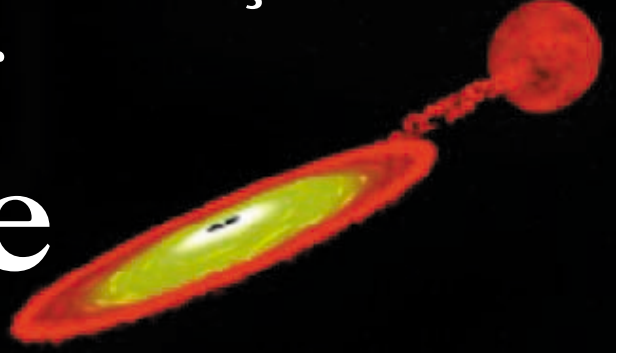


# Atomaltı Dünyanın Sırları İçin Kozmik Laboratuvar Milisaniye Atarcaları



Gökbilimciler, varlığı kuramsal olarak öngörülen, saniyede yüzlerce kez dönen (bir devrini milisaniyeler süresinde tamamlayan) ve zaman zaman eşinden çaldığı maddeyle çok güçlü X-ışınları yayan bir nötron yıldızını gözlediler. Sözkonusu yıldızın, daha doğru bir deyişle yıldız artığının, fizikte çok önemli bazı soruları aydınlatacak bilgiler sağlayabileceğine inanılıyor. Bunlar arasında genel görelilik öngörülerinin yanı sıra, yoğun madde fiziğiyle ilgili kuramların sınanması geliyor. Gökbilimcilerin yeni hedefi, tek başlarına milisaniye periyotlarda dönen nötron yıldızları gözlemek. Çünkü bazı fizikçiler, yaşlı, "milisaniye" atarcalarının merkezlerinde, bildiğimiz maddenin yapıtaşları olan kuarkların serbest halde bulunabileceğine inanıyorlar.

Nötron yıldızları, Güneş'imizden çok daha büyük kütleli yıldızların ölümlü demek olan süpernova patlamalarıyla oluşuyor. Nükleer tepkimeler için gerekli yakıtını tüketen merkez, artık ışınımın dengeleyemediği kütleçekiminin etkisiyle çöküyor. Oluşan

çok dalgası, dış katmanları uzaya saçarken merkezdeki madde öylesine sıkışıyor ki, atom çekirdekleri çevresinde dönen elektronlar çekirdekteki protonlarla birleşiyor ve nötrona dönüşüyor. Yaklaşık bir Güneş kütleindeki madde, yarıçapı 10 kilometre olan bir küreye sıkışıyor. Yıldızın yapısı çok yoğun ve katı demir bir kabuk içinde sıvı durumda ve bir atom çekirdeği yoğunluğunda bir nötron denizinden oluşuyor. Nötron yıldızları çok büyük bir kütleçekim kuvvetine ve çok güçlü manyetik alanlara sahip oluyorlar. Bu manyetik alan, eski yıldızdan kalmış elektrik yüklü parçacıkları, kabuktaki elektron, pozitron ve iyonları bir rüzgâr halinde uzaya saçıyor. Yıldız, bu parçacıklardan başka, manyetik kutuplarından güçlü bir ışınım saçıyor. Başlangıçta, gama ışınları dahil elektromanyetik tayfın neredeyse her dalgaboyundan yayılan ışınım, yıldız yaşlandıkça radyo ışınımına dönüşüyor. Manyetik kutuptan çıkan ışınım, yıldızın dönme eksenini çevresinde bir koni oluşturuyor. Eğer yıldızın manyetik kutbu bizim görüş çizgimiz

üzerindeyse, yıldızın dönüş eksenini çevresindeki turunun bir noktasında Dünya'dan, güçlü bir radyo ışınım kaynağı olarak görünüyor. Bu ışınım öylesine düzenli aralıklarla geliyor ki, bu yıldızlara gökbilim dilinde atarca (pulsar) deniyor. Ancak nötron yıldızları, eğer ikili yıldız sistemlerindeyse eşlerinden, değillerse bazen yakından geçen bir yıldızdan madde çalabiliyorlar. Bu madde bir kütle aktarım diskini aracılığıyla yıldızın üzerine düşerken salınan kütleçekim enerjisi, X-ışınlarına dönüşüyor. Ayrıca çok yoğun yıldızın yüzeyine çarpan madde de nükleer tepkimeyle X-ışını yayıyor.

