

Gökada'da Elektron Dağılımı ve Pulsar Uzaklıkları

Efe Yazgan

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Ankara

Özet

Şimdiye kadar bilinen pulsarların sayısı 1315'tir ve çoğu 3-4 kpc'ten daha uzaktır. Pulsarlar yalnız nesneler oldukları için (supernova kalıntıları, HII bölgeleri ve molekül bulutları için olduğu gibi) uzaklıklarını hesaplamak çok zordur. Pulsarlardan sadece bir kaçının uzaklığı üçgenleme (paralaks) yöntemiyle bulunmuştur. Bazı pulsarlar özellikleri çok iyi bilinen supernova kalıntılarıyla bağlı olduğu için uzaklıkları hassas bir şekilde belirlenmiştir. Küresel kümelerin uzaklıkları çok iyi bilindiği için bunların içinde bulunan pulsarların uzaklıkları da az hatayla bilinir. Pulsarların çoğu Gökada düzleminde olduğu için küresel kümelerdeki pulsarlar diğer pulsarların uzaklığını bulmada çok fazla işe yaramazlar. Pulsarların hesaplanan uzaklığı Gökada'daki elektron yoğunluğunun dağılımının modeline bağlıdır. En yaygın olarak kullanılan model Taylor ve Cordes (1993)'ün analitik modelidir. Bu modelin çok uzak ve Gökada boylamları ~ 3 dereceden çok olan pulsarlar için iyi sonuçlar vermediği görülmüştür. Pulsarların Gökada düzleminde uzaklığı, hızları, parlaklıkları vs. göz önünde bulundurularak konulan bir kaç doğal gereklilik sonucu boylama ve güneşten uzaklığa bağlı olarak Gökada'daki elektron yoğunluk dağılımını nicel olarak bulundu. Bu çalışmadaki modele göre 5 kpc'ten daha uzak ve boylamları 3-5 dereceden daha fazla olan pulsarlar Taylor ve Cordes modelinin tahmin ettiği uzaklıklardan çok daha yakındır.

Anahtar Kelimeler: Pulsar uzaklıkları - elektron dağılımı - Gökada

ELECTRON DISTRIBUTION IN THE GALAXY AND PULSAR DISTANCES

Abstract

The number of known pulsars is 1315 and most of these pulsars are farther than 3-4 kpc. Since pulsars are isolated objects, it is hard to determine their distances like for supernova remnants, HII regions and molecular clouds etc. For only a few pulsars we do know the distances determined by the parallax method. For some pulsars distances are well-known due the fact that they are genetically connected to supernova remnants with well determined parameters. The distances of pulsars in globular clusters are well known since the distances of globular clusters are very well-known. Due to the fact that most of the pulsars are born closer to the galactic plane, the distances of pulsars in globular clusters are of little use in determining the distances of other pulsars in the Galaxy. The calculated distance of pulsars depend on the electron distribution in the Galaxy. The analytic model of Taylor and Cordes (1993) is the most widely used model. However, it has been found that this model do not give reliable distances for pulsars which have galactic latitudes higher than $\sim 3^\circ$. The galactic electron distribution as a function of distance (from the Sun) is determined quantitatively using some natural constraints on the distances from the galactic plane, velocities, luminosities etc. According to the model in this work the pulsars which are farther than 5 kpc and having latitudes higher than $3-5^\circ$ are found to be much closer to the Sun than the prediction made by Taylor and Cordes model.

Keywords: Pulsar distances - electron distribution - Galaxy

Giriş

Bu çalışmadaki amaç radyo pulsarları için dağılım miktarı (DM) ve uzaklık (d) arasındaki bağıntıyı Gökada'nın her bir değişik yönü için bulmaktır. Bu bağıntılar elimizde olduğunda, yeni bulunan bir pulsarın uzaklığı DM değeri kullanılarak bulunabilecektir. DM ve d arasındaki bağıntı optik astronomide kullanılan optik soğrulma ve d bağlantısının analogudur. DM elektron dağılımına bağlıdır. Toz dağılımıyla kıyasladığımızda doğal olarak elektron dağılımındaki düzensizliklerin derecesi daha azdır. Yoğunlukla pulsarların uzaklıklarını belirlemek için matematiksel elektron dağılımı modelleri kullanılır. Ama doğal olarak çok karmaşık bir sistemi basit bir formülle anlatmaya kalkmak bizi hatalı sonuçlara götürür. Varolan elektron dağılım modelleri özellikle daha uzaktaki pulsarlar için daha hatalıdır. Bunun yanında, bazı pulsar uzaklıklarının bu matematiksel modellerle hiç uyuşmadığı

