgesel olarak sadece manyetik kutup civarında gerçekleşir. Mikronova olayında patlamanın gücü novanın yaklaşık milyonda biri kadardır. Küçük denilse de aslında mikronova olayı da başlı başına güçlü bir patlamadır ve yaklaşık 10^{19} kg maddenin (boyutları $320 \times 267 \times 200$ km³ olan asteroit Juno’nun tamamı veya Ay’ın kütlesinin on binde üçü) yanmasına eşdeğerdir. Mikro füzyon parlaması olarak değerlendirilen bu olay, evrende ve özellikle yıldızlarda (hatta ölü yıldız çekirdeklerinde) patlamaların ne kadar yaygın olduğunu gösterir niteliktedir.

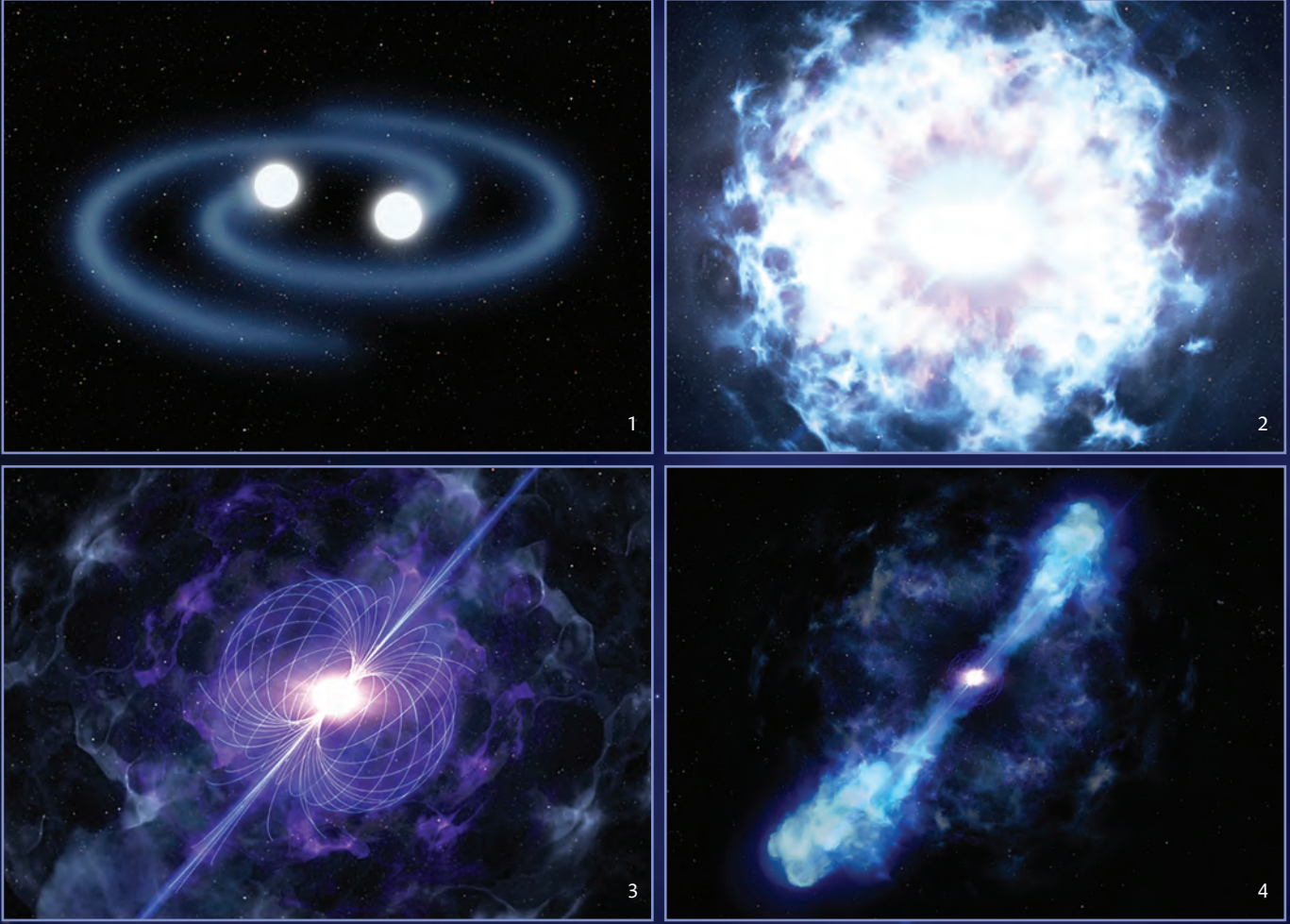
Kilonova

Klasik novalardan yaklaşık 1.000 kat daha parlak patlamalar olan kilonovalar, iki nötron yıldızının çarpışmasıyla oluşur. Bazen çarpışma veya birleşme bir nötron yıldızı ile bir kara delik arasında da gerçekleşebilir. Kilonovaların kısa süreli güçlü elektromanyetik radyasyon yaydığı düşünülüyor. Bilim insanlarına göre bu durum, ölü yıldız çekirdeklerinin birleşmesi sırasında oldukça izotropik olarak üretilen ve atılan ağır r-ışın (hızlı nötron yakalama süreci ile demirden daha ağır bazı elementlerin oluşumunun açıklandığı nükleer reaksiyon) çekirdeklerinin radyoaktif bozunumundan kaynaklanıyor. Bununla birlikte, SN’lerin 10 ila 100 kilonovaya eşdeğer patlamalar olduğunu da belirtelim.

Bilim insanları değerli metallerin (altın, platin vb.) ve ağır elementlerin SN kaynaklı olduğunu düşünüyordu. Evrendeki element bolluğu ile SN gerçekleşme sıklığı dikkate alındığında, bu miktarda elementin oluşmasının yalnızca SN’ler ile açıklanamayacağı anlaşıldı. Kilonovaların keşfi, onların da ağır ve değerli elementlerin oluşmasındaki kaynaklardan biri olduğunu gösterdi.

