

Beyaz Cücelerin Evrimi, Kozmolojiye Işık Tutuyor

Zayıf Işınımından Güçlü Mesajlar

SIRADAN YILDIZLARIN, derinliklerindeki nükleer füzyon (birleşme) tepkimesi nedeniyle ışıdıkları neredeyse 70 yıldır biliniyor. Örneğin, Güneş'in merkezinde her saniye 600 milyon ton hidrojen birleşip helyuma dönüşüyor. Bu süreç, x-ışını ve gama ışını biçiminde enerjiyi serbest bırakıyor. Bu ışınım, kalın gaz katmanları içinden yavaş yavaş dışarıya doğru yol alıyor. Bir milyon yıl sonra yüzeye vardığında enerjisi azalmış olan ışınım, morötesi ya da görünür ışık haline gelmiş oluyor.

Ancak son yıllarda gökbilimciler, çekirdek tepkimelerinin merkezde değil de dış katmanlarda, yüzeyin hemen altında oluştuğu yeni bir yıldız türü keşfettiler. Bunların, sıradan yıldızların çevresinde dönen ve beyaz cüce adı verilen, nükleer yakıtını tüketip sıkışmış, sıcak, küçük yıldızlar oldukları sanılıyor. Cüceler, eşlerinden hidrojen gazı alıyor, bunu yüzeylerinde biriktiriyor ve nükleer tepkimeleri yeniden başlatıyorlar. Sonuç: belirgin "yumuşak" dalga boylarında bir x-ışınları sağanağı. Bunlara, parlak "süperzayıf x-ışını kaynakları" deniyor. Cücelerin ağırlığı arttıkça, gide-

rek kararsız duruma geliyorlar. Bir noktadan sonra ya çökerek daha da yoğun nötron yıldızları haline geliyorlar, ya da patlıyorlar.

Beyaz cücelerin normal süreçlerinden ayrılması, uzun süredir Ia türü süpernovaların oluşum nedeni olarak belenmişti. Süperzayıf x-ışını kaynaklarının saptanmasıyla gökbilimciler ilk kez, bu şekilde patlayan yeni bir yıldız sistemi belirlemiş oldular. Ia türü süpernovalar, uzak gökadalara olan mesafenin, dolayısıyla da kozmik genişlemenin hızını ölçmeye yarayan bir standart ışık kaynağı olarak önem kazandılar. Evren'in yaşı ve genişleme hızı konusundaki belirsizlikler büyük ölçüde bu süpernovaların nedenleri konusundaki bilgisizlikten kaynaklanmaktaydı. Süperzayıf kaynaklar, işte bu eksikliği giderecek gibi görünüyor.

Bu garip ışınım kaynaklarının öyküsü, 1990 yılında Alman x-ışını uydusu ROSAT'ın fırlatılışıyla başladı. Bu araç ilk kez gökyüzünün zayıf x-ışını haritasını çıkardı. Bu ışınlar morötesi ve bildiğimiz güçlü x-ışınlarını çevreleyen bir elektromanyetik ışınım. Zayıf x-ışınlarının dalga boyları, görünen ışığınkinden 50 ila 1000 kat

daha kısa. Bu nedenle foton enerjileri de 0.09 ila 2.5 kiloelektron volt arasında. Buna karşılık "sert" ya da güçlü x-ışınlarının tipik dalga boylarıysa, birkaç yüz keV kadar oluyor.

Aracın fırlatılmasının hemen ardından, Max Planck Dünya Dışı Fizik Enstitüsü'nden Joachim Trümper başkanlığındaki ROSAT ekibi, Samanyolu'nun uydularından Büyük Macellan Bulutu'nda garip bir takım nesnelere gözledi. Bunlar yoğun ölçekte (Güneş'in toplam enerji üretiminin 5 000 ila 20 000 katı), x-ışını saçıyorlardı; ama beklenmedik derecede yumuşak bir tayf profilleri vardı. Parlak x-ışını kaynaklarının tayfları genellikle "sert" olur: Enerjilerinin tepe noktaları 10 milyon ila 100 milyon K sıcaklıkta gazlara karşılık gelen 1 ila 20 keV kadardır. Bu sert x-ışını kaynakları, genellikle eşlerini yutmakta olan nötron yıldızı ya da kara delikler anlamına gelir. ROSAT'ın bulduğu yeni yıldızların yumuşak tayfları ve düşük foton enerjileri, (güçlü x-ışını otonlarının yüzde biri kadar), sıcaklıklarının yalnızca birkaç yüz bin K dolayında bulunduğunu gösteriyordu. Bir renkli x-ışını fotoğrafında zayıf kaynaklar kırmızı, klasik, güçlü kaynaklara ma-

