

Nötron Yıldızı Nedir?

M. Ali Alpar
ODTÜ Fizik Bölümü

Nötron yıldızları bildiğimiz en yoğun, en sıkışık yıldızlar. Güneş'inki kadar kütleyle sahip tipik bir nötron yıldızında yaklaşık 2×10^{27} ton madde var. Birçok yıldızın kütlesi bu kadar veya daha da fazladır. Ancak Güneş bu kütleyle 700,000 km yarıçapında bir hacim içerisinde tutarken nötron yıldızında yarıçap sadece 10 km kadar. Nötron yıldızlarında ortalama yoğunluk son derece yüksek: 1 cm^3 hacime tam 500 milyon ton madde sıkışıyor. Maddenin normal halinde bilinen en yüksek yoğunluk; atom çekirdeklerinin içinde santimetre küpe düşen 280 milyon ton'luk yoğunluktur. Ama bu yoğunluk, atom çekirdeğinde sadece 10^{-36} cm^3 kadar bir hacim içinde geçerli iken, nötron yıldızında Güneş'inki kadar olan kütle, bu yüksek yoğunlukta 10 km yarıçapında bir küre oluşturuyor! Bu kadar kütle biraz daha çökmüş, 10 km yerine 3 km'nin altında yarıçapı olan bir hacmin içine inmiş olsaydı bir kara delik olacaktı. Bundan; nötron yıldızlarının kara deliklerden sonra en fazla çökmüş cisimler olduklarını anlıyoruz. Kara deliklerin ilke olarak kütle, açısal momentum ve varsa elektrik yükü gibi yalnızca üç özellik dışında gözlenemez oldukları da gözönüne alınırsa, maddenin en yoğun olarak nötron yıldızlarında gözleendiği ortaya çıkar. Bu kadar küçük olmaları sonucu nötron yıldızlarının kimi saniyede bir kez, en hızlı ise saniyede 642 kez gibi çok yüksek dönme hızına sahipler. Tıpkı bir buz patencisinin kollarını içeri çektiği zaman hızlanması gibi, yıldızlar da evrim sonunda çöküp nötron yıldızı boyutlarına inene kadar küçüldüklerinde, açısal momentumun korunması sonucu, bu yüksek hızlara ulaşırlar. Bu yüksek hızlar yalnızca gözlediğimiz en yüksek hızlar değil, aynı zamanda herhangi bir yıldız ulaşabileceği

en yüksek hızlardır. Bir cisim belli bir maksimum hızdan daha hızlı dönerse merkezkaç kuvveti kütle çekiminden daha fazla olacak ve yıldız savrulup dağılacaktır.

Yıldızın yüzeyindeki merkezkaç kuvvetini kütleçekimi kuvvetine eşitlersek maksimum dönme hızının saniyedeki dönme sayısını Hertz birimiyle $v = (G \rho / 3\pi)^{1/2}$ olarak buluruz. Burada G, Newton'un evrensel kütleçekim sabiti; ρ ise yıldızın ortalama yoğunluğudur. Demek ki bir yıldız ne kadar yoğunsa o ölçüde hızlı dönebiliyor. Gözlenebilir en yoğun yıldızlar olan nötron yıldızları gözleyebileceğimiz en yüksek dönme hızlarına ulaşabilirler. Bir nötron yıldızının dönme etkisiyle dağılacığı maksimum hız 2000 Hertz kadardır. Gözlediğimiz saniyede 642 kez dönme bu yıldızların ulaşabileceği en yüksek dönme hızından yalnızca yaklaşık üç kez daha küçüktür! Nötron yıldızlarının küçük boyutları, hızlı dönmelerin yanısıra birde $10^9 - 10^{12}$ Gauss arasında çok kuvvetli manyetik alanlara yol açmaktadır.

Nötron Yıldızlarını Nasıl Gözlüyoruz?