Mikronova oluşturan bir çift sistem
(sanatçı gösterimi, ESO)





Kilonova ve SN'lerin her ikisi de kara delik üreten süreçler olabilir. Buna karşın, aralarında bazı farklar vardır. SN'ler büyük kütleli yıldızların çekirdeklerinin çökmesi sonucu meydana gelir ancak kilonovalar iki nötron yıldızının çarpışmasıyla oluşur. SN patlamasında ortam sıcaklığı 1.000.000 °C değerlerine ulaşırken kilonovalarda ortam sıcaklığı 10.000 °C civarında olur. SN patlamalarında birkaç ay parlama gözlenirken kilonovalarda parlama birkaç yıl kadar sürebilir.

Bununla birlikte, kilonovaların evrendeki en şiddetli patlamalarından biri olan bazı gama ışın patlamalarıyla da ilişkili olabileceği düşünülüyor. Örneğin, Aralık 2021'de tespit edilen GRB 211211A gama ışın patlamasının gerçekleştiği bölgeye dair optik devam gözlemleri, burada hızla sönen bir kaynağın olduğunu ortaya çıkardı. Ayrıca, bu bölgeden kızılötesi bantlarda beklenenden fazla ışıınım alındı. Gök bilimciler, nötron yıldızlarının birleşiminden sonra ortaya çıkan enkazın birleşimde oluşan platin ve altın gibi radyoaktif elementlerin

bozunmasıyla görünür ve kızılötesi ışık yaydığını düşünüyor. Bu enerji çıkışı kilonovanın kaynağı olarak görülüyor. Örneğin, GW170817 kaynağından tespit edilen kütle çekimi dalgalarından birkaç saat sonra görünür ışık ve kızılötesi emisyonu gözlemlendi. Birleşmeden sonra birkaç hafta boyunca, optik ve kızılötesi bölgede, sonrasında ise X ışını ve belki radyo dalgası gözlemleri kilonovalar hakkında önemli bilgiler verebilir. Böylece farklı tür patlamalar arasında bağlantılar kurulabilir (örneğin gama ışın patlamaları ile kilonovalar).

