PULSARLAR

M. Ali ALPAR*

"Pulse" (atış) kelimesinden kaynaklanan pulsar adıyla andığımız gökcisimleri iki sınıf. Galaksimizde şimdiye dek 450 kadar bilinen radyo pulsarlar, saniye mertebesinde veya daha kısa periyodlarla atışlar halinde radyo sinyali aldığımız kaynaklar. Bunların 7 tanesi çift yıldız sistemlerinde. İlk radyo pulsar 1967'de o tarihlerde doktora öğrencisinden Jocelyn Bell tarafından bulundu. X-ışını pulsarları ise 25 tane kadar. Bunların tümünün çift yıldız sistemlerinde bir nötron yıldızına eş yıldızdan kütle aktarımı sonucu X-ışını yaydıkları düşünülüyor. Bu X-ışını pulsarlarının ilk örnekleri 1970'lerin başında atılan Uhuru uydusu ile bulundu. (R. Giacconi et al.) X-ışını pulsarlarının periyodları 1 s.–800 s. arasında. Bu periyodların nötron yıldızının dönme periyodu olduğu düşünülüyor. Ayrıca çift yıldız olduklarını gösteren eklips olayları ve atış periyodlarında yörünge hareketini yansıtan Doppler kaymaları var. Yörünge periyodları saat ve gün mertebesinde. X-ışını pulsarlarına akraba bir sınıf X-ışını kaynağı da galaktik göbek (galactic bulge) kaynakları. Bunlar 20 kadar, çok yakın, düşük kütleli, öbek II çift yıldızları oldukları sanılıyor. Bunlarda nötron yıldızlarına atfedilecek dönme periyodları gözlenmiyor. Yine de bir nötron yıldızına kütle aktarımının X-ışınlarına kaynak olduğunu gerek bazılarının spektrumlarının nötron yıldızı yüzeyinden kara cisim ışımasına işaret etmesinden, gerekse bu kaynaklarda görülen X-ışını patlamalarının analizinden anlıyoruz.

X-ışını ve radyo pulsarların nötron yıldızı oldukları periyodlarından anlaşılıyor. Gözlenen periyodlar zamanla değişiyor ama bu değişmenin hızı o kadar küçük, periyodlar o kadar dengeli ki, bu stabilite ancak gözlenen periyodun bir yıldızın dönme periyodu olması ile açıklanabiliyor. Öte yandan dönen bir yıldızda kütle çekiminin merkezkaç ivmesini den-

* TÜBİTAK-Temel Bilimler Araştırma Enstitüsü Gebze-Kocaeli 41470.

geleyebilmesi için dönme hızı $\Omega \leq (4\pi/3\ G\rho)^{1/2}$ olmalı. (Burada G kütle çekimi sabiti, ρ ise yıldızın yoğunluğu). Period $P = 0.1$ s. olduğunda, $\rho \leq 10^{10}$ gm./cm^3 bulunuyor ki, bu şartı sağlayan ortalama yoğunluklar ancak nötron yıldızlarında bulunuyor.

Teorik olarak nötron yıldızı fikri 1932 yılında, nötronun Chadwick tarafından keşfinden hemen sonra Landau tarafından ortaya atıldı. Landau, bu yeni parçacığın yüksek yoğunluklarda bir yıldızı kütle çekimine karşı dengede tutabileceğini gördü. Bu yeni yıldız konumu, güneş kütlesi mertebesinde kütleyi 10 Km. mertebesinde yarıçapı olan bir hacime sıkıştırıyordu. 1934'te Baade ve Zwicky bu konumun kütle çekimsel bağlanma enerjisinin denk olduğunu görerek, nötron yıldızlarının süpernova patlamaları ile oluştuğunu anladılar. Tolman, Oppenheimer ve Volkoff 1938 de ilk nötron yıldızı yapı hesabını yaptılar. Bu tarihten sonra uzun süre nötron yıldızlarına yalnızca teorik bir imkân, gözlenmesi olanaksız bir yıldız türü gözüyle bakıldı. Çünkü optik bantta ışıyan, diyelim ki 5000°K yüzey sıcaklığına sahip, ama sadece 10 Km. çaplı bir yıldız, 10^{-10} $L_\odot$ kadar bir ışıma şiddeti verecekti. Bu yıldızların ısısal olmayan mekanizmalarla çok daha fazla enerji verebileceklerini ilk kez 1967 de (pulsarların bulunuşu ile aynı yılda, ama bu buluştan ö n c e) Pacini düşündü. Pacini'nin hemen sonra gözlemlerle doğrulanan savı şöyleydi: 10 Km. yarıçaplı bir yıldız, çökme sırasında açısal momentum ve manyetik akı korunmuşsa, meselâ güneş gibi "olağan" yıldızlara göre çok daha hızlı dönecek ve çok kuvvetli bir mıknatıs alanı taşıyacaktır. Bu durumda yüksek voltaj üreten bir dinamo söz konusu idi. Isısal olmayan bu enerji üretimi yüksek enerjili yüklü parçacıklar ve elektromanyetik radyasyon üretecekti. Radyo pulsarların açıklanması da bu şekilde. X-ışını pulsarları ise enerjilerini kütle aktarımından alıyorlar. $\dot{M}$ eşyıldızdan kütle aktarım hızı ise, bu maddenin M kütleli ve R yarıçaplı nötron yıldızı yüzeyine düşmesi ile saniyede $GM\dot{M}/R$ kadar enerji açığı çıkmalı. Bu enerji üretimi nötron yıldızı yüzeyinden ısısal olarak ışırsa, kara cisim ışıma sıcaklığı $T \sim 10^7$ °K civarında bulunuyor ki bu da ışımanın X-ışını bandında olduğunu gösteriyor.