vi görünür. Süperzayıf kaynakların şimdide değin bağımsız bir yıldız sınıfı olarak tanımlanamamalarının nedeni, eski x-ışını detektörlerinin, düşük enerjileri saptayacak kadar duyarlı olmamalarıydı. ROSAT bulgularından sonra, araştırmacılar arşivlerini yeniden taradılar. Zayıf kaynaklardan ikisinin aslında 10 yıl önce Columbia Üniversitesi Astrofizik Laboratuvarı (CAL) araştırmacılarınca keşfedilmiş olduğunu fark ettiler. CAL 83 ve CAL 87 adı verilen bu kaynaklar, tayflarının yumuşaklığı not edilmekle birlikte, Büyük Macellan Bulutu'ndaki öteki sert kaynaklardan ayrı biçimde sınıflandırılmamıştı.

Zarfin Arkası

O zamanlar, Arizona Devlet Üniversitesi'nden Anne P. Cowley ve ekip arkadaşları CAL 83 ve CAL 87'nin bir kütle aktarım diskiyle çevrili kara delikler olduğu sonucuna varmışlardı. Çünkü bu kara deliklerin tayfları, genellikle nötron yıldızlarına göre daha yumuşak olur. 1980'li yıllarda bu düşünce gökbilim çevrelerinde destek buldu. Çünkü her iki kaynağın yakınlarında da oldukça sönük yıldızlar saptandı. Parlaklıkları düzenli biçimde azalır, çoğalıyordu. Buysa, iki

yıldızın ortak bir kütle çekim merkezi etrafında döndüğü ikili sistemlerin tipik bir göstergesiydi. 1988 yılında Londra Üniversitesi'nden Alan P. Smale ve ekibi, CAL 83'ün parlaklık değişim süresinin bir günden biraz fazla olduğunu gösterdi. Keel Üniversitesi'nden Tim Naylor da, aynı sürenin CAL 87 için 11 saat olduğunu saptadı. Yıldızların, kara delikler çevresinde döndüklerine inanıldı. Bunların nasıl olup da sağlam kaldığını araştıran gözlemciler, kütlelerinin, Güneş'inin 1,2 ila 2,5 katı olduğu sonucuna vardılar.

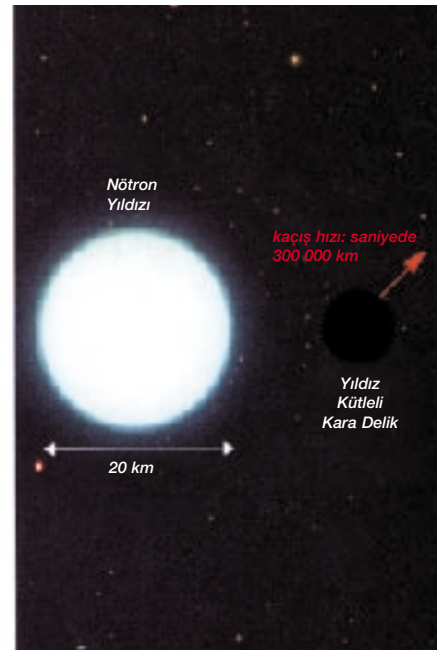
ROSAT'ın yaptığı gözlemlerse, bu açıklamaların tutarlı olmadığını gösterdi. Kaynaklar, bilinen kara delik sistemlerinden çok daha soğuktu. Parlaklık ve sıcaklıkları da kütlelerini güvenilir bir biçimde ortaya koyuyordu. Fizik kurallarına göre bir yıldızın birim alanda bir bölgesi, sıcaklığının dördüncü kuvvetine orantılı ölçüde enerji yayar. Bu enerjiyi, yıldızın toplam enerji üretimine bölen gökbilimciler, yüzey alanını ve çapını kolaylıkla hesaplayabilirler. Hesaplar sonunda gerek CAL 83 ve CAL 87, gerekse de Macellan Bulutu'ndaki benzer kaynakların çaplarının 10 000 – 20 000 km kadar olduğu ortaya çıktı. Bunlarsa, tipik beyaz cüce boyutları. Bu durumda

zayıf x-ışını kaynakları, bir nötron yıldızından, ya da yıldız kütleli bir kara deliğin "ufkundan" 500 ila 1000 kat daha daha büyük oluyorlardı.

Trümper, süperzayıf kaynakları 1991 Ocağında Santa Barbara Kuramsal Fizik Enstitüsü'nde açıkladığında, salonda bulunanların çoğu, gerekli hesaplamaları, alelacele, hatta kullanılmış zarfların arkasında yapıverdiler.