Bir nötron yıldızı çok hızlı bir dönmeyle doğuyor. Ancak 10-100 milyon yıllık bir süre boyunca giderek dönme hızları azalıyor. Gözleyebildiğimiz nötron yıldızlarının çoğu bunlardan. Bunlara radyo atarcaları da deniyor. Milisaniye atarcalarıysa, bazıları milyarlarca yıllık yaşlarda olmalarına karşın, çok hızlı dönüyorlar. Gökbilimciler, bu olguyu yaşlı nötron yıldızlarının, eşlerinden çaldıkları maddenin sağladığı açısal momentum sayesinde hız kazanmalarına bağlıyorlar. Gene gökbilimcilere göre, çalınan maddenin bıraktığı kütleçekimsel enerji nedeniyle çok parlak X-ışını kaynakları halinde görülmeleri gerekiyor. Ancak son 15 yıldır yapılan gözlemlerde böyle bir yıldız rastlanamamıştı. Bu yıldızların ilk somut örneği olan J1808-369 milisaniye atarcasının keşfini, NASA tarafından geçen yıl başında yörüngeye yerleştirilen Rossi X-ışını Zaman Ölçeri (RXTE) adlı uyduya



Geminga Dünya'ya 326 ışık yılı uzaklıkta bir atarca. Saniyede 4 kez gama ışını yayımlıyor.



borçluyuz. Şimdiye değin yapılanlar arasında en büyük ışık toplama alanına sahip X-ışını teleskopu. Çok büyük sayılarda foton toplayabildiği için, Samanyolu'nda kara delik ve nötron yıldızı içeren çiftli sistemlerden gelen X-ışınlarında oluşan milyonda bir ölçekli şiddet ve süre farklılıklarını saptayabiliyor. Bu sistemlere "X-ışını İkilileri" deniyor. Ancak bir nötron yıldızının, eşinden madde çalarak X-ışını yaydığı bu sistemlerdeki atarcaların, atma süreleri genellikle çok daha uzun; birkaç saniyeden, birkaç yüz saniyeye kadar değişiyor. Bunlar çoğunlukla büyük kütleli ve kısa ömürlü O ve B sınıfı mavi yıldızlardan oluşan genç sistemlerde bulunuyor. Bu genç nötron yıldızları, muazzam manyetik alanlara sahipler; yaklaşık  $10^{12}$  Gauss, yani Dünya'nın manyetik alanınının 1 trilyon katı kadar. Bu da nötron yıldızı çevresinde geniş çaplı bir manyetosfer oluşturuyor. Nötron yıldızı, bu manyetosfer nedeniyle ancak çevresinde dönen kütle aktarım diskinin hızı kadar bir hıza erişebiliyor. Çünkü manyetik alanı ile diskin iç çeperi arasındaki sürtüşme, hızını frenliyor.