550 kadar nötron yıldızını "radyo pulsar" olarak, 100 kadar nötron yıldızını da "X-ışını çiftyıldızları" olarak görüyoruz. Radyo pulsarlar kuvvetli manyetik alanı olan ve hızla dönen nötron yıldızlardır. Dönen mıknatısın oluşturduğu dinamo, elektrik yüklü parçacıkları hızlandırır. Böylece yıldızın çevresinde oluşan değişken akımların saldıkları radyo dalgaları ile nötron yıldızı doğal bir radyo istasyonu oluşturur. En aktif pulsarlardan aynı zamanda ışık, X (Röntgen) ve gama ışınları da yayılır. Radyo dalgaları manyetik alana göre belirlenen belli yönlerde yayıldığı; bu huzmenin yönü de yıldızın manyetik eksenini ile birlikte, yıldızın dönme eksenini etrafında dönerek uzayı taradığı için biz nötron yıldızının her dönüşünde bir kez radyo sinyali alırız, tıpkı dönen bir deniz fenerinin ışıladığını her dönüşte bir kez gördüğümüz gibi.

Radyo pulsarların nötron yıldızı olduklarını nereden biliyoruz? Pulsar peri-

yodları son derece dengeli olup yıldızın yavaşlamasından kaynaklanan hafif bir etkinin dışında hiç değişmezler. Bir yıldızın yapabileceği hiçbir titreşme, hiç bir periyodik hareket bu kadar dengeli bir periyod veremez. Ancak dönme, açısal momentum korunduğu için, bu kadar dengeli bir periyoda yol açabilir. Peki pulsarlar dönen yıldızların hangi türünü oluşturur? Periyodların kısalığı (dönme hızlarının yüksekliği) yalnızca nötron yıldızlarında bulunan yüksek yoğunluklara işaret ediyor. Böylece radyo pulsarların, nötron yıldızları olduklarını biliyoruz. Zaten radyo pulsar olarak aktif olmaları da yüksek dönme hızından ve kuvvetli manyetik alandan, yani nötron yıldızlarının bunca sıkışık cisimler olmalarından kaynaklanıyor.

X-ışını çiftyıldızlarında ise bir nötron yıldızı ile başka bir yıldız yörüngede bir-biri etrafında dönerler. Eşyıldız kimi durumda yüzeyinden madde kaybeder ("yıldız rüzganı"). Çoğu çiftyıldızda da eşyıldız o kadar çok şişer ki yüzey katmanları, eşyıldızın kendi kütleçekiminden çok nötron yıldızının kütleçekimi etkisine girerler. Buna astrofizikçiler "Roche bölgesinin taşması" derler. Bir çiftyıldız sisteminde her bir yıldızın Roche bölgesi o yıldızın kütle çekiminin baskın olduğu hacimdir. Yıldız rüzganı veya Roche bölgesinin taşması yoluyla eşyıldızın kaybettiği maddenin önemli bir kısmı nötron yıldızının üzerine düşer. Nötron yıldızının çekimiyle düşen madde hızlanır. Bir gram madde uzaklardan gelip nötron yıldızının yüzeyine inerken GM/R kadar potansiyel enerji kinetik enerjiye; sonra da maddenin nötron yıldızı yüzeyine çarpıp durması ile, ısıya dönüşür. Burada M nötron yıldızının kütlesi, R de yarıçapıdır. Bu enerji, ısınan nötron yıldızı yüzeyinden ışına olarak yayılacaktır. Eşyıldızdan nötron yıldızına kütle aktarımı saniyede m gram ise, saniyede ısıya dönüşen enerji de GMm/R erg/saniyedir. 10^{16} gm/saniye mertebesindeki tipik bir kütle aktarım hızı m, nötron yıldızında GMm/R , 10^{36} erg/saniye gibi yüksek bir ışına şiddeti verir. Işıyan bir yüzeyin sıcaklığı ile birlikte yaydığı ışımının arttığını ve ışımının renginin değiştiğini, örneğin kızgın bir metalin önce kırmızı, daha yüksek sıcaklıklara çıkılınca da akkor halinde ışıdığını ve parlaklaştığını; yani çıkan ışımının şiddetlendiğini hepimiz biliriz. Sıcaklık T derece ise birim yüzey alanından saniye-



