

Çift Pulsarlar ve Genel Rölativiteye Etkisi

Hüseyin KOÇER^{1,*}, Mehmet TANRIVER^{2,3}

¹ Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri
Anabilidali, Kayseri

² Erciyes Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Gözlemevi Uygulama ve
Araştırma Merkezi, Kayseri

³ Erciyes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Kayseri

Özet Çekirdek kütlesi kritik Chandrasekhar kütlesini geçen büyük kütleli (1.44 M_{\odot} den büyük) yıldızlar evrimlerin son aşamasında süpernova patlaması gerçekleştirirler. Süpernova patlaması o kadar şiddetlidir ki elektronlar ve protonlar birleşerek nötronları oluştururlar (ters β Bozulması). Oluşan bu nötron yıldızı çok kuvvetli manyetik alana sahiptir ve çok hızlı dönmektedir. Manyetik eksen, dönme eksenine ile çakışmadığından dolayı, manyetik kutuplardan salınan ışınım, gözlemciye bir fener kulesinden gelen sinyal atımları gibi görünür. Bu yıldızlara pulsarlar (atarcalar) adı verilir. Pulsarlar genellikle X-ışın ve radyo bölgelerinde yayın yapmaktadırlar. Evrende nadir olarak bulunan çift pulsarlar güçlü manyetik alana sahip hızlı dönen iki nötron yıldızından oluşan sistemlerdir. Çift pulsar bileşenleri birbiri etrafında çekimsel olarak yörünge hareketi yapmaktadır ve güçlü gravitasyonel alanların testi için kullanılmaktadır. Bu nedenle çift pulsarlar güçlü gravitasyonel alanlarını test etmek için mükemmel bir laboratuvar oluşturmaktadır.

1 Giriş

Çekirdek kütlesi kritik Chandasekhar kütlesini geçen büyük kütleli yıldızlar (1.44 M_{\odot} 'den büyük) evrimlerin son aşaması süpernova patlaması gerçekleştirirler. Bir süpernova patlaması safhasından sonra yıldızdan geriye ancak birkaç on km yarıçapında, aşırı yoğun bir malzeme kalır. Süpernova patlaması o kadar etkilidir ki, elektronlar ve protonlar birbirlerinin yüklerini nötrleyerek nötronları oluşturmuşlardır. Nötron yıldızlarındaki dejenerelik ters β bozulması ile açıklanır.

$$p^+ + e^- \rightarrow n + \nu \quad (1)$$

Dejenere olmuş nötron gazından oluşan madde Pauli Dışlama Prensibine ve Fermi-Drag istatistiğine uyar. Fermi-Drag istatistiğine göre belirli bir enerji düzeyinde (aynı başkuantum sayılı) aynı spin yönelimine sahip 2 fermiyon (kesirli spine sahip e^- ,n ve p^+ gibi kararlı parçacıklardır) bulunamaz. s spin kuantum sayısı olmak üzere $2s+1$ spin yönelimi mümkündür. Nötron yıldızlarının iç kısmında dejenere madde plazmasından oluşur. İç kısımlarından yüzeye doğru

* email:huseyin.kocer@gmail.com

gidildikçe madde kristal (katı kafes) gibi davranır. Oluşan bu nötron yıldızı aşırı şiddetli manyetik alana sahiptir ve çok hızlı dönmektedir. Manyetik eksen, dönme eksenini ile çakışmadığı için, manyetik kutuplardan salınan ışınım, gözlemciye bir fener kulesinden gelen sinyal atımları gibi görünür. Bu yıldızlara **pulsarlar** (atarcalar) adı verilir. Kimi atarcalar, görünür ve x-ışın bölgelerinde gözlenebilse de, bunlar çoğunlukla **radyo bölge** kaynaklarıdır. İlk olarak 1967 yılında Jocely Bell tarafından gözlenen pulsar, Crab, 30 sn^{-1} lik bir döneme sahiptir. Daha sonra gözlenen pulsarlara örnek olarak dönemi 642 sn^{-1} olan 1937+21(Cyg) verilebilir. Dünya'dan gözlenen bu ışına, kozmik bir saat gibi sinyaller üretmektedir. Ancak uzun süreli gözlemler, bunların da hızlarında yavaşlama olduğunu göstermektedir. Yaşlar ilerledikçe pulsarların enerjileri harcanmaktadır. Kimisi milisaniye mertebesinde olan atarcalar, atomik bir saat kadar iyi çalışmaktadır.

2 Pulsasyon Salınımı-Yaş İlişkisi

P pulsasyon periyodunu, periyodun zamanla değişim oranı olan (dP/dT) oranlayarak pulsarın yaşı hakkında kabaca bir tahmin yapabiliriz. $t=P/(dP/dT)$ bağıntısı bize pulsasyon periyodu arttıkça t'nin yani pulsarın yaşının artacağını söyler. Ancak bu bağıntı milisaniye pulsarları için geçerli değildir.