Tekrar radyo pulsarlara dönelim. Dönen bir dinamo olarak düşündüğümüz nötron yıldızı saniyede $2\ B^2R^6\Omega^4/3c^3$ kadar elektromanyetik enerji kaybeder. Burada B yıldızın yüzeyinde dipol mıknatıs alanı, R yarıçapı, Ω dönme hızı, c ise ışık hızı. Bu enerji kaybı yıldızın dönmesini yavaşlatır. Dönme enerjisindeki azalma saniyede $I\Omega\dot{\Omega}$ kadardır. ($I \sim$

10^{45} gm-cm^2 nötron yıldızının eylemsizlik momenti, $\dot{\Omega}$ ise dönme ivmesi). $I\Omega\dot{\Omega} = 2\ B^2R^6\Omega^4/3c^3$ eşitliğinden gözlenen $\Omega,\dot{\Omega}$ değerleri ve teorik I,R değerleri kullanılarak pulsarların çoğunda B $\sim 10^{12}$ Gauss olduğu bulunur. Üretilen elektromanyetik enerji, pulsar boşlukta olsa idi 2Ω frekanlı çok uzun dalga boylu dipol radyo dalgaları halinde yayılacaktı. Ancak yıldızlararası ortam kısmen ionlaşmıştır. $\omega_p = (4\pi n_e e^2/m)^{1/2}$ şeklindeki plazma frekansının altındaki frekansları geçirmez. Burada n_e elektron yoğunluğu, e ve m elektronun yükü ve kütlesidir. $n_e \sim 0.1$ cm olan yıldızlararası ortamın, P ~ 1 s., $\Omega \sim 2\pi$ rad s^{-1} olan pulsar dipol radyo dalgalarını geçirmeyeceği açıktır. Yayılan enerji, nötron yıldızı çevresinde oluşan manyetosferde yüklü parçacıkların kinetik enerjisine ve bunların yol açtığı yüksek frekanslardaki elektromanyetik radyasyona aktarılır. Pulsarların çoğundan MHz frekanslarda gözlenen atışlı radyo sinyalleri ve en geç iki pulsardan (Yengeç ve Vela pulsarları) alınan atışlı optik, X-ışını ve Υ-ışını sinyalleri bu tür ikincil radyasyondan kaynaklanırlar. Pulsarlardan bu şekilde g ö z l e n e n akı tüm enerji üretimi $I\Omega\dot{\Omega}$'nın 10^{-2} ile 10^{-6} arasında çok küçük bir kısmıdır. Gerek enerji bütçesinin ancak küçük bir kısmını doğrudan gözleyebildiğimiz için, gerekse de hızlı dönen bir manyetosferdeki elektromanyetik olayların karmaşıklığı yüzünden, pulsarların enerji üretiminin detaylı ve tutarlı bir teorisi henüz yok. Ancak, pulsarlardan alınan sinyalin neden periyodik atışlar halinde olduğunu anlamak güç değil. Üretilen radyo dalgaları manyetosferin simetrisine göre belli yönlere yayılacaktır. Manyetik eksen dönme eksenine paralel değil (olsaydı, dinamo çalışmazdı). Böylece dalganın yayılma yönü, manyetik eksenle birlikte, dönme ekseni etrafında dönüyor. Tıpkı bir deniz feneri gibi, her dönmede bir kez bu yön bize bakabiliyor, o zaman bir atış alıyoruz.