Süpernova

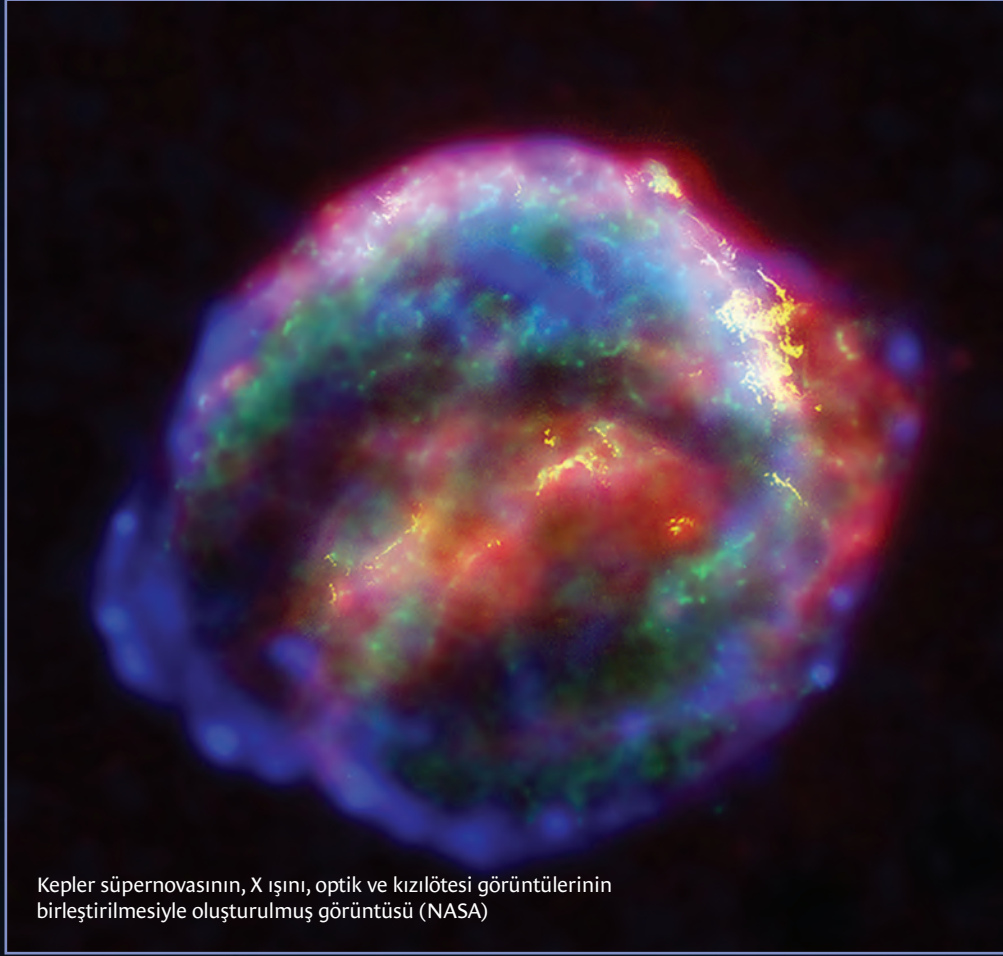
Büyük kütleli yıldızlar enerji üretemez duruma geldiklerinde, çekirdekleri çöker ve bir patlama geçirir, buna süpernova (SN) patlaması denir. İki tür SN patlaması vardır: SN Tip I ve SN Tip II. Tip I diye adlandırılan SN patlamaları (aslında Ia) gerçekleştiğinde beyaz cüceler patlayarak parçalanır. SN Tip II patlamaları ise, oluştuklarında kütleleri 8 Güneş kütesinden büyük olan yıldızlarda gerçekleşir; bu yıldızlar çekirdeklerinde füzyon tepkimeleri sona erdiğinde dış katmanlarını atacak şekilde patlar.

SN Tip I patlamaları, beyaz cüce kaynaklı olup çift yıldız sisteminde beyaz cücenin kütle çekimsel bağlı bileşen yıldızından aldığı maddeyi taşıyamaması nedeniyle ortaya çıkar. Beyaz cücede biriken madde, elektron yozlaşmasının destekleyemediği sınırı geldiğinde, çekirdek çöker ve ısınarak füzyonun aniden başlamasına yol açar. Çekirdek yozlaşmış olduğundan, sıcaklık artarken basınç değişmez; bu nedenle beyaz cüce genişleyip soğuyamaz. Sıcaklık artışının devamı füzyonu da gittikçe hızlandırır, bir süre sonra elektronlar artık yozlaşmış hâlde kalamayacak duruma gelir. İdeal gaz gibi davranmaya başlayan madde, beyaz cüceyi aniden