görülmüştür. Böyle pulsarlar için uzaklıklar model dışında ayrıca verilir. Bu durum ne kadar mükemmel modeller yapılırsa yapılsın çok değişmeyecektir.

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı bu çalışmada elektron dağılımı (ya da DM) analitik bir fonksiyon olarak verilmemiş bunun yerine Gökada'nın her bir bölgesi için sayısal fonksiyonlar olarak verilmesi tercih edilmiştir. Ancak bu fonksiyonları belirlemek için öncelikle uzaklıkların iyi belirlenmesi gerekiyordu. Bunun için bağımsız metodlarla bulunan uzaklıklar ve doğal gereklilikler kullanılarak bulunan uzaklıklar kullanılmıştır.

d-DM Bağıntıları Kurulurken Gereken Bazı Bilgiler

Beyaz cücelerin ve nötron yıldızlarının sınır kütleleri 7-8 Güneş kütlesi (Nomoto 1984; Aydın ve diğerleri 1996) arasındadır. Bu kütle B3V tayf tipli anakol yıldızına denk gelir. Spectral tipteki (yada kütledeki) hata yakın çift yıldız sistemlerinde doğan nötron yıldızları için daha çok olmalıdır.

O yıldızlarının %75'i ve B2V ve daha genç yıldızların da %58'i OB birliklerinde doğar (Garmany ve Stencel 1992). Buna ek olarak, birçok genç açık küme (açık kümeler O veya B yıldızları ve ağır süperdev yıldızları içerirler) OB birliklerinden uzakta yer alırlar. Ama, yakınında açık küme veya OB birliği olmayan yerlerde pulsarların anne yıldızları bulunabilir. Bu durumda, anne yıldız 6 Güneş kütlesi gibi daha küçük bir kütleyle sahiptir veya anne yıldız bir *kaçan* (runaway) yıldızdır.

Moleküler bulutların büyüklükleri ve kütleleri çok geniş bir değer aralığındadır (Patel ve Pudritz 1994). Moleküler bulutlar genel olarak Gökadanın kollarında yer alırlar ve çok düzensiz dağılmışlardır. Bu yüzden yıldızlar küçük gruplarda (açık kümelerde) veya büyük kümelerde (OB birliklerinde) doğabilirler. Büyük bir OB birliği yaşları 50-60 milyon yıla varan bir kaç açık kümeden oluşabilir. Bu da gösterir ki yıldız oluşumu 50-60 milyon yıla kadar sürebilir. Pulsarların çoğu daha genç olduğu için böyle kısa bir sürede kollar, büyük yıldız oluşum bölgeleri (YOB) ve OB birliklerinin Gökada'daki yerleri kayda değer olarak değişmez.

Anakol yıldızlarının sayısı kütle arttıkça eksponensiyel olarak azalır. Gökada'daki değişik YOB ve Macellan bulutlarına bakarsak bu eksponensiyelin derecesinin 1.5 ile 2.5 arasında değerler aldığını görürüz (Salpeter 1955; Blaha ve Hamphreys 1989; Parker ve Garmany 1993; Garmany ve diğerleri 1982). Eksponensiyelin derecesindeki hata payı ağır yıldızlar için daha çoktur. Doğal olarak bu belirsizlik pulsar anne yıldızlarının sayı-kütle dağılımında belirsizliğe neden olur. Güneş yakınındaki (3 kpc'ten daha yakın) genç pulsarların ve supernova kalıntılarının varlığı gösterir ki bu nesneler YOB ve OB birliklerinden çok uzaklarda doğmuşlardır. Kabul edebiliriz ki pulsarların doğum yerlerinin büyüklüğü YOB'nin büyüklüğüyle sınırlı değildir.