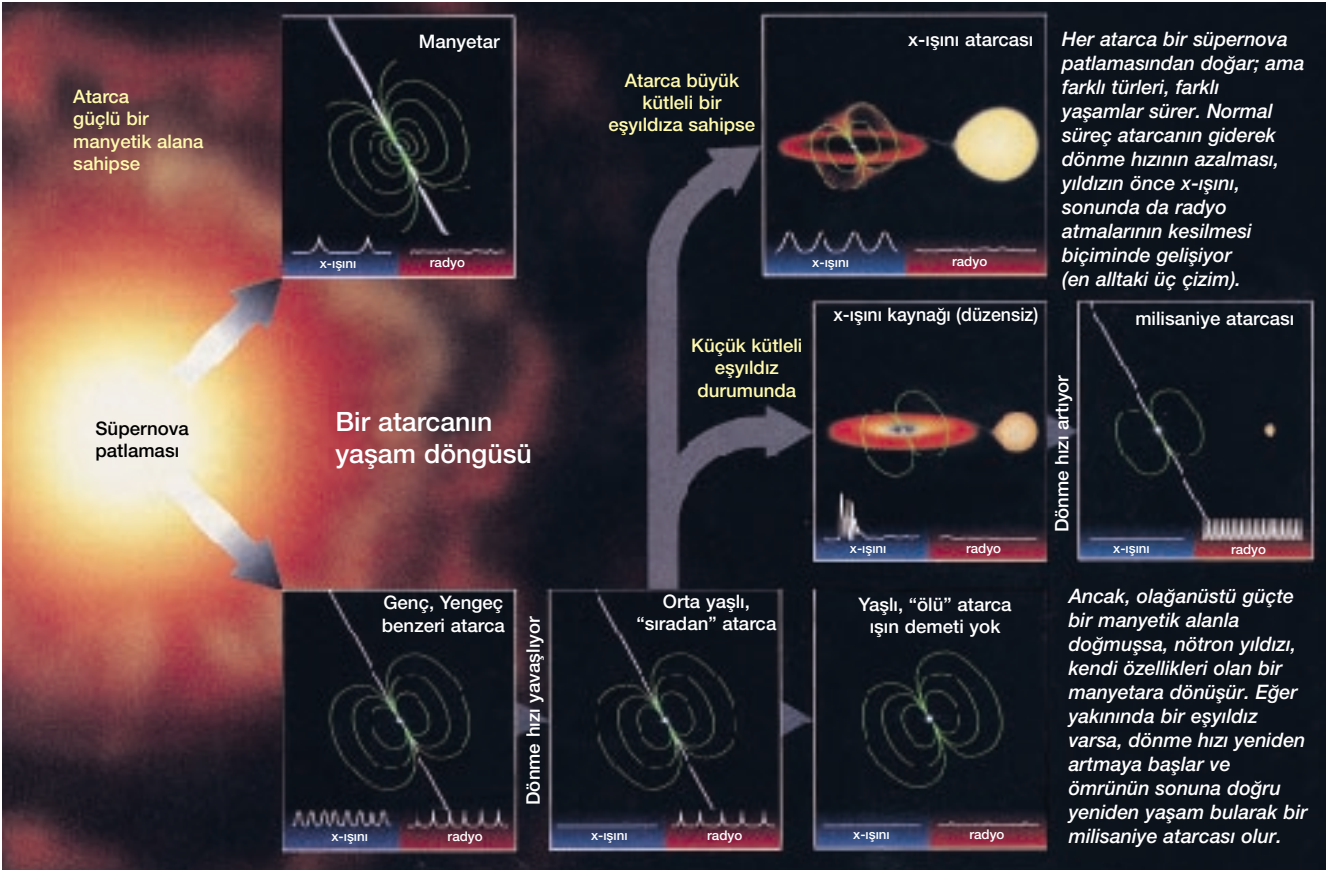
2,5 milisaniye dönme periyoduna sahip J1808-369 bunlardan değil. Mi-

lisaniye dönüşlü atarcalar için 1000 kat daha zayıf manyetik alanlı nötron yıldızları gerekiyor. Çünkü dönüşünü bir ya da birkaç milisaniyede tamamlayabilmesi için manyetosfer çapının birkaç on kilometreyi aşmaması gerekir. Ayrıca bu yaşlı yıldızların, kütle çaldıkları eşlerinin de küçük olması gerekli. Çünkü ancak Güneş ve daha küçük kütleli yıldızlar milyarlarca yılı aşan ömürlere sahip. Gökbilim dilinde bunlara Küçük Kütleli X-ışını İkilileri deniyor. RXTE uydusunun sağladığı verileri inceleyen gökbilimciler, nötron yıldızlarının genellikle 1,35 Güneş kütesine sahip olmalarına karşın, gözlenen yıldızın, eşinden uzun bir süre kütle çaldığı için 2 Güneş kütesine erişmiş olabileceğini, bu durumda da kütle yitiren eş yıldızın 0,18 Güneş kütesinde olması gerektiğini söylüyorlar. Aynı araştırmacılara göre nötron yıldızıyla eşi arasındaki uzaklık yalnızca bir ışık saniyesi, yani Dünya ile Ay arasındaki uzaklık kadar. Yıldızlar, birbirlerinin çevresinde iki saatte bir dönüyorlar. Sistem, bize 13 000 ışık yılı uzaklıkta.

Eğer J1808-369 düzensiz X-ışını yayımını sürdürürse, RXTE uydusuyla yapılacak daha uzun süreli gözlem-

ler, maddenin sıkışmış durumdaki yapısı konusunda bilinmeyenlerle, genel göreliliğin öngörülleri konusunda pek çok şeye ışık tutabilecek. Örneğin RXTE, başka gözlemleriyle, genel görelilik tarafından öngörülen marjinal kararlılıktaki yörüngeler konusunda kanıt oluşturabilecek veriler sunmuş bulunuyor. Uydu ayrıca, J1803-369 ve eşinin birbirleri çevresinde dönme süresini hassas bir biçimde iki saat olarak belirlediğinden, ileride bu sürede gözlenebilecek bir değişim, yörünge bozulmasının kütleçekimsel radyasyon nedeniyle mi, yoksa başka nedenlerle, örneğin manyetik frenleme nedeniyle mi olduğu konusunda bizi aydınlatacak.

Fizikçilerin ilgisini nötron yıldızları üzerinde yoğunlaştıran bir etmen, bunların çok sıkışık merkezlerinde, maddenin temel yapıtaşları olan kuarkların nükleon denen çekirdek parçaları (proton, nötron gibi) içinde değil, serbest biçimde bulunabilecekleri yolundaki inanç. Kuramsal fizikçilere göre, bir atom çekirdeğinin yaklaşık üçte birini parçacıklar, üçte ikisini de boşluk oluşturuyor. Bu durumda, standart bir çekirdeğin içinden üç kat daha yoğun bir ortamda kuarklar ser-



best kalabilir. Neredeyse 1,4 Güneş kütlesinin 10-15 km çapında bir küreye sıkışmış olduğu nötron yıldızlarının merkezlerindeki yoğunluk, bu kritik değere çok yakın olmalı. Kuarkları, 15 milyar yıl önce, Büyük Patlama'nın hemen ardından hapsedikleri zindandan kurtaracak yoğunluğun tam değeriye, yıldızdaki nötron kütlesinin, kendi kütleçekiminin zorladığı daha yoğun sıkıştırmaya direnme gücüyle yakından ilgili. Eğer nötron maddesi gevşek ve yumuşaksa, 1,4 Güneş kütlesi, nötron yıldızının merkezini daha da sıkıştırarak içindeki maddeyi serbest kuarklara dönüştürebilir. Ama eğer yıldızdaki nötron kütlesi sıkı ve dirençliyse, merkez, kuark maddeye dönüşmeden de kendi ağırlığına karşı koyabilir.

Gelgelelim, fizikçiler bir nötron yıldızındaki sıkışmanın gerçek değerini bilemiyorlar. Yıldızın daha da çökecek bir kara delik haline gelmesini önleyen itici kuvvetler, çekirdek parçacıkları, özellikle de yıldız oluşturan nötronlar arasındaki ilişkilerden kaynaklanıyor. Fizikçiler, bu parçacıklar birkaç tane olunca, aralarındaki itme, dışlama kuvvetlerini hesaplayabiliyorlar. Ancak bu parçacıklar yaklaşık bir buçuk Güneş kütlesi oluşturduğunda, hesaplar herhangi bir kimsenin harcı olmaktan çıkıyor.

Bu durumda bazı fizikçiler, nötron yıldızlarının merkezindeki madde durumunu, dolaylı yollardan öğrenebilmeyi umuyorlar. Onlara göre merkezi kuarklardan oluşmuş bir yıldız, ötekilerden farklı görünmeli. İş, bu farkların ne olabileceğini bulmakta. Astrofizikçiler, ışık ya da X-ışınları gibi sıradan ışınımın, bu konuda gerekli ipuçlarını veremeyeceğini düşünüyorlar. Çünkü bu ışınım yıldızın yüzeyinden geliyor ve içi ister kuark olsun, ister nötron, değişmiyor.

Böyle olunca, merkezdeki maddenin durumu konusunda işaret verebilecek yalnızca iki aday kalıyor: Birincisi, yıldızın soğuma biçimi, ikincisiyse dönme rejimi.

Bir nötron yıldızının soğuma biçimi, başlangıçta hemen tümüyle nötrino atımı biçiminde gerçekleşiyor. Nötrinolar, bir protonla elektron sıkışarak birleştiğinde ortaya çıkan, son derece küçük kütleli ve o ölçüde hızlı (ışık hızına yakın) parçacıklar. Nötron yıldızı

yaşam döngüsünün yaklaşık ilk bir milyon yılında çok sıcak olduğundan sıkışma hızı ve şiddetli biçimde sürüyor ve merkezden yoğun miktarda nötrino kaçıışı görülüyor. Zaman geçtikçe henüz birleşmemiş elektron ve proton stoğu azalıyor ve nötrino yağmuru da sona eriyor. Yıldız, bundan sonra yüzeyinden X-ışınları yayımlayarak soğumasını sürdürüyor. Şiddetli Çekirdek Kuvvetini ve dolayısıyla da kuarkların etkileşimini açıklayan Kuantum Renk Dinamiği, serbest kuarklardan oluşan maddenin, sıradan çekirdeksel maddeye göre çok daha fazla nötrino yayması gerektiğini söylüyor. Bu durumda da, merkezi kuarklardan oluşmuş bir yıldızın, nötron merkezli bir yıldızla göre çok daha hızlı biçimde soğuması gerekiyor. Araştırmacılar, bilinen nötron yıldızlarının yaşlarını ve sıcaklıklarını ölçerek bir "soğuma eğri-



si" belirlemeye çalışıyorlar. Ancak gözlemler şimdiye kadar yeterince hassas olmadığından güvenli bir savda bulunmak için yeni uydularla daha hassas ölçümler bekleniyor. RXTE'nin sağladığı olağanüstü hassaslıktaki verilerin, bu boşluğun doldurulmasına yardımcı olacağı sanılıyor.

Merkezdeki serbest kuarkları ele verecek ikinci bir anahtarsa, ölçülmesi çok daha kolay olan dönme hızları. Araştırmacılar, dönme hızlarında ortaya çıkacak değişmelerin, merkezdeki serbest kuark varlığına bir kanıt olabileceği görüşündeler. Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı'nda görevli parçacık kuramcısı ve astrofizikçi Norman Glendenning'e göre dikkatler bundan böyle milisaniye atarcalar üzerinde yoğunlaştırılmalı. Ancak ne yazık ki, bizim J1808-369, serbest kuark avı için "şimdilik" fazla uygun de-

ğil. Çünkü dönme hızındaki artışı, yan başında bulunan parçacık çaldığı eşine borçlu. Oysa merkezi kuarklardan oluşmuş bir "nötron" yıldızının, kendini çevresel bir etken olmadan, yani eşini tümüyle yiyip bitirdikten ve yavaşladıktan sonra, birdenbire kendiliğinden hızlanmasıyla belli etmesi gerekiyor.

Glendenning'e göre yıldız, eşini tükettikten sonra yeniden hızlandırılan mekanizma şöyle işliyor: Önce, azalan dönüş hızı merkezkaç kuvvetini zayıflatıyor ve yıldızın yeniden kendi üzerine yığılan maddesi merkezdeki yoğunluğu artırıyor. Bu noktada eğer kuarklar, nötronlardan kurtulmayı başaramazlarsa, yıldızın merkezi ancak yüzde bir-iki ölçüde sıkışıyor ki, bunun da dönme hızı üzerinde izlenebilir bir etkisi olmuyor.

Kuarkların kabuklarından kurtulmaları durumundaysa yıldızın merkezi yüzde 30 daha fazla sıkışıyor; çünkü serbest kuarklar birbirlerini nötronlardan daha zayıf biçimde itebiliyorlar. Sıkça verilen bir örneği yineleyecek olursak, kollarını gövdesinde kavuşturan bir buz patencisi gibi, yıldızın yaşama süreci tersine dönüyor ve yıldız giderek artan bir hız kazanıyor.

Glendenning, böylesine durup dururken hızlanan atarcaları saptamanın zor olmadığı görüşünde. Ona göre gökbilimcilerin yapacakları, bir radyo teleskopla herhangi bir nötron yıldızını 20 dakika süreyle izlemek. Ancak, hedef doğru seçilecek: Dönüşünü etkileyecek bir eş bulunmayan, bir milisaniye atarçası... Hesaplarına göre yıldızın hız kazanması süreci 20 milyon yıl kadar sürüyor. Bu da hız yitimi süresinin yalnızca 50'de biri. Araştırmacı, bu durumda gökbilimcilerin, yeterli niteliklere sahip 50 atarca içinden birinde bir hızlanma gözlemleri gerektiğini söylüyor. Şimdiye kadarsa, aranan nitelikte 25 atarca gözlenmiş. Bu durumda, yoğun madde konusundaki öngörülerimiz için bilgisayarlarımızın sunmakta aciz kaldığı kanıtı, çok uzaklardan göz kırpan bir atarca başladığı son ölüm dansıyla bize sunabilir.

Raşit Gürdilek

Kaynaklar  
Chakrabarty, D. & Morgan, E. H., "The Two-hour Orbit of a Binary Millisecond X-ray Pulsar", *Nature*, 23 Temmuz 1998,  
Coontz, R., "Escape from the Nucleon", *New Scientist*, 15 Mayıs 1999  
White, N. E., "A Period of Change", *Nature*, 23 Temmuz 1998  
Winn, J. N., "The Life of a Neutron Star", *Sky & Telescope*, Temmuz 1999