genişletip patlamasına sebep olur. Patlama sırasında beyaz cüce tamamen parçalanır. Bu esnada, ilgili nesne, bulunduğu gök adadan daha parlak görünebilir. Bu nedenle, patlama yapan gök cisimleri, uzaklık ölçümü için hassas kandiller olarak değerlendirilir. SN Tip I'lerin tayflarında hidrojen çizgileri gözlenmez. SN Tip Ib ve Ic türlerinin, farklı olarak büyük kütleli yıldızların, enerji üretimi durma aşamasına geldiğinde geçirdikleri son büyük patlamadan önce gösterdikleri patlamalar olduğu ve dış katmanlarının farklı oranlarda

kayıpları ile ilişkili (veya enerji üretimindeki kararsızlıklar ile ilgili) olduğu düşünülüyor.

SN Tip II patlamaları, büyük kütleli yıldızların enerji üretimi sonlandığında gerçekleşir. SN Tip II'ler nötron yıldızı veya kara delik üreten patlamalar olarak da anılır. Novalarda sadece yıldız yüzeyinde patlama olur. SN Tip II'de ise, büyük kütleli yıldızın çekirdeği çöker ve aniden patlayarak büyük miktarda kütleli uzaya fırlatır. Büyük kütleli yıldızlarda, çok sayıda karmaşık termonükleer reaksiyon sonucu çekirdekte en



Kepler süpernovasının, X ışını, optik ve kızılötesi görüntülerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş görüntüsü (NASA)

son demir üretilir. Yıldız çekirdeği demiri füzyonla daha ağır elementlere dönüştüremeyecek duruma gelir ve demir çekirdek hızla çöker. Bu esnada, çekirdek sıcaklığı 100 milyar °C'ın üzerine çıkar. Bu süreçte, dış katmanlar ilk anda çekirdekle beraber çökmeye başlasa da ani bir enerji çıkışıyla bu katmanlar şiddetli bir şekilde dışarıya fırlatılır. Bu esnada açığa çıkan enerji, tüm gök adayı günler bazen haftalar süresince gölgede bırakacak kadar büyüktür. SN Tip II patlaması sırasında Güneş'in tüm yaşamı boyunca üretilen enerjiye göre daha fazla enerji açığa çıkar. Patlama sırasında, demirden daha ağır bazı değerli elementler (altın, gümüş vb.) ve bazı atom altı parçacıklar oluşur. Başlangıç kütlesi yaklaşık 8-20

Güneş kütlesi aralığında olan yıldızlar, çekirdeklerinde füzyon reaksiyonları sonlanıp SN Tip II yaşadıktan sonra nötron yıldızına, 20 Güneş kütlesinden daha büyük başlangıç kütlesinde sahip olanlar ise kara deliğe dönüşür.

SN Tip I'lerden farklı olarak, SN Tip II'ler tayflarında hidrojen çizgileri gösterir ve patlama sırasında çok daha büyük miktarda (bazen 5 Güneş kütlesinden fazla) kütleyi yıldızlararası ortama salar.

Bizim gök adama benzer bir gök adada, ortalama olarak her 50 yılda bir SN meydana gelir. Bunun anlamı, gözlenen evrende her 10 saniyede büyük kütleli bir yıldız SN patlaması geçirerek ölüyor! Çoğunluğu teleskop

