

Magnetar Fenomeni

Efe Yazgan

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Ankara

Özet

Bu çalışmada sıradışı X-ışını pulsarların (SXP) ve yumuşak gama yineleyicilerin (YGY) zamansal verileri toplandı ve zamansal özellikleri incelendi; YGY'nin parlamalarının bu nesnelere periyot tarihi üzerindeki etkileri araştırıldı; radyo pulsarlar, X-ışını çiftleri, SXP'ler, YGY'ler ve X-sönük radyo-sessiz nötron yıldızları (radyo sessiz) için periyot-periyot değişimi diyagramı kuruldu ve SXP, YGY ve radyo sessizlerin bu diyagram üstündeki olası evrimleri araştırıldı.

Anahtar Kelimeler: Sıradışı X-ışını pulsarları - yumuşak gama yineleyicileri

Magnetar Phenomena

Abstract:

In this work, timing data for all of the anomalous X-ray pulsars (AXPs) and soft gamma repeaters (SGRs) are compiled. Timing properties of these objects are investigated. The effect of bursts of SGRs on their period history is investigated. The period-period derivative diagram for pulsars, X-ray binaries, AXPs, SGRs and dim radio quiet neutron stars is constructed.

Keywords: Anomalous X-ray pulsars - soft gamma repeaters

Giriş

Yeni tür nötron yıldızları olan SXP ve YGY'lerin en önemli özelliklerinden biri dönme periyotlarının (P) çok hızlı bir şekilde artmasıdır (Mereghetti ve Stella 1995). Bu hızlı artışı ve düşük dönme enerjisi kaybı gibi diğer önemli özellikleri açıklamak için ortaya iki temel model atıldı: geri-düşme diskinden kütle aktarım modeli ve de magnetar modeli. Kütle aktarım modeli bu nesnelere pervane evresini henüz bitirmiş nesnelere olarak açıklar (Alpar 2001; Chatterjee ve diğerleri 2000). Ama kütle aktarım modelinin SXP özelliklerini açıklamada büyük sorunları olduğu anlaşıldı. Bu modelin genişletilmiş bir hali pervane ve kütle aktarım olaylarının aynı anda çalıştığı bir senaryoyla SXP özelliklerini çok daha iyi bir şekilde açıklayabilir (Tagieva ve diğerleri 2002). Bu yazıda magnetar modeli üzerinde durulacak.

Magnetar modeli Thompson ve Duncan tarafından 1995 yılında öne sürüldü. Thompson ve Duncan makalelerinde çeşitli yollardan nötron yıldızının manyetik alanını hesapladılar. Her bir değişik yol kendi içinde çok sağlam değildir ama hepsi tutarlı bir şekilde aynı sonucu verir: manyetik alanın gücü kuantum sınırından 10 kat daha fazladır. Kuantum sınırı siklotron çizgilerinin kesikli hale geldiği manyetik alandır ve $m_e^2/e=4.4 \times 10^{13}$ G'dur (Landau 1962). Bu manyetik alanın bu kadar yüksek olduğuna işaret eden gözlemler şunlardır:

sürekli X-ışınması paraklığının değeri, gama-ışını parlamalarının gücü, P ve P değişiminin büyüklüğü, yeniden bağlanma (veya iç değişim) dengesizliğinin büyüme zamanının parlamaların ilk evresinin genişliğiyle aynı olması, e^-e^+ yokolma çizgisi gözlenmesi... Aynı zamanda eğer bir flare yıldızını nötron yıldızı büyüklüğüne sıkıştırırsak parlamaların yumuşak gama parlamalarıyla tipik zaman ve parlamalar arasındaki zaman bakımından aynı olduğu görülür. Yumuşak gama parlamalarıyla normal parlamaların tek farkı yumuşak gama parlamalarının çok daha güçlü olmasıdır (Tagieva ve diğerleri 2002). SXP'lerin doğuş oranının süpernova kalınitesi (SNK) doğuş oranından 50 kat daha az olduğu bulunmuştur. Nötron yıldızlarının bütün nüfusuna birarada baktığımızda X-ışınmasında bir süreksizlik var gibi gözüküyor. Ama veri azlığı yüzünden bunun varolabilecek diğer SXP ve YGY için doğru olup olmadığını bilmiyoruz (Guseinov ve diğerleri 2002). SXP ve YGY'lerden manyetik alanı doğrudan hesaplamamızı sağlayacak siklotron çizgisi gözlenmemiştir. Bunun yanında bu nesnelere sayısı çok azdır ve bu durum çok değişmeyecektir. Bu yüzden bu konuya başka yönlerden de yaklaşmak gerekir.