Harvard üniversitesi'nden Jonathan E. Grindlay ve öteki bazı katılımcılara göre kaynaklar, üzerlerine eşlerinden çaldıkları gazların hızla çarpmasıyla x-ışını yayan beyaz cüceler olmalıydı. Trümper ve ekip arkadaşlarıysa, bunların 10 000 km kalınlığında bir gaz kütleliyle örtülmüş nötron yıldızı olduklarını savundular. Her iki durumda da enerjinin nihai kaynağı kütleçekim olmaktaydı. Kütleçekimi, çevredeki maddeyi cücenin, ya da nötron yıldızının üstüne çekecekti. Hareketin sağladığı enerji de, kütle aktarım diski içindeki çarpışmalar ya da kaynağın yüzeyine çarpma sırasındaki ısı ve ışınımaya dönüşecekti.

Her iki model de araştırmaya değer görünüyordu. Amsterdam Üniversitesi Gökbilim Enstitüsü'nden Edward van den Heuvel, aynı enstitüden Peter Kahabka, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nden Saul A. Rappa-



Sıkışmış yıldızlardan kaçış için muazzam hızlar gerekiyor. Tipik bir beyaz cüce (solda), Güneş türü bir yıldızın kütlelerini, Dünya benzeri bir gezegenin hacminde barındırıyor. Cücenin kütleçekiminden kurtulmak için bir cismin saniyede 6000 km hızla gitmesi gerekir. Bu aynı zamanda beyaz cüceye düşecek bir cismin yüzeye çarpış hızı. Daha yoğun yıldızlar, örneğin aynı kütleyle sahip nötron yıldızları (ortada), daha da güçlü kollara sahip. Olabilecek en yoğun yıldızlarsa, kara delikler (sağda). Bunlar, "olay ufku" denen bir yüzeyle be-timleniyorlar. Bu ufuktan kaçabilmek için gereken hız, ışık hızına eşit.

port ve Hindistan'ın Bangalore Üniversitesi Raman Araştırma Enstitüsü'nden Dipankar Battacharya hemen işe koyuldular. Bu makalenin ortak yazarları olan ekip elemanları, kısa sürede gördüler ki, modellerin hiçbiri geçerli değil. Süperzayıf kaynaklar, ikili yıldız sistemlerindeki en parlak nötron yıldızları kadar enerji yayıyorlar. Oysa gaz, nötron yıldızlarının yüzeyine, beyaz cücelerin yüzeyine düştüğünden 500 ila 1000 kat daha büyük bir güçle çarpıyor; çünkü bir nötron yıldızının yüzeyinde kütleçekim etkisi aynı ölçüde büyük. (Aynı kütledeki cisimlerde kütleçekim enerjisi, cismin yarıçapına ters orantılıdır.) Böyle olunca da bir beyaz cücenin, bir nötron yıldızıyla eşit miktarda enerji yayması için çevredeki maddeyi, nötron yıldızından 500 ila 1000 kat daha hızlı bir biçimde sömürmesi gerekir. Bu hızda bir kütle aktarımı yılda bir kaç Dünya kütlelerine eşit maddenin cüce yıldızın yüzeyine düşmesi demek. Bu durumda yutulmuş maddenin yoğunluğu, tüm dalga boylarındaki x-ışınlarını soğurur.

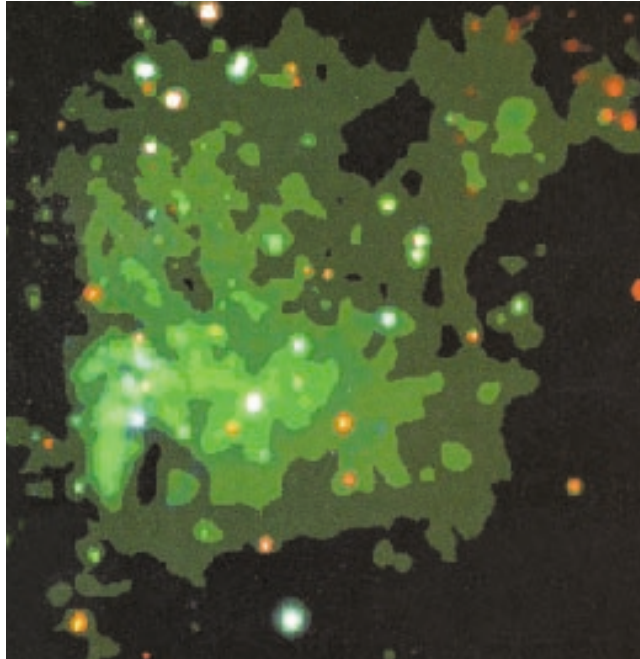
Çevresinde gaz toplamış nötron yıldızları da daha az sorunlu değil: Olağanüstü (elbette 10 km çap için olağanüstü) kalınlıkta gaz katmanlarıyla çevrili bir nötron yıldızı da kararsız olur. Bir kaç saniye ya da dakika içinde ya çöker, ya da patlayıp yok olur. Oysa CAL 83 ve CAL 87'nin en azından 10 yıldır var oldukları kesindi. Dahası, CAL 83'ü çevreleyen iyonize gazın on binlerce yılda toplanmış olması gerekiyordu.