Bilindiği gibi, radyo pulsarların uzaklıkları ve HII ve HI bölgeleri ve moleküler bulutlar gibi genç nesnelerin yaşları ortalama %30 hatadan daha düşük bir hatayla belirlenemez. Bu yüzden Gökada kollarının ve YOB'nin yerleri, eğer yeteri kadar ağır yıldız gözlenmemişse, sadece yaklaşık olarak bilinebilir. Ama buna rağmen kolların yönü çok iyi bilinir.

Yalnız pulsarların 400 MHz'deki parlaklığı periyot ve periyot türevine bağlı değildir. Bu yüzden yalnız pulsarın radyo parlaklığı manyetik alanın gücüne ve dönme enerjisi kaybına çok zayıf bir şekilde bağlıdır. Bu yüzden diyebiliriz ki yalnız pulsarların radyo parlaklığı pratikte yaşa, kütleyle veya anne yıldızın hangi tür olduğuna bağlı değildir (ama bu yakın çiftler için doğru olmayabilir).

Yalnız pulsarların ortalama hızları 250 km/s'dir (Allakhverdiev ve diğerleri 1997; Hansen ve Phinney 1997). Bu yüzden yaşları yarım milyona kadar olan pulsarlar doğum yerlerinden çok uzaklaşamaz ve en çok 200 pc gidebilirler (bu hızın Gökada düzlemine izdüşümü 160 pc'tir). Çok az sayıda pulsar çok hızlıdır ama onlar bile bir milyon yıldan daha kısa bir sürede bir Gökada kolundan diğerine geçemezler. Çok büyük YOB'nin büyüklüğü 1 kpc'e kadar ulaşabilir. Gökada kolları arasındaki uzaklık 1 kpc veya daha çoktur. Bu nedenlerden dolayı yarım milyon yıl yaşına kadar olan pulsarlar doğum yerlerinde kalırlar.

Yıldız Oluşum Bölgelerinin Gökada'nın Bakışım Düzleminden Sapması

Yıldızların sadece yaşlı nüfusu (10^{10} yıl civarındaki yıldızlar) dinamik dengeye gelebilir. Yaşlı ve genç nüfus yıldızların Gökada merkezi yönünde ortalama yükseklikleri ve sayı yoğunluğu dağılımları farklıdır. Bu da genç ve yaşlı yıldız nüfusunun birbirleriyle dengede olmadığını gösterir. Gökada kollarındaki gazın ve genç yıldızların toplam ağırlığı Gökadanın toplam ağırlığının sadece %1-3'ü kadardır ve kolların parametrelerinin karakteristik değişme zamanı $\sim 10^9$ yıldır. YOB'nin yaşları kolların karakteristik yaşlarından bir merteye daha azdır ve bundan dolayı daha da dengesizdir. Bu durumda kollar ne Gökada'yla ne de YOB'yle denge içindedir. Bu nedenle kollar her yerde Gökada düzlemiyle aynı düzlemde yer almaz ve bazı bölgelerde de YOB Gökada düzleminden daha yüksek veya daha alçak bir konumda olabilir. Parlak cepheidlerin ve kırmızı superdevlerin optik gözlemlerinin gösterdiğine göre Güneşten 5-10 kpc uzakta ve 220° - 330° Gökada enlemlerinde bulunan YOB'leri Gökada düzleminden 300 pc aşağıda yer alır. Aynı uzaklıkta 70° - 110° enlemlerinde YOB'leri düzleminden 400 pc yukarıdadır. Bunun yanında 3-5 kpc'ten yakın 270° - 320° enlemlerindeki nesneler düzlemin 150 pc altında yer alır (Berdnikov 1987). Pulsarların dağılımına bakıldığında $l=250^\circ$ - 300° arasındaki bazı genç pulsarlar düzlemde aşağıda yer alır ve $l=50^\circ$ - 80° arasındaki bazı pulsarlarda düzlemde yukarıda (Guseinov ve diğerleri 2002). Elektron dağılımı bulunurken bu veriler hesaba katılmalıdır.