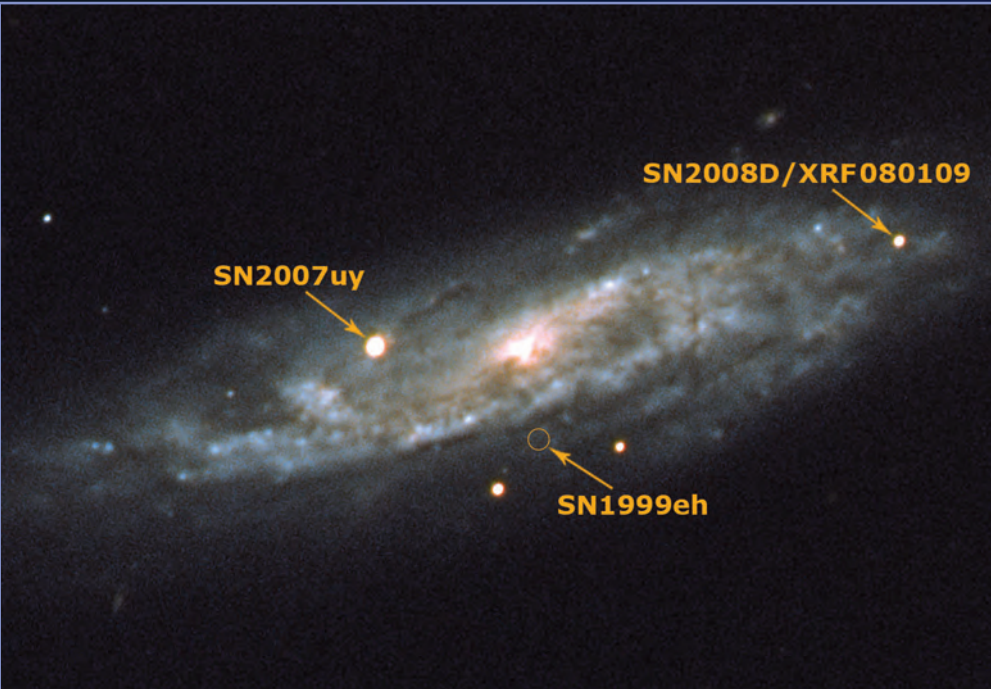
kullanılarak olmak üzere, her yıl 25-50 arasında süpernova keşfediliyor.

Çeşitli uygarlıklar, teleskop keşfedilmeden önce, gökyüzünde belirledikleri ani parlamaları kayıt altına almıştılar; sonrasında bunların SN Tip II patlamaları olduğu anlaşıldı. Kaydedilen en eski SN Tip II, Çinli gök bilimcilerin MS 185 yılında tespit ettiği RCW 86'dır. Kayıtlar, bu nesnenin gökyüzünde sekiz ay boyunca parladığını gösteriyor. En çok bilinen SN Tip II'lerden biri de Yengeç Bulutsusu'nu oluşturan SN patlamasıdır. Bu yıldız patlaması, Çinli ve Koreli gök bilimciler tarafından 1054 yılında kayıt altına alındı; patlama o sırada o kadar parlaktı ki gündüz bile görülebiliyordu.

Hipernova

Çok enerjik SN patlaması olan hipernovalar, SN'lere göre 10-100 kat daha fazla parlama gösterir. Vahşi patlamalar da denilen hipernovalar nadiren ortaya çıkar. Bugüne kadar sadece birkaç düzine hipernova keşfedildi. Bu nedenle, bazen sınıflandırılırken SN ile karıştırılır.

Genellikle SN Tip Ic'ye benzer görünür ancak olağan dışı geniş tayfsal çizgileri aşırı yüksek bir genişleme hızına işaret eder. Hipernovalar, süresi 2 saniye ile



NGC 2770 spiral gök adasında belirlenen süpernovalar (NASA)

1 dakika arasında değişen uzun süreli gama ışın patlamaları (GRB: gama ray burst) üretme mekanizmalarından biridir. Bunlar aynı zamanda süper parlak süpernovalar olarak da anılır.

Hipernova, kütlesi 30 Güneş kütlesinden büyük kütleli yıldızların çekirdek çöküşlerinden kaynaklanan yüksek enerjili bir SN'dir. Bir hipernovada oluşan jetler, çok yüksek enerjili gama ışın patlamalarına da yol açabilir. Çok büyük kütleli bir yıldız, yakıtı bittiğinde çökerek bu özel SN türünün oluşmasını sağlar ve sonunda dönen bir kara deliğe dönüşür. Bu kara delik, bir toplanma diski ve neredeyse ışık hızında hareket eden iki jet ile çevrilidir.

Çekirdek çökme modeli, yıldızın kalbi veya merkezindeki yapı ve tepkimelerle ilişkilidir. Çekirdekteki birleşme reaksiyonlarında üretilen enerji, yıldızın merkezinden dışarı doğru bir kuvvet oluşturarak çökmesini engeller ve onu dengede tutar. Bir elektron ve bir pozitronun birleşimi ile bir gama ışını oluşurken, bunu tersi olan bir tepkimede gama fotonu ayrışarak elektron ve pozitron ortaya çıkarabilir. Bu tepkimeler büyük kütleli yıldızların çekirdeklerinde sürekli meydana gelir ve onların dengede kalmasını sağlar. Ancak bu denge küçük bir miktar da olsa bozulursa büyük bir çekirdek çöküşü başlayabilir.