Nükleer Güç

Daha birçok modeli denedikten sonra ekip, sonunda maddenin bir nötron yıldızı ya da kara delik üzerine birikmesiyle, bir beyaz cüce üzerine birikmesi arasındaki büyük farkı keşfetti. Birinci durumda, ortaya çıkan enerji, aynı miktarda hidrojenin nükleer füzyonunun sağlayacağı enerjinin kat kat üzerinde oluyor. İkinci durumdaysa, madde yığılmasıyla oluşan enerji, füzyon enerjisinin

çok altında kalıyor. Albert Einstein'ın $E=mc^2$ formülü uyarınca, kütle içinde saklı enerji içinden füzyon, ancak 0,7 oranında bir bölümü serbest bırakıyor. Bir nötron yıldızı üzerine madde yığılmasıysa, madde içindeki enerjinin yüzde 10'unu serbest bırakıyor. Bir kara delik üzerine düşen maddenin enerjisinden, yüzde 46'lık bölümü serbest kalıyor. Buna karşılık kütleçekimi daha zayıf olan bir beyaz cüce üzerine düşen maddenin saklı enerjisinden, yalnızca %0,01'i serbest kalıyor.

Bu durumda beyaz cüceler üzerinde füzyonun etkisi, madde yığılmasının yaratabileceği etkiden çok daha baskın. Bir beyaz cücenin yüze-



Büyük Macellan Bulutu'nda x-ışını kaynakları. Güçlü kaynaklar mavi, süperzayıf kaynaklar turuncu. CAL 87'nin rengi önündeki toz bulutu nedeniyle değişmiş.

yi üzerinde hidrojen gazının birikmesi ve bir şekilde yanmaya başlaması (füzyon) durumunda, gözlenen x-ışını parlaklığının elde edilmesi için yılda yalnızca 0,03 dünya kütlelerine eşit hidrojen gerekiyor. Cüce üzerine çöken maddenin düşük yoğunluğu nedeniyle de, x-ışınları kaçabiliyor.

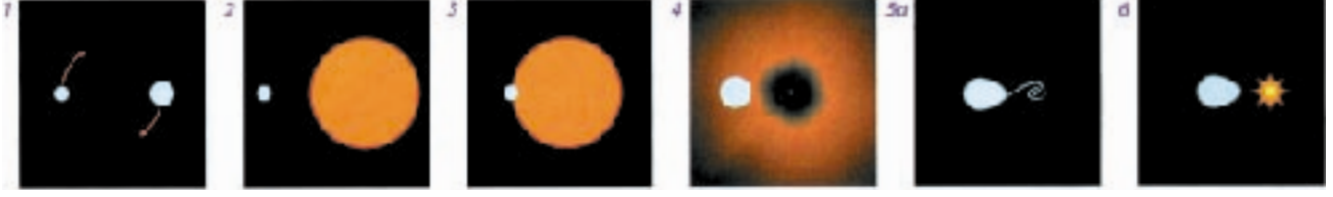
Modele göre, cüce üzerine düşen maddenin kararlı yanışı, süperzayıf kaynakların şaşırtıcı parlaklığını açıklayabiliyor. Peki gerçekte de durum böyle mi? Bu konuda şans, ekibin imdadına yetişmiş. Araştırmacılar sorunu tartışırken Tokyo Üniversite-

si'nden Kenichi Nomoto Santa Barbara'ya gelmiş. Nomoto'da aslında aynı konuyu araştıranlardan. Ancak onun çözmeye uğraştığı bulmaca, süpernova değil, nova patlamaları. Bunlar, yıldızı 10 000 kez daha parlak hale getiren, ama sonunda yok etmeyen patlamalar. Bu tür patlamalar bir beyaz cüce ile Güneş benzeri yıldızlardan oluşan yakın ikili sistemlerde çok görülüyor.

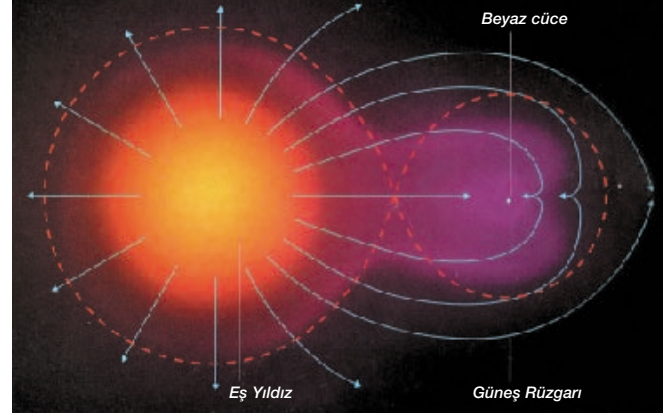
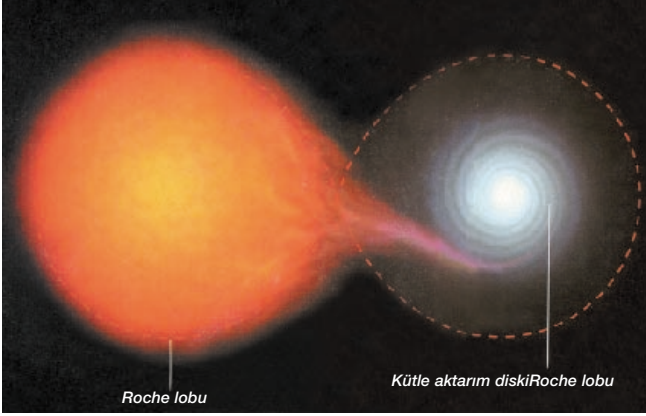
On yılı aşkın bir süredir Nomoto ve öteki bazı gökbilimciler, Varşova'daki Nicolaus Copernicus Gökbilim Merkezi'nden Bohdan Paczynski ile Anna Zytkow'un öncü çalışmalarını ilerletmeye çalışıyorlardı. İki Polonyalı araştırmacıya göre, bir cücenin yüzeyinde biriken hidrojen yanabilir (yani füzyon yapabilir). Yanmanın biçimiye, birikimin hızına bağlı. Birikme yavaşsa, yılda 0,003 dünya kütlelerinin altında kalıyorsa, füzyon düzensiz olur. Cücenin yüzeyine çöken hidrojen, binlerce yıl etkisiz kalır. Ancak yoğunluk kritik bir noktayı geçince, dipteki hidrojen birden ateşlenir. Oluşan termonükleer patlama bir nova biçiminde gözlenir.

Eğer birikme hızı biraz daha yüksekse, füzyon devresel olur ama patlama gerçekleşmez. Hız arttıkça, yanma evreleri arasındaki süre giderek kısalır. Belli bir eşik değerinin üzerinde de kararlı yanma başlar. Bir güneş kütlelerindeki beyaz cüceler için bu eşik, yılda yaklaşık 0,03 dünya kütleleri. Bilgisayar simülasyonlarında füzyon, süperzayıf kaynaklarda gözlenen zayıf x-ışını parlaklıklarını aynen sağlıyor.

Birikme hızını biraz daha yükseltelim: Diyelim cücenin yüzeyine yılda 0,12 dünya kütlelerinde madde düşsün. Bu durumda, yıldız üzerine düşen gaz, yüzeyde birikmeyip cücenin çevresinde kalın bir zarf oluşturur. Yüzeyde kararlı yanma sürer. Ancak kalın zarf, x-ışınlarını morötesi ve görünür dalga boylarına düşürür. Son hesaplara göre yüzeydeki ışımaya öylesine güçlü oluyor ki, zarftaki gaza yaptığı basınç bunun bir bölümünün



1- Sıradan iki yıldız merkezlerinde hidrojen yakıyor. 2- İçlerinden biri yakıtını tüketiyor; kırmızı dev oluyor. 3- Yörünge daralıyor. Dev, öteki yıldızı içine alıyor. 4- Dev, dış katmanlarını atıyor; beyaz cüce oluyor. 5a- Cüce, eşinden gaz çalıyor, zayıf x-ışınları yayımlıyor. 6- Cüce kritik kütleyle erişiyor ve patlıyor.



Bir "süperzayıf" yıldızın yaşam döngüsü, farklı büyüklükte sıradan yıldızlardan oluşan bir ikili sistemle başlıyor ve la türü bir süpernova olarak son buluyor (üstteki seri). Süperzayıf evre, eş yıldızın niteliğine bağlı olarak üç değişik biçim alabilir: Eğer eş yıldız, yakın yörüngede sıradan bir yıldızsa Roche lobunu aşarak dış katmanlarının kontrolünü beyaz cüceye kaptırır (5a'daki gibi). Alttaki çizimler alternatifleri gösteriyor: Eğer eş, yeterli büyüklükte bir kırmızı devse, o da Roche lobunu aşabilir (5b). Ama daha küçük kütleli ve daha geniş yörüngeli bir kırmızı devse, güçlü rüzgarlarıyla bir süperzayıf kaynağa enerji sağlayabilir (5c). Süperzayıf x-ışını kaynaklarının hepsi patlamaz. Ancak yeterli sayıda patlama, gözlenen süpernova bolluğunu açıklar.

yıldız rüzgarı biçiminde uzaya saçılmasına yol açıyor.

Birikme hızı, yılda 0,12 dünya kütlesi oranında seyredirse, sistem x-ışını ve görünen ışık evreleri arasında gidip gelebilir. Max Planck Enstitüsü'nden Stefan G. Schaeidt'in keşfettiği süperzayıf kaynak RXJ0513.9-6951, bu özelliği gösteriyor. Haftalar boyu x-ışınları yayan kaynak, daha sonra aylarca daha düşük enerjili bir evrede kalıyor. Bu değişim, yıllarca gökbilimcileri meraklandırdı. Sonunda Oxford Üniversitesi'nden Karen Southwell ve arkadaşları, bu kaynağın görünen eşinin de ışınım dalgalanmaları yaptığını keşfettiler. Görünen yıldız sönükleştikçe, x-ışını kaynağının parlaklığının arttığı gözlemlendi. Yıldız parlaklaştığındaysa, x-ışını kaynağı sönükleşiyordu. Sistemde ayrıca, ters yönlere saniyede 4000 – 6000 km hızla madde fışkırmaları da gözlemlendi. Bu fışkırmalar, bir yıldızın üzerine, alabileceğinden daha fazla madde düştüğü zaman görülüyor. Bu durumda fazla madde, aktarım diskine dikey yönde, yani kendisini engelleyecek madde bulunmayan yönde uzaya fışkırıyor. Fışkırmaların hızının, yıldızın kütleçekiminden kurtulmak için

gerekten hıza eşit olması gerekiyor. RXJ0513.9-6951 için hesaplanan fışkırmama hızı, bir beyaz cüceden kaçış için gerekli hız kadar. Bu da süperzayıf kaynakların aslında birer beyaz cüce oldukları konusunda ek bir kanıt.

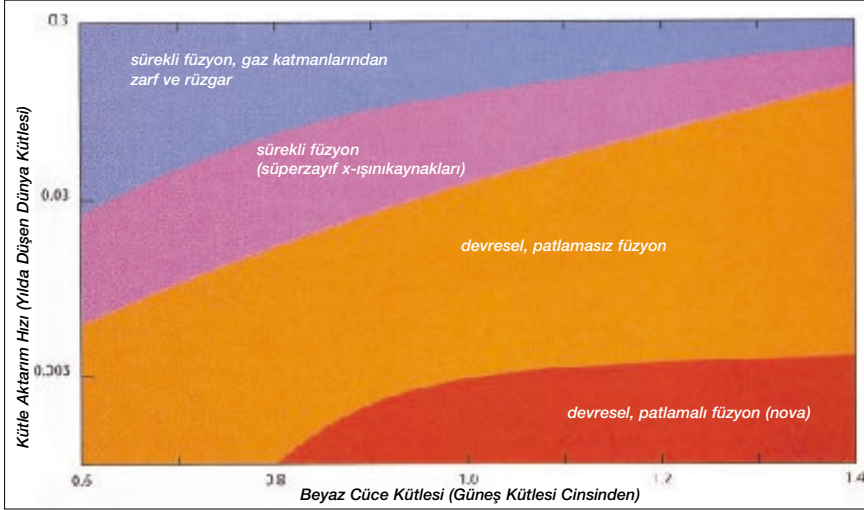
Az Pişmiş Yıldız

İkili sistemlerin hepsi, bir süperzayıf x-ışını kaynağı oluşturmaya yetecek oranlarda madde sağlamayabilir. Eğer eş yıldızın kütlesi, beyaz cüceden daha küçükse (nova oluşturan sistemlerde görüldüğü gibi), en hızlı madde aktarımı yılda 0,0003 dünya kütlesi kadar olur. Bu sınır, yörüngesel açıları momentumun korunması yasasının bir sonucu. Küçük eş yıldız kütle yitirdikçe, yörüngesi genişler ve madde akışı kararlı hale gelir.

Madde akışının hızlı olması için verici yıldızın kütlelerinin, cüceden daha büyük olması gerekir. Bu durumda, sözü geçen yasa uyarınca, madde iletimi yıldızın yörüngesini daraltır. Yıldızlar birbirine o kadar yaklaşır ki, verici yıldızın dış katmanları için aralarında bir kütleçekim savaşı başlar. "Roche lobu" denen belirli bir hacmin içinde kalan katmanlar, vericinin

kontrolü altında kalır, Bu sınırın dışındakalan bölümse, cüce tarafından çalınır. İşin ilginç yanı, verici kendi sonunu da hızlandırır. Yüzeyinden madde yitirirken, merkezindeki nükleer füzyonun ürettiği enerji bundan pek etkilenmez. Altan gelen sıcaklık, yıldızın dış katmanlarına basınç yaparak madde yitimine rağmen yıldızın eski biçimini korumasını sağlar. Durum, ancak merkezin de kütle yitiminin etkilerini hissetmeye başladığı anda kararlı hale gelir. Başlangıçta iki Güneş kütlesi olan bir yıldızın yeniden denge durumuna dönmesi (ve böylelikle süperzayıf x-ışını yayımının durması), katmanlarının yağmalanmaya başlamasından itibaren yedi milyon yıl sürer. Bu sürenin sonunda yıldızın kütlesi, başlangıçtaki beşte birine düşmüş ve yıldız, sistemin küçük unsuru haline gelmiştir. Cücenin üzerineyse yılda ortalama 0,04 dünya kütlesinde madde aktarımı olmuştur.

Bu varsayımdan yola çıkan araştırmacılar, sekiz yıl önce birçok süperzayıf kaynağın, başlangıç kütleleri 1,2 ila 2,5 güneş kütlesi olan yıldızlara çok yakın yörüngelerde dönen (dönüş süresi bir-iki gün) beyaz cüceler olması gerektiğini söylediler. Gerçekte de



Bir beyaz cücenin yüzeyindeki nükleer füzyon, cücenin kütlesine (yatay eksen) ve eş yıldızını yutma hızına (dikey eksen) bağlıdır. Eğer kütle aktarımı yeterince düşükse, füzyon, yavaş ya da şiddetli parlamalar yoluyla gerçekleşir. Kütle aktarımı yüksekse, füzyon sürekli olur. Şekil, nova ve süperzayıf x-ışını kaynakları gibi bir zamanlar birbirinden bağımsız sanılan olguların, aslında yakından ilişkili olduğunu gösteriyor.

CAL 83 ve CAL 87 böyle sistemler. 1992 yılından bu yana, dört süperzayıf x-ışını kaynağının daha yörünge periyotları ölçüldü. Hepsi de en fazla bir-iki gün olarak belirlendi.

Süperzayıf x-ışını kaynağı oluşturabilecek bir başka tür de, "simbiyotik ikililer" denen çift yıldız sistemleri. Bu sistemlerde, bir beyaz cüce, bir kırmızı dev çevresinde uzak bir yörüngede dönüyor. Kırmızı devler, bonkör yıldızlar: İleri yaşları nedeniyle şiştiklerinden, yüzeylerinde kütleçekimi zayıf oluyor. Bu nedenle güçlü yıldız rüzgarlarıyla büyük oranda kütle yitiriyorlar. 1994 yılından bu yana, bu türden en az yedi sistem bulundu.

Süpernova Çekirdekleri

Kısa yörünge periyotlu sistemlerdeki eş yıldızlar için gereken kütle, bunların görece genç sistemler olduğunu gösteriyor. Bu kütledeki yıldızların çoğu birkaç milyar yaşında oluyor ve Samanyolu'nun genç merkez düzleminde yer alıyor. Ne yazık ki bu bölge, zayıf x-ışınlarını perdeleyen tozun yoğun olduğu bir yer. Bu nedenle, görülebilen kaynaklar yalnızca aysbergin ucu. Araştırmacılar, gökadamızda süperzayıf x-ışını kaynaklarının sayısının, her hangi bir anda birkaç binden aşağı olamayacağını söylüyorlar. Her 1000 yılda bir bu kaynaklardan birkaç tanesi doğarken, birkaçı da ölüyor.

Peki bunlar ömürlerini tamamladıklarında neler oluyor? Eş yıldızdan çalınan maddenin füzyonu, beyaz cücenin kütlesini belirgin biçimde artırıyor. Bu kazanım sonunda cücenin kütlesi Chandrasekhar Sınırı denen 1,4 güneş kütlesine erişebiliyor. Bu, bir beyaz cücenin erişebileceği en yüksek kütle. Bu sınır aşıldığındaysa, cüceyi ayakta tutan kuantum kuvvetler sendeliyor. Beyaz cücenin başlangıçtaki kompozisyon ve kütlesine bağlı olarak, iki farklı sonla karşılaşırız. Beyaz cüce ya daha da çökerek bir nötron yıldızı haline geliyor, ya da bir süpernova patlamasıyla yok oluyor. Karbon içermeyen, ya da başlangıçta 1,1 güneş kütlesinin üstünde bir kütleyle sahip beyaz cüceler çöküyor.

Bu kıstasların birine ya da öbürüne uymayan beyaz cücelerse, patlıyorlar. Bu sona farklı yollardan varılabiliyor: Cüce, ağır ağır helyum biriktirip Chandrasekhar sınırını aşarak patlayabiliyor. Bir başka modelde, yıldızın üzerindeki helyum katmanı, Chandrasekhar sınırına varılmadan bir kritik noktayı aşıyor. Bunun üzerine birikmiş helyum patlayıcı bir biçimde ateş alıyor. Oluşan şok dalgaları yıldızı ısıtarak merkezindeki karbonu ateşliyor. Karbon bir kez yanarak füzyona başlayınca bu, cüceyi oluşturan sıkışmış madde üzerinde hızlı bir zincirleme tepkime başlatıyor. Yalnızca birkaç saniye içinde cüce, büyük ölçüde nikel olmak üzere silisyum ve demir arasındaki ağır elementlere dönüşüyor. Uza-

ya saçılan nikel radyoaktif bir süreçle önce kobalta bozunuyor ve birkaç yüz gün içinde de demire dönüşüyor. Gökbilimciler, karbon bakımından zengin beyaz cücelerin bu süreçle ölümüne Ia türü süpernova adını veriyorlar. Özelliği, öteki süpernova türlerinde (Ib, Ic ve II) görülen hidrojen ve helyumun olmayışı. Öteki türlerde hidrojen ve helyum saçılmasının nedeni, yıldızın dış katmanlarının önce merkeze doğru çökmeleri, daha sonraysa patlamaları.

Ia türü süpernovalar, Evren'de demir ve demir türevi elementler için temel kaynak. Samanyolu gibi bir gökadamında her 1000 yılda bu türden dört süpernova patlaması olacağı hesaplanıyor.

Süperzayıf x-ışını kaynakları keşfedilmeden önce gökbilimciler, Ia türü süpernovaların oluşma sürecini tam olarak bilemiyorlardı. Bu tür süpernovalara, ya bazı simbiyotik yıldızların (özellikle de tekrarlı nova patlamaları yapan cücelerin) evriminin, ya da karbon zengini iki beyaz cücenin çarpışmasının yol açtığı sanılıyordu. İkinci seçeneğe artık günümüzde kuşkuyla bakılıyor. Bir kere gereken kütle ve yörünge periyotlarına sahip ikili cüce sistemine şimdiye kadar rastlanmamış. Kaldı ki, Japon araştırmacıların hesaplarına göre iki beyaz cücenin birleşmesi, termonükleer bir patlamaya yol açacak kadar şiddetli bir olgu değil. Bu durumda, süperzayıf x-ışını kaynakları, ya da yüzeylerinde nükleer tepkime olan öteki beyaz cüceler, bilimcilerin yanıtı olabilir. Bunların ölüm oranları, gözlenen süpernova patlamalarının sayılarına uyuyor. Bu uyuşma, süperzayıf x-ışın kaynaklarını, yaşamlarını Ia türü süpernova olarak noktalayacaklarını kesine yakın bir dille söyleyebileceğimiz tek gökcismi sınıfı yapıyor.

Bu yeni bilgiler, gökadamızın uzaklığının belirlenmesi için Ia türü süpernovalara dayanılarak yapılan kozmolojik ölçümlerin güvenilirliğini arttırabilir. Küçük gibi görünen parlaklık farkları, Evren'in nasıl ortaya çıktığı ve nasıl sone ereceği konusundaki değişik modeller arasında doğru seçim yapmamızı sağlayabilir.

Kahabka, P., Van Den Heuvel, E.P.J., Rappaport, S.A. "Supersoft X-ray Stars and Supernovae", *Scientific American*, Şubat 1999

Çeviri: Raşit Gürdilek