Gökada'da Elektron Dağılımı

Gökada'da toz, moleküler bulut ve HI dağılımlarında düzensizlikler gözlenmiştir. Çok daha az olsa da elektron dağılımında da düzensizlikler beklemek doğaldır. Doğrudan elektron dağılımına bağlı olan DM, uzaklıkları aynı olan fakat gökyüzünde değişik bölgelerde yer alan pulsarlar için farklıdır. Elektron dağılımındaki bu düzensizlikler o doğrultudaki HII bölgeleri ve supernova kalıntıları, kütleçekim potansiyeli, gaz sıcaklığı ve de Gökada'daki kozmik ışın dağılımıyla ilgilidir. Ama elektron dağılımındaki düzensizlikler yıldızlararası ortamın diğer bileşenlerinden çok daha azdır. Yinede bu bize her bir pulsarın uzaklığını az hatayla verecek basit bir elektron dağılım modeli kurmamızı sağlamıyor. Gökada'da elektron yoğunluğu enlem, boylam ve Güneşten uzaklığa bağlıdır. Ama bazı bölgelerde enlem, boylam veya uzaklıktaki çok küçük bir değişiklik elektron yoğunluğunda çok büyük değişiklikler yaratabilir (Guseinov 1978; Taylor ve Cordes 1993). Uzaklık hesaplarında bunların da hesaba katılması gerekir. Güneşe yakın pulsarlar için DM görüş doğrultusundaki HII bölgelerinin ve supernova kalıntılarının sayısına bağlıdır. Bunun 3-4 kpc'ten uzak pulsarlar için de doğru olup olmadığı ancak verilere bakılarak anlaşılabilir. Ama eğer doğruysa DM HII bölgelerinin sayısına yani OB birliklerinin sayısına güçlü bir şekilde bağlı olacaktır. Bu da Gökada kolları arasında elektron yoğunluğunun az, ve böylece DM'na katkısının az olacağını gösterir. Bunun doğru olup olmadığını anlamak için yarım milyon yıldan daha genç pulsarlar için DM'nin enlem'e göre değişimine bakıldı. Aynı pulsarların uzay dağılımına da bakıldı. Elektron yoğunluğunun Gökada kolları arasında nasıl değiştiğini görmek için bu iki dağılım ile Georgelin ve Georgelin (1976) tarafından HII bölgelerinin uzay dağılımına bakarak kurulan Gökada kol haritası karşılaştırıldı. Burdan görüldü ki YOB arasındaki uzaklık çok veya pulsar ve büyük HII bölgeleri yok veya çok nadir olduğunda bile DM çoktur. Sonuç olarak diyebiliriz ki DM Gökada'da çok sert değişimler göstermiyor, kollar arasında elektron yoğunluğu şiddetle azalmıyor.

Pulsar Uzaklık Tahmini

Pulsarların uzaklık tahmini için aşağıdaki kriterler kullanıldı:

Uzaklıkları bulmak için önce bir pulsar uzaklık kalibratör tablosu hazırlandı. Bu tablodaki en sorunlu kaynak Vela pulsarı. Vela pulsarının uzaklığının hesaplanması için Guseinov, Yerli ve diğerleri (2002)'ye bakınız. Burada güvenilir bir uzaklık elde etmek için ne kadar çok değişik bilgiye ihtiyaç duyulduğu da görülecektir. Pulsar uzaklıkları bu tablodaki değerlerle uyumlu olacak şekilde ayarlanmalı.

Pulsarlar Gökada düzleminde doğduğu için ve de gözlemler çoğunlukla düzleme odaklandığı için bilinen çoğu pulsar Gökada düzlemine yakın bulunuyor. Varolan verilere bakıldığında uzak ve boylamı küçük pulsarlar için nerdeyse hiç kalibratör olmadığı görülüyor. Bunun yanında uzak pulsarlar için elektron yoğunluğu hakkında yargıda bulunmak da zor.

Pulsarların radyo parlaklığı onların doğum yerlerine bağlı olmamalı ve de en parlak pulsarlardan daha fazla olmamalı. Verilerden çıkan sonuç: 400 MHz'de parlaklık için üst sınır $1.5 \cdot 10^4$ mJy kpc² ve 1400 MHz için üst sınır $3.5 \cdot 10^3$ mJy kpc².