SXP'lerin Periyot Evrimi

1E2259+586 için 1978-2000 yılları arası P değişimi yaklaşık sabittir ve $\sim 5.4 \times 10^{-13}$ s/s'dir. Bu kaynak bir SNK'yla bağlantılıdır ve bu nedenle bu kaynağın çok genç olduğu söylenilebilir.

1E1841-045'in P evrimine bakıldığında 1978-1999 yılları arasında P değişiminin sabit ve 4.1×10^{-11} s/s olduğu görülür. Bu kaynak da 1E2259+586 gibi bir SNK'yla bağlantılıdır, bu nedenle bu kaynağın da

çok genç olduğu anlaşılıyor. Sabit P değişiminden sapmaların sebebi gürültü ve de gözlemsel hatalardır. 1E2259+586 ve 1E1841-045 için sapmalar yaklaşık aynıdır. 1E1048.1-5937'nin SNK'yla bağlantısı yoktur. P değişimi 1979-1988 yılları arasında 1.6×10^{-11} s/s, 1988-1994 yılları arasında 2.6×10^{-11} s/s ve 1996-2000 yılları arasında da 1.9×10^{-11} s/s olduğu bulundu. Ortalama P değişimi ise 3×10^{-11} s/s'dir (1988-2000). Yıldızın frenlenmesindeki büyük değişimlerin nedeni nedir? P'larda bu tür keskin değişimlerin olabilmesi için eylemsizlik momenti değişmelidir. Eylemsizlik momenti değişimi parlamalar, gliçler veya çevreyle manyetik etkileşimin plazma atımı sonucu değişmesi sonucu olabilir. Bu değişimler atmosferin derinliklerinde oluyorsa 1E1048.1-5937 çok sıcak olmalıydı, ama 0.1-2.4 keV aralığında bunun böyle olmadığı gözüküyor. Bu kaynağın parlaklığı da diğerleri arasında en yüksek değil (2-10 keV). Bu veriler magnetar modeli için bir zorluk oluşturuyorlar. Bu SXP için dönme enerjisi kaybı en çoktur. SXP'ler arasında sabit P değişiminden sapma da en çok bu kaynaktan görülüyor. Bu da bu kaynaktan daha yüksek enerjili olaylar olduğunu gösteriyor. SXP 1E1048.1-5937 ve 1E1841-045 ileride parlayabilir. 4U0142+61'de frenleme 1995-1998 yılları arasında artmış. 1979-1993 yılları arasında P değişiminin 1.9×10^{-12} s/s, 1984-1998 yılları arasında 2.4×10^{-12} s/s ve 1993-1998 yılları arasında da 3×10^{-12} s/s olduğu bulunmuştur. 1RXJ1708-4009'un SNK'yla bağlantısı yoktur. $P=11$ s ve P değişimi de 2.25×10^{-11} s/s'dir. Bu kaynaktan 1999'da Vela pulsarınakilere benzeyen güçlü gliç olayları olmuştur. Bu olayların P evrimi üzerinde büyük etkisi olmalı, ama yeteri kadar veri olmadığı için şu anda birşeyler demek çok zordur. 1845.0-0300 için tek bir P değeri vardır. Bu yüzden P değişimi şu anda doğrudan bulunamaz ama dolaylı yoldan bazı sınırlamalar elde edilebilir. Bu kaynağın bir SNK'yla bağlantısı var, ve SNK yaşı 8000 yıldan daha azdır. SNK yaşı pulsar karakteristik yaşına eşitlendiğinde P değişiminin 1.3×10^{-11} s/s'den büyük olması gerektiği bulunur. Eğer magnetar modelinin önerdiği gibi bu kaynaktan manyetik bozunum varsa pulsarın yaşı daha çok olmalıdır, P türevi de daha az. Sonuçta P değişimi yaklaşık olarak $(1.3-2) \times 10^{-12}$ s/s olmalıdır. Eğer P değerinin bu değerlerden çok daha yüksek olduğu bulunursa, dolaylı olarak manyetik bozunumun bu kaynak için çok zayıf olduğu söylenebilir.

YGY'lerin Periyot Evrimi

1900+14 için frenleme Mayıs 1998-Ocak 1999 arasında 2 katına çıktı ve bu arada 63 parlama oldu. Mart 1999-Şubat 2001 tarihleri arasında parlama olmadığı halde P türevi arttı. Bunun nedeni açık olmamakla beraber plazma atımı ve çevreyle etkileşim sonucu olması mümkündür. 1995-1999 yılları arasında P türevinin değeri 6×10^{-11} s/s ve 1998-2001 yılları arasında da 1.6×10^{-10} s/s olmuştur. Bu P değişimleri mekanizmadan bağımsız olarak ileride bir kaç kat daha düşük değerlere gelecektir. 1993-1999 yılları arasında 1806-20'nin P türevi sabit ve yaklaşık 6×10^{-11} s/s'ye eşittir. Bu kaynak P evrimi bakımından YGY 1900+14 ile tamamen aynı davranışı göstermiştir. Şüphesiz ki YGY'lerin P artışları parlama etkinliklerine bağlıdır ve P ve P değişimi artış zaman ölçeği 1-3 yıldır. Eğer bu değişimlerin sebebi plazma atımıysa frenlemeyi arttıran plazmanın etkisi plazma daha 1 pc'e ulaşmadan biter.

SXP, YGY ve Pulsarlarda Frenleme Gürültüsü

Manyetik bozunum gürültü kaynağıdır. Saf manyetik dipol ışıması için frenleme indisi $n=3$ 'tür. Uzun vadede manyetik bozunum P değişimini azaltır ve $n>3$ olur. Ama n yıldızı frenleyen bütün mekanizmaların toplamını gösteren sayıdır. Manyetik bozunum n 'nin değerini artırırken ultra-relativistik rüzgarlar n 'nin değerini azaltır (frenlemeyi arttırır). Frenlemenin YGY 1900+14 ve 1806-20 için en çok olduğu gözlenmiştir. Bu doğaldır çünkü bu kaynaklar bir çok yüksek enerjili parlama yaptılar. Ama SXP 1E1048.1-5937, 4U0142+61 ve RXSJ170849-4009'daki büyük değişimlerin nedeni nedir? Bu kaynaklarda değişime neden olabilecek etmenlerden supernova kalıntısı veya pulsar rüzgar bulutsusu da gözlenmemiştir.

Manyetik dipol mekanizması dışındaki mekanizmalar çok daha fazla gürültü yaratırlar. Dönme enerjisi kaybı P^3 'le ters orantılı olduğu için hızla azalır ve manyetik dipol ışımasının etkisi diğer "varolan" mekanizmaya göre azalır, bunun sonucunda gürültü artar. Ama pulsarlarda bunun tam tersi gözlenmiştir. Ve aynı zamanda genç ve yüksek manyetik alanlı pulsarlar için $n<3$. Bu da gösterir ki eğer başka varolan bir mekanizma varsa, bu kendini genç pulsarlarda gösterir ve zaman ölçeği manyetik dipol ışımasınıninkine göre kısadır. Bu bütün nötron yıldızı türleri için doğru olmalıdır. Eğer SXP ve YGY'ler için başka bir mekanizma varsa dönme enerjisi kaybı küçüktür ve bunun sonucunda gürültü çoktur. Bu da magnetar modeli çerçevesinde sürekli bozunum ve parlama demektir. Frenleme indisi ölçülmüş pulsarların verilerine bakıldığında atım ışımasının bağımsız ama dönme enerjisi kaybı ve SNK'nın tipine bağlı olduğu görülür. Pulsarlar $n=3$ ile evrimleşir ve az gürültü yaparlar. Eğer pulsar rüzgar bulutsusu veya gliç varsa o pulsar için $n<3$. SXP/YGY'lerde pulsar rüzgarı veya gliç gözlenmemiştir (1708'deki gliçler hariç). Ama gliçler gürültü yüzünden gözlenemiyor olabilir. Eğer SXP/YGY'ler kütle aktarımı yapmıyorsa manyetik bozunumdan dolayı $n>3$ olmalıdır. Ama YGY'ler ve

E. Yazgan: Magnetar Fenomeni

SXP 1048 için P türevi ve n çok değişim gösteriyor. Bunlar da gösteriyor ki diğer mekanizmanın etkisi manyetik dipolden daha fazla ve arasına $n < 3$ olabilir ama ortalamada $n > 3$.

SXP/YGY ve Radyo Sessiz Nötron Yıldızlarının Evrimi

Nötron yıldızlarının X-ışını parlaklıklarının dönme enerjisi kaybına oranının dönme enerjisi kaybına göre değişimine bakıldığında pulsarların, YGY ve SXP'lerin ayrı değer kümelerinde toplandığı görülür. RXJ0720.4 hariç diğer radyo sessiz nötron yıldızları radyo pulsarlara yakın dururlar. Bu kaynağın SXP değerlerine yakın durmasının sebebi artan manyetik alan ve azalan kütle ile birlikte artan soğuma zamanı olabilir. Dönme enerjisi kaybı miktarlarında ortalamada şöyle bir bağlantı bulunmuştur $\text{Edot}_{\text{AXP}} \sim 10^{-2} \text{Edot}_{\text{YGY}} \sim 10^{-4} \text{Edot}_{\text{PSR}}$.

PSR J1119-6127, J1814-1744, J1726-3530 ve J1734-333'ün manyetik alanları SXP 2259-586'nın manyetik alanı kadardır. Çok genç olan PSR J1119-6127 için X-ışını parlaklığının üst sınırı SXP 2259+586'ninkine göre bir merteye azdır. PSR J1119-6127 ve J1726-3530 SNK'larla bağlantılıdır ve bu SNK'lar SXP'lerin SNK'ları gibi kabuk tiplidir. Bu pulsarlarda pulsar rüzgar bulutsusu yoktur (böyle bir bulutsu 5-10 kpc'ten rahatça görülebilir). Bu pulsarlar ne yüksek gürültüye ne de yüksek parlaklığa sahipler. Yukarıdaki gözlemler gösterir ki: bütün nötron yıldızlarına bir arada baktığımızda manyetik alan arttıkça ne X-ışını parlaklığı ne de gürültü artar. Gürültünün artmaması çok da şaşılacak bir durum değildir çünkü dönme enerjisi kayıpları çok yüksektir. Yinede diğer pulsarlara göre daha çok gürültü beklenirdi. Ama X-ışını parlaklığının artmamasını anlayamıyoruz. Bu sonuçlar bu incelemelerde sadece manyetik alanın en önemli parametre olmadığını gösteriyor. Başka önemli bir parametre nötron yıldızının kütlesi olabilir.

P-P Değişimi Evrimi

Nötron yıldızlarının P-P değişimi değerleri ve SNK bağlantısı bize P-P değişimi evrimini verir. YGY'ler çevrelerindeki maddeyle doğrudan gözlenebilecek bir etkileşimde bulunmuyorlar. Bu da yüksek P değişim değerlerini desteklemiyor. Bunun sonucunda denilebilir ki eğer kütle aktarımı yoksa YGY'ler yüksek P değerlerine manyetik bozunumla gelmiş olmalı. YGY'lerle bağlantılı SNK bulunmamıştır. Ama bu YGY'lerin $(2-5) \times 10^4$ yıldan daha yaşlı olduğunu göstermez, çünkü birçok yoğun YOB'de SNK gözlenemiyor. Aynı zamanda 7-8 kpc uzaklıkta ve 10^4 yıldan daha genç olan PSR J1124, J1614, J1617 ve J1301 için de SNK gözlenmemiştir. SNK'larla bağlantılı pulsarlar için $P < 1$ sn. Bu yüzden SXP ve YGY'lerin doğuş periyotlarının 1 sn'den küçük olduğunu rahatça söyleyebiliriz. Bunun sonucunda mekanizmadan bağımsız olarak denilebilir ki SXP/YGY'ler daha önceleri çok daha yüksek P değişimlerine sahiptiler. SNK'larla bağlantısı kesin olan SXP'ler 1E2259+586 ve 1E1841-045'tir. SXP 1E1841-045'in SNK yaşı ile kendi karakteristik yaşı arasında pek bir fark yoktur, ama SXP 1E2259+586'nın SNK'sıyla yaş farkı 20 kat civarındadır. Bu da çok yüksek bir n'ye işaret ediyor. Çok yüksek n'de çok güçlü manyetik bozunum ve doğuştan çok güçlü manyetik alana işaret ediyor. Ama gözlemlerde gürültü hariç manyetik bozunuma doğrudan işaret edecek birşey yok, ama enerjisi düşük sık sık olan parlamalar olma ihtimalini gözardı edemeyiz (böyle parlamaların varlığı 1E2259'da 2002'de Kaspi tarafından gözlemlendi). SXP'ler ve YGY'ler P-P değişim diyagramı üzerinde P=sabit çizgisi üzerinde evrimleşiyor olabilirler, bu çok yüksek n ile evrimle aynı şeydir. Bu da çok yüksek bir manyetik bozunumla olabilir. Ancak böyle büyük bir bozunum yüksek manyetik alanlı pulsarlarda gözlenmedi. Başka bir gariplik te parlamaların başka dalga boylarında olmamasıdır. P-P değişimi diyagramı üzerinde radyo sessiz RXJ0720.4-3125, RXJ0420.0-5022 ve RXJ0806.4-4123 SXP ve YGY'lerin yüksek n ile evrim yolu üzerindedir. RXJ0420.0-5022 ve RXJ0806.4-4123 yüksek Gökada boylarına sahip ve 0.8 kpc'ten yakınlardır. Aynı zamanda bu kaynaklarla bağlantılı SNK yok. Bu da gösterir ki bu kaynaklar 3×10^