3 Pulsarlarda Manyetik Akının Korunumu

Nötron yıldızları çok şiddetli manyetik alanlara sahiptir. Bu manyetik alanlar nötron yıldızını oluşturan ata yıldızın başlangıçtaki manyetik alanlarıdır. Manyetik akı; alan şiddeti (manyetik çizgi sayısı) ile çizgilerin geçtiği alanın çarpımına eşittir. Manyetik akının korunumu bize alan çizgilerinin sayıları değişmedikçe akının korunumlu olduğunu söyler. Manyetik alan çizgilerinin sayısı aynı kaldığında yıldızın yüzey alanı küçülürse alan çizgileri birbirine yaklaşır. Dolayısıyla da manyetik alanın şiddeti artar. Sonuç olarak daha küçük bir alandan daha çok manyetik alan çizgisi geçer. Nötron yıldızlarında yüksek manyetik aktivite bu prensiple açıklanmaktadır. Bu duruma örnek verecek olursak; güneş kütleli bir yıldızın yaklaşık 10 km çaplı ve 10^{17} kg/m^3 yoğunluklu bir nötron yıldızına dönüştüğünü farzedelim. Ancak güneş kütleli bir yıldızın evriminin son aşamasında bir nötron yıldızı oluşturamayacağını teorik olarak biliyoruz. Çünkü nötron yıldızının oluşabilmesi için toplam yıldız kütlelerinin 8-9 M_{\odot} olması gerekir. Bu durumda manyetik akının korunumu yasasına göre

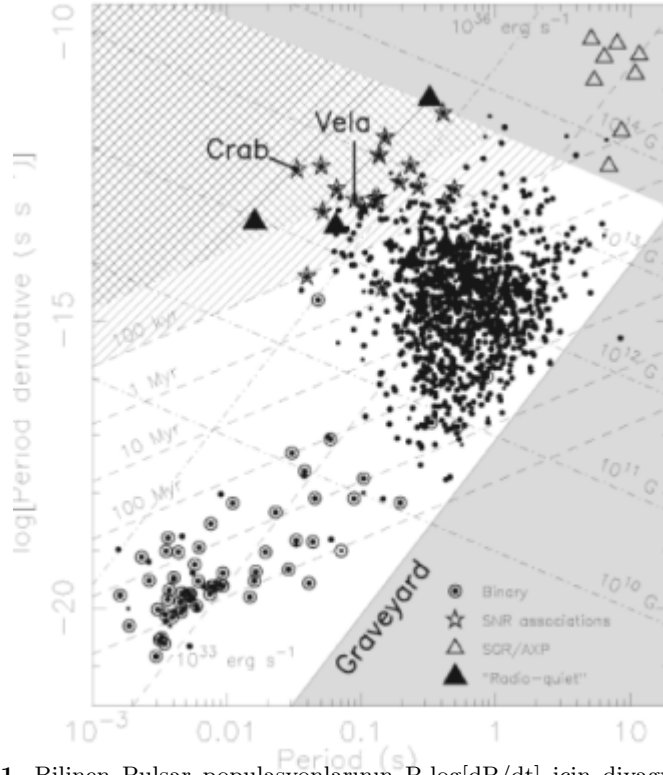
$$B_n = B_{\odot} (r_{\odot}/r_n)^2 \approx 10^{-2} (10^9/10^4)^2 = 10^8 (T) \quad (2)$$

değerini elde ederiz. B_{\odot} :Güneşin Manyetik Alanı, r_{\odot} :Güneşin Yarıçapı, B_n :Pulsarın Manyetik Alanı, r_n :Pulsarın Yarıçapı

4 Pulsarlarda Dispersiyon Etkisi

Pulsarların yaklaşık uzaklıkları ve pulsar doğrultusundaki yıldızlar arası ortamdaki elektron yoğunluğu doğrudan pulsar gözlemleri ile elde edilebilir. Bakış

doğrultusunda ki elektron yoğunluğunu belirlemek için dispersiyon uzaklığı kullanılabilir. Dispersiyon uzaklığı puslardan salınan farklı frekanslı salımların gözlemciye farklı zamanlarda ulaşmasıyla bulunur. Örneğin daha yüksek ν_1 frekanslı bir puls t_1 zamanında gözlemciye ulaşırken daha düşük ν_2 frekanslı bir puls t_2 zamanında gözlemciye ulaşır. Bu durumda t_2 zamanı t_1 zamanından daha büyüktür. Çünkü yıldızlar arasındaki ortamda elektron yoğunluğu düşük frekansta salma yapan fotonların hızını daha çok azaltır. Bu etki dispersiyon etkisi olarak bulunur. Dispersiyon derecesi $\eta = [1 - (\frac{\nu_0}{\nu})^2]^{1/2}$ tarafından belirlenir. Bu bağıntadaki; $\nu_0 = 9\sqrt{N}$, η : yansıma indeksini, ν_0 : yıldızlararası ortamın kritik frekansını, ν : pulsun frekansını, N : elektron yoğunluğunu m^3 temsil eder. Eğer; $\nu > \nu_0$ ise yansıma indeksi reel bir sayıdır ve salınım yıldızlar arası ortamda herhangi bir kayıp'a uğramadan gözlemciye ulaşır ve $\nu < \nu_0$ olduğunda ise salınım da kayıp meydana gelir yani pulsun enerjisi azalır. Yansıma indeksi cinsinden bir pulsun faz hızı $\nu = \frac{c}{\eta} = \frac{c}{\sqrt{1 - (\frac{\nu_0}{\nu})^2}}$ şeklinde tanımlanır. Eğer pulsardan alınan salınım birden fazla frekans üst üste binmesiyle oluşan bir dalga paketi ise salınımın grup hızı göz önüne alınmalıdır.