Bütün enlemler için aynı karakteristik yaşa sahip olan pulsarların Gökada düzleminden yükseklikleri aynı olmalıdır. Ama bu YOB'nin Gökada düzleminden saptığı yerlerde 5 milyon yıldan daha genç olan pulsarlar için geçerli değildir.

Yarım milyon yıldan daha genç pulsarlar hala doğum bölgelerine yakın olmalıdır.

Gökada'daki elektron yoğunluğu HII bölgeleri ve OB birlikleriyle ilişkili olmalı ama uzaktakiler için bu ilişki güçlü olmamalı. Elektron yoğunluğu Gökada merkezine veya düzlemine yaklaşıldıkça artmalı.

Pulsar Uzaklıkları ve Elektron dağılımı Arasındaki İlişki ve Yeni Bulunan Bir Pulsarın Uzaklığının Belirlenmesi

DM pulsar doğrultusunda uzayın fonksiyonu olan elektron yoğunluğunun bütün yol boyunca (yani 0'dan pulsarın uzaklığına kadar) integrali olarak tanımlanır. Bu durumda DM elektron yoğunluğuna ve pulsar uzaklığına bağlıdır. DM hassas ölçülebilen bir parametre olduğu için pulsarın uzaklığını biliyorsak elektron yoğunluğu hakkında bilgimiz olmuş olur, veya tam tersi, eğer elektron yoğunluğunu biliyorsak pulsarın uzaklığını bulabiliriz. Bu da gösterir ki eğer amacımız pulsar uzaklıklarını belirlemekse pulsar dağılımı veya elektron dağılımı arasında hiç bir fark yoktur. Tabii ki, eğer Gökada'daki elektron yoğunluğu dağılımını tam olarak bilip bir analitik model kurabilirsek çok iyi olurdu. Ancak, böyle bir bilgiye sahip olmak imkansız ve de böyle bir modeli pratikte kullanmak çok zor olur. Aynı zamanda, daha önceki bölümlerde açıklandığı gibi büyük boylamlı pulsarlar için model kurmak çok doğru olmaz. Hatta Gökada düzlemindeki bazı pulsarın uzaklıkları modellere uymuyor. Bu yüzden bu çalışmada daha kullanılabilir ve daha doğru sonuçlar veren bir yol seçildi. Guseinov, Yazgan ve diğerleri (2002)'nin çalışmasının bir devamı olarak her bir pulsar için kalibratör pulsar uzaklıklarıyla uyumlu ve doğal gereklilikleri sağlayan uzaklıklar belirlendi. Pulsar uzaklıkları değişik yönler için değişik enlem ve boylam aralıklarına ayrıldı. Gökada'daki pulsarlar 14 enlem aralığına bölündü ve her bir enlem aralığı değişen sayılarda boylam aralıklarına bölündü. Bu verilerle uzaklığa karşı DM grafikleri çizildi. Böylece bundan sonra yeni bir pulsar bulunduğunda, pulsarın DM değeri, enlemi ve boylamı kullanılarak bu grafikler aracılığıyla o pulsarın uzaklığı belirlenebilir. Bu çalışmayla ilgili ayrıntılar, figürler ve tablolar Guseinov, Yazgan, Tagieva ve Küpçü-Yoldaş (2002)'da bulunabilir.

Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada kullanılan kalibratörlerin ve Taylor ve Cordes'in kullandığı kalibratörlerin uzaklıklarının bir kaçı hariç hepsi birbirleriyle tutarlı. İki çalışmada farklı uzaklık değerlerine sahip olan kalibratörler şunlar: PSR J1302-6350, J1748-2021, J1804-0735 ve J1910-59. Taylor ve Cordes modelinin ve bu çalışmada kullanılan uzaklık tahminleri arasında 3-4 kpc'ten uzak pulsarlar için iki kattan daha fazla fark olduğu görülüyor. Bu pulsarların çoğu güney yarım kürede 1400 MHz gözlemleriyle keşfedilmiş (bu pulsarların enlemleri 300-360 derece arasında). Güneşe en yakın pulsarlar arasında PSR J1939+2134'ün uzaklık değerlerinde iki çalışmanın verdiği değerler arasında çok büyük fark var.