Pulsarların tipik gözlemsel özellikleri arasında MHz bandında spektrumlarının $\nu^{-\alpha}$ (α = 1–2) şeklinde olması, gösterdikleri yüksek çizgisel ve dairesel polarizasyon, radyo sinyallerinin yıldızlararası ortamın etkisiyle kırpışması (scintillation) var. Yıldızlararası ortamın değişik frekanslar için farklı elektromanyetik dalga hızları vermesi sonucu iki ayrı frekansta yapılan gözlemler, atışların bu iki frekanstaki dalgalar için farklı zamanlarda bize vardığını gösteriyor. Bu özellik kullanılarak, gözlemlerden "dispersion measure" DM $= \int n_e\, dl$ şeklinde tanımlanan pulsarla dünya arasında elektron yoğunluğu n_e'nin integrali elde ediliyor. Galaksideki elektron dağılımı (n_e) için modeller kullanılarak DM'den pulsarın bize olan mesafesi elde edilebiliyor. Pulsarlar için

genel mesafe tâyin yöntemi böyle. Gözlemler radyo teleskopların duyarlığı ile akı sınırlı olduğundan, ortalama 5 kpc kadar uzaklıklardan ötede pulsarları göremiyoruz. Pulsarların galaksideki dağılımı, galaktik düzleme göre simetrik, 400 pc. kadar bir ölçek yüksekliği var. Pusarların çoğunun öbek I gökcisimleri oldukları, ancak ataları olan OB grupları ve süpernova artıklarına göre düzlemden daha uzak olmalarının 100 km s^{-1} mertebesindeki hızlarından kaynaklandığı görülüyor. Bu yüksek hızlarsa muhtemelen radyo pulsarların vaktiyle içinde oluştukları, bugünkü X-ışını çiftyıldızlarına benzeyen çiftyıldız sistemlerinin süpernova patlaması ile parçalanması sonucu, yörünge hızlarının pulsara aktarılmasından kaynaklanıyor. Pulsarların çiftyıldız sistemlerinde oluştukları fikri, 1982 de ilk örneği bulunan ve bugün 3 tanesini bildiğimiz milisaniye mertebesinde periyodlu pulsarların varlığıyla kuvvet kazanıyor. Bu üç milisaniyelik pulsardan ikisi halâ çiftyıldız sistemlerinde. En hızlıları olan PSR 1937 + 21, saniyede 600 kez dönüyor, bu dönme frekansı standart oktavdaki mi bemole karşı gelen bir audio frekans. Milisaniyelik pulsarlar, bunca hızlı dönmelerine karşın çok düşük manyetik alanlara sahipler, önce teorik, sonra P'nin ölçülmesiyle gözlemsel olarak kestirilen manyetik alanları B $\sim 10^8$–10^9 Gauss, yani tipik pulsarların manyetik alan değeri 10^{12} Gausstan 3–4 büyüklük mertebesi aşağıda. Eğer bu pulsarların dönmeleri vaktiyle galaktik göbek X-ışını kaynakları gibi bir çiftyıldızda kütle aktarımı sırasında hızlandırılmışsa, düşük manyetik alanla hızlı dönme arasında burada sadece değinmekle yetineceğimiz bir birliktelik var. Böylece radyo pulsarların bu yeni bulunan sınıfı, X-ışını kaynakları ile radyo pulsarlar arasında evrimsel bir bağ olduğuna, ikincilerin birincilerden türediğine işaret ediyor. Bu fikir, 1985 yılında galaktik göbek X-ışını kaynaklarında, milisaniyelik pulsarlara yakın hızda (40–50 Hz) yaklaşık periyodik salınımlar gözlenmesiyle destek kazandı.

Burada genel hatlarıyla, bazı yönlerine değindiğim pulsarlar bize pek çok ilginç süpriz sunmaya devam ediyorlar. Bu konuşmayı bu süprizlerden biri ile bağlayacağım: Yukarıda değindiğim en hızlı dönen pulsar, PSR 1937+21, 1.5 ms periyoduna karşın $\dot{P} = 10^{-19}$ s-s^{-1} gibi son derece küçük bir periyod türevi gösteriyor. Bir saat olarak düşünülürse, bu pulsarın şaşması için gerekli zaman ölçeği $P/\dot{P} \sim 5x10^8$ yıl. Pulsarlarda yaygın olarak gözlenen zamanlama gürültüsü, yani dönme fazı, dönme frekansı ve türevinde görülen stokastik sapmalar da bu pulsarda son derece zayıf. Bir kaç yıl gözlem süresi içinde bu sapmalarda artış olmazsa, PSR 1937+21, en hassas Cesium saatlerinden daha has-

sas bir zaman ölçeği verecek. Böylece, Cesium saatlerinin oluşturduğu bir saat bankasına göre kalibre edilen PSR 1937+21, insanoğlunun en hassas zaman standardı haline gelebilecek: yani astronomik gözlemler artık yine astronominin doğada bulup bize sunduğu bir saatle zamanlanacak. Onca egzotik görünen bu pulsar, belki de güneş sistemimizde uzak gezegenlerin hareketlerini duyarlılıkla izlememizi sağlayacak.