de ışıma yoluyla σT^4 kadar, nötron yıldızının tüm yüzeyinden de $4\pi R^2 \sigma T^4$ kadar enerji yayılır ($\sigma = 5.7 \times 10^{-5}$, "Stefan-Boltzmann sabiti"). $GM/R = 4\pi R^2 \sigma T^4$ diyerek nötron yıldızı yüzeyi için $T = 10^7$ derece sıcaklık buluruz. Bu sıcaklıkta bir yüzeyden çıkan ışıma, X-ışınları "renği"ndedir. Radyo dalgaları, ışık, ultraviyole, X ve gama ışınları hep elektromanyetik ışımının değişik renkte, yani değişik frekanstaki şekilleridir. Işıyan bir yüzeyden çıkan ışımının frekansı, ya da eşdeğer bir deyişle, çıkan fotonların enerjileri, yüzeyin sıcaklığı ile orantılıdır. Görüyoruz ki kütle aktarımı sonucu nötron yıldızlarının bu kadar çok ışımaları ve X-ışını verecek sıcaklıklarda olmaları, doğrudan doğruya yarıçaplarının küçük olmasının bir sonucudur. Bu yüzden ısıya dönüşen potansiyel enerji çoktur ve yine bu yüzden küçük yüzey alanı bu yüksek sıcaklıklara kadar ısınmaktadır.

Nötron yıldızlarından daha büyük olan bir diğer çökmüş cisim türü, beyaz cüceler, $R = 1000 \text{ Km} - 10000 \text{ Km}$ olan yarıçapları ile, bir çiftyıldızda kütle aktarımına maruz kaldıklarında; aynı kütle aktarımı altındaki bir nötron yıldızından 100 - 1000 kat daha az bir ışıma şiddeti ile enerji yayarlar. Beyaz cücelerinin sıcaklıkları da nötron yıldızlarınınkinden epeyce düşük olduğundan bu yıldızlardan tipik olarak X değil, morötesi (ultra viyole) ışınımı veya ışık çıkar. Beyaz cücelerden ve nötron yıldızlarından daha da küçük en aşırı çökmüş yıldız türü olan kara delikler ise doğrudan gözlenemezler. Ancak dönerek kara deliğe düşmekte olan maddenin oluşturduğu kütle aktarım diskinin, X-ışını dalga boylarında ışıyabileceği ve bu X-ışımının bazı karadelik adaylarından gözlemlendiği düşünülmektedir.

Görüyoruz ki fizikçiler için nötron yıldızlarını çok ilginç kılan, sahip oldukları bu korkunç yoğunlukları, Astronomlar içinse bu cisimler ayrıca yıldız evriminin mümkün sonlarından biri; yani yine çökmüş cisimler oldukları için ilginç. Bu yıldızları gözlenebilir kılan da yine çok küçük olmaları. Gerek radyo pulsarlar gerekse X-ışını çiftyıldızları; küçük olmalarından kaynaklanan yüksek dönme hızları, kuvvetli manyetik alanları ve büyük kütleçekimi potansiyelleri sayesinde gözlenmektedirler. X-ışını astronomisinin ve tabii Spektrum X-Gama'nın galaksimizdeki en gözde hedefleri işte bu yüzden X-ışını çiftyıldızlarındaki nötron yıldızları.

Spektrum X-Gama ile özellikle X-ışını çiftyıldızlarını gözlemeyi planlıyoruz. Radyo pulsarlar arasında ise en genç olanları; henüz oluşumlarından kalan ısıyı tamamen kaybetmedikleri için, ya da sürtüşme, manyetosferle etkileşme gibi çeşitli ısınma mekanizmalarından dolayı X-ışınları da veriyorlar. Bu genç pulsarların saldıkları X-ışınlarını gözleyerek nötron yıldızlarının yapısı ve soğuma mekanizmaları üzerine bilgi alabiliriz.