Hangi modelin daha iyi sonuçlar verdiğini anlamak için modellerin test edilmesi gerekiyor. Daha önceki bölümlerde uzaklık bulmak için sağlanması gereken bazı kriterler vermiştik. Bunlardan biri şuydu: aynı yaştaki pulsarların Gökada düzleminden yükseklikleri yaklaşık aynı olmalıdır. 1400 MHz gözlemleri Gökada düzleminin 5 dereceden küçük bölgeleri için olmuştur. Bu yüzden bu gözlemler sırasında bir çok yeni genç pulsar keşfedildi. Bunun yanında 1400 MHz akının 400 MHz akıya oranı genç pulsarlar için yaşlı olanlara göre bir kaç defa daha fazladır (Guseinov, Yazgan ve diğerleri 2002). Bu da genç pulsarların keşfedilmesini kolaylaştıran bir etkidir. Modelleri test etmek için 1 milyon yıldan daha genç pulsarların belli enlem aralıklarında boylamları ve Gökada düzleminden yükseklikleri karşılaştırıldı. Çoğu genç pulsar 2 derecenin daha düşük boylama sahip olduğu için bu pulsarlara bakıldı. İki model arasında Gökada düzleminden yükseklikte veya Güneş'ten uzaklıkta kayda değer bir fark yok. Daha önce belirtildiği gibi buna istisna sadece 4 pulsar var. Özetlemek gerekirse, 2 dereceden daha düşük boylamları olan pulsarlar için iki model de yaklaşık aynı sonuçları veriyor. Zaten daha önce belirtildiği gibi bu beklenen bir sonuçtu. Yaşları 1-10 milyon yıl olan pulsarlara bakıldığında yaklaşık 3 kpc'ten uzak pulsarlar için bu çalışmanın tahmin ettiği uzaklıklar Taylor ve

Cordes uzaklıklarına göre çok daha Güneşe yakındır. Pulsarların Gökada'dan yükseklik dağılımına bakıldığında bu çalışmanın verdiği sonuç pulsar yoğunluğu Gökada düzleminde daha çok ve 6 kpc'ten uzak pulsarların Gökada düzleminde uzaklıkları yaklaşık aynıdır. Ancak Taylor ve Cordes'in modeli bu doğal kriteri sağlamıyor. Taylor ve Cordes modeline göre pulsarların uzaklığı arttıkça Gökada düzleminde ortalama uzaklık artıyor. Bu da demektir ki uzak pulsarların uzay hızları daha çoktur. Ama böyle bir varsayıma gerek yoktur ve de doğal kriterlere uygun değildir.

Kaynakça

- Allakhverdiev, A.O., Guseinov, O.H., Tagieva, S.O., Yusifov, I.M., Astron. Report 1997, 41, 257
Aydın, C., Özdemir, S., Guseinov, O.H., ve diğerleri, Turkish Journal of Physics 1996, 20, 1149
Berdnikov, L.N., Soviet Astronomy Letters 1987, 13, 45
Blaha, C. & Humphreys, R., AJ 1989, 98, 1598
Garmany, C.D. ve diğerleri, ApJ 1982, 263, 777
Garmany, C.D. & Stencel, R.E., A&AS 1992, 94, 211
Georgelin, Y.M. ve Georgelin, Y.P., A&A 1976, 49, 57
Guseinov, O.H., Kasumov, F.K. & Yusifov, I.M., Astr. Sp. Sci., 1978, 59, 285
Guseinov, O.H., Yazgan, E., Özkan, S., Tagieva, S.O. 2002, astro-ph/0205540
Guseinov, O.H., Yerli, S.K., Özkan, S., Sezer, A., & Tagieva, S.O. 2002, astro-ph/0206050
Guseinov, O.H., Yazgan, E., Tagieva, S., & Küpçü-Yoldaş, A. 2002, astro-ph/0207306
Hansen, B.M.S. & Phinney, E.S., MNRAS 1997, 291, 569
Nomoto, K., A&A 1994, 288, L1
Parker, J.W. & Garmany, C.D., AJ 1993, 106, 1471
Patel, K. & Pudritz, R.E., ApJ 1994, 424, 668
Salpeter, E.E., ApJ 1955, 121, 161
Taylor, J.M. & Cordes, J.M., ApJ 1993, 411, 674