Şekil 1. Bilinen Pulsar popülasyonlarının P-log[dP/dt] için diyagramı. Diyagramda plusarların manyetik aktivitelerinin zamana göre değişimi gösterilmektedir. Farklı frekanslarda salınım yapan pulsarların manyetik etkiliği evrim zamanının bir fonksiyonu olarak azalır. Diyagramın sağ alt köşesi manyetik aktivitenin sona erdiği mezarlık(graveyard) bölgesini temsil eder. (Çift pulsarlar daire içinde gösterilmektedir.)

5 Plazma Fiziği İçin Laboratuvar

Einstein genel rölativite teorisini formüle ettikten hemen hemen 100 yıl sonra, rölativite teoremine birçok bilim insanı tarafından katkıda bulunuldu. Çoğu deneyler ya kuramın doğruluğunu arttırmakta yada farklı test teknikleri ile daha iyi gravitasyonel sonuçlara ulaşmamıza imkan sağlar. Alternatif çekim teorileri ve genel rölativitenin gerçekliği üzerinde sınırlamalar yapabilmek için uzay uyduları kullanılmaktadır. Ancak uzay uyduları ile yapılan gravitasyonel alan deneyleri güçlü gravitasyonel alanların yapısını tam olarak açıklayamamaktadır. Bu nedenle çift pulsarlar güçlü gravitasyonel alanları test etmek için mükemmel laboratuvarlardır. Çift pulsar sistemleri bir bileşenin zayıf gravitasyonel alanında hareket ederler ve güçlü gravitasyonel alanların duyarlı bir şekilde test edilmesini sağlarlar. Çift pulsarların gözlemsel davranışları alternatif gravitasyonel çekim teorilerinin ön gördüğü gibidir. Pulsarlar son derece magnetize olmuş dönen nötron yıldızlarıdır. Çok geniş alanlı fiziksel ve astrofiziksel problemler için çalışma imkanı sunan çok yönlü cisimlerdir. Bunun yanında çekim teorilerini test etmek için galaksi, yıldızlararası ortam, yıldızlar, çift sistemler ve onların evrimleri plazma fiziği ve uç koşullardaki katıhal fiziği de çalışılabilir. Bu geniş ölçekli uygulamalar keşfedilen çift pulsar tarafından modellenmektedir. Pulsarlar, alternatif rölativistik teorilerin modellenmesi dışında rölativistik çekim teorisi içinde iyi bir laboratuvar imkanı sağlamaktadır. Çift pulsarla yapılan deneysel çalışmalarda bileşenlerin çekimsel potansiyellerin etkilerinin altında yayılan ışınım ölçülmektedir. Son zamanlarda çift pulsarlar da gravitasyonel dalgalar çalışılırken Post-Kepler (PK) parametrelerinin ölçümleri ile elde edilen DDS zamanlama modeli kullanılmaktadır. PK parametreleri pulsun gözlemciye ulaşma zamanını belirlemek için temel Kepler yörünge parametrelerine uygulanan düzeltmelerdir. PK parametre düzeltmesi en az 2 gözlemsel parametre sabit tutularak 1 veya daha fazla parametrenin belirlenmesi yöntemine dayanır. Bu yöntemde sabit tutulan ilk parametre çift pulsarın yörünge düzleminin en beri noktadaki (ω) yay parametresidir. (ω :dügümler çizgisi ile gerçek enberi yörünge arasındaki yay) Bu parametreden sistemin toplam kütle ($M_A + M_B$) bulunur. Pulsar bileşenine göre değişik uzaklıklarda ve değişik hızlarda eliptik bir yörüngede hareket ederken 2. PK parametresi γ gravitasyonel kırmızıya kaymanın ve zaman genişlemesinin değişen etkilerinin neden olduğu varış zamanındaki azalma genliğini gösterir. Diğer 2 r ve s parametreleri bileşenin gravitasyonel alanı nedeniyle oluşan Shapiro gecikmesiyle ilgilidir. Bu gecikme bileşenin uzay zamanı eğmesi sonucunda elektromanyetik radyasyonun dalga boyundaki artıştır.

Kaynaklar

- Lorimer D. R.: Radio Pulsar Statistics W. Becker (ed.) Neutron Stars and Pulsars, Astrophysics and Space Science Library 357 1 (2005) 1–15
Kramer M.: The Double Pulsars: A Unique Lab for Relativistic Plasma Physics and Tests of General Relativity W. Becker (ed.) Neutron Stars and Pulsars, Astrophysics and Space Science Library 357 5 (2005) 73–90