Milisaniyelik Pulsarlar, X-ışını Çift-yıldızları, Yaklaşık Periyodik Osilasyonlar

Başka sistemlerin, X-ışını çiftyıldızlarının incelelenmesi; özellikle milisaniyelik çok kısa periyodlu veya çiftyıldızda bulunan radyo pulsarlar için önem taşıyor. Bu radyo pulsarların eskiden bir çiftyıldız sisteminde kütle aktarımı altında X-ışını veren nötron yıldızları olduklarını sanıyoruz.

En hızlı pulsarlar, dönme periyodu milisaniyeler mertebesinde kısa olan "milisaniyelik" pulsarlar; bir çiftyıldız sisteminde oluşmuş ve oluşumdan sonra eş-yıldızdan nötron yıldızı üzerine dönerek düşen kütle aktarımı ile iyice hızlanmış olmalıdır. Çeşitli gözlemlerle desteklenen bu fikre göre, milisaniyelik radyo pulsarlarla, kütle aktarımından kaynaklanan X-ışınları salan X-ışını çiftyıldızları arasında evrimsel bir bağlantı vardır. X-ışını çiftyıldızları arasında özellikle düşük kütleli olanların yaşlı oldukları ve yine yaşlı olan milisaniyelik pulsarların da bunlardan türediği düşünülmektedir. Kütle aktarımı eğer Roche bölgesinin taşmasından kaynaklanıyorsa, aktarılan kütle açıl momentum taşıdığı için bir disk oluşturup bu disk içinden nötron yıldızına akar.

Diskin içinde maddenin dönme hızı nötron yıldızına yaklaştıkça artar. Diskin iç sınırının nötron yıldızına ne kadar yaklaştığını yıldızın manyetik alanı belirler. Yaşlı ve manyetik alanı, belki de zamanla söndüğü için, zayıf olan bir nötron yıldızının etrafındaki disk nötron yıldızının çok yakınlara kadar erişir. Böyle olunca yıldızın aktarılan madde daha hızlı dönerek

gelir. Manyetik alanı zayıf bir nötron yıldızının; kütle aktarımı ile, manyetik alanı kuvvetli olan bir yıldızla göre çok daha yüksek dönme hızlarına ulaşacağını hesaplarız. 1982'de ilk milisaniyelik pulsar bulunduğu, daha manyetik alanı belirlenmeden, bu yıldızın bir çiftyıldızda kütle aktarımı ile hızlanmış olduğu tahmin edildi ve ulaştığı



yüksek dönme hızına bakarak, manyetik alanının küçük değeri hesaplandı. Bu sonuç sonraki manyetik alan belirlenmesi ile doğrulandı. Senaryoya göre düşük kütleli yaşlı X-ışını çiftyıldızlarında nötron yıldızının milisaniyeye yakın periyodlarda olması beklenir. Bu X-ışını kaynaklarında milisaniyelik periyod hâlâ bulunamadı, ama aramalar "yaklaşık periyodik osilasyon" (YPO) denen yeni bir olgunun bulunmasına yol açtı. YPO, dönme periyodu gibi kesin bir periyod değildir. Yıldızın X-ışını parlaklığının birbirine yakın birçok periyodda dalgalanmalar yaptığı gözlenmektedir. YPO'nun ortalama frekansı, yıldızın ortalama X-ışını parlaklığına bağlı olarak artar. Bu olayın modellenmesi ile yıldızın doğrudan gözlenemeyen manyetik alanı ve dönme periyodunu bulmak mümkün olmuştur. Modelin birçok X-ışını çiftyıldızında milisaniyelik pulsarlarınkine benzer 10^9 Gauss şiddetinde manyetik alanlar ve 10 milisaniyelik mertebelerdeki periyodlara işaret etmesi hem modeli, hem de milisaniyelik pulsarların bu X-ışını çiftyıldızlarından geldikleri savını güçlendirdi.

Son zamanlarda kara delik adayı bazı X-ışını çiftyıldızlarında da farklı nitelikte YPO'lar gözlemlendi. YPO'lar aracılığıyla galaksimiz Samanyolu'nun en ilginç X-ışını kaynaklarını daha iyi öğrenmeyi umuyoruz.