Hipernovalar, aynı zamanda gama ışını jetlerinin (birkaç saniye ile birkaç saat sürebilen yüksek enerjili parlamalar) kaynağıdır. Bu gama ışını jetlerinin (patlamalarının) jetler içindeki çarpışmalarla oluştuğu düşünülüyor. Bu jetleri gözlemlemek, yalnızca bizim doğrultumuzda gerçekleştikleri zaman mümkün. Bu nedenle, göremediğimiz çok sayıda GRB olduğu sanılıyor.

SN sonucunda, nötron yıldızı veya kara delik ortaya çıkabilirken hipernovalar sonucunda kara deliğin oluşması kaçınılmazdır. Hipernova patlamalarının her 200.000 yılda bir, SN'lerin ise 50-100 yılda bir meydana geldiği tahmin ediliyor.

Evrendeki patlamaların büyük çoğunluğunun yıldız kaynaklı olduğu anlaşıyor. İnsanlık yaklaşık



Bir gama ışın patlaması, GRB 190114C
(sanatçı gösterimi, ESA)

Gama Işın Patlamaları (GRB)

GRB'ler, öngörülemeyen konumda oldukça kısa süreler içinde gerçekleşen ve çok yüksek enerjili fotonların ($E > 10^5$ eV) yayınlandığı bilinen en büyük enerji çıkışı süreçleridir. GRB'lerin iki farklı kaynağı olduğu tahmin ediliyor. Uzun süreli (iki saniyeden fazla) GRB'lerin kaynağı olarak, kütlesi 20-30 Güneş kütlesinden büyük dev yıldızların çökerek kara delik oluşturması süreci görülüyor. Kısa süreli (iki saniyeden az) GRB'lerin ise birbirine kütle çekimsel olarak bağlı nötron yıldızı çiftlerinin veya nötron yıldızı ile kara delikten oluşan sistemlerde bu cisimlerin birbirine yaklaşarak çarpışmasıyla ortaya çıktığını gösteren araştırmalar bulunuyor. Diğer yandan, hipernovaların da bazı GRB'lerin kaynağı olduğu düşünülüyor.

GRB'lerde çıkan enerji yaklaşık 10^{52} erg mertebesindedir. Bunun anlamı, Güneş'in tüm yaşamı boyunca yaydığı enerjinin 1.000 katı kadar enerjinin çok kısa sürede patlamayla ortaya çıkmasıdır. Bilinen tüm GRB'ler çok uzaklarda (milyarlarca ışık yılı) gerçekleşen patlamalardır. Hatta bazen GRB'nin bulunduğu gök ada o kadar uzaktadır ki patlamanın ışığı ile ilişkili bir bölge veya kaynak belirlemek (karanlık bir bölgede parlama) imkânsız görünür.

2.000 yıldır, gökyüzünde patlama ile oluşan bu aydınlanmaların farkında. Son 30-40 yıldır da patlamaların kaynakları ve türleri hakkında bilgilerimiz katlanarak arttı. Mikrodan kilonovalara giden farklı patlama sınıfları belirlendi. Bilim insanları gerek yıldızları ve gök adaları gerekse element oluşum ve dönüşümlerini daha iyi anlamak için patlamaların peşinden gitmeye devam edecek... ■

Kaynaklar

<https://science.nasa.gov/astrophysics/focus-areas/how-do-stars-form-and-evolve>
<https://phys.org/news/2022-05-astronomers-kilonova-nearby-gamma-ray.html>
<https://phys.org/news/2022-03-unfolding-story-kilonova-told-x-rays.html>
<https://scopethegalaxy.com/type-1-supernova-vs-type-2-supernova/>
<https://www.space.com/6638-supernova.html>
<https://www.eso.org/public/news/eso2207/>
https://en.wikipedia.org/wiki/V1369_Centauri
<https://web.archive.org/web/20050414173513/http://www.astro.caltech.edu/~ejb/faq.html>
<https://www.skyatnightmagazine.com/space-science/what-is-a-gamma-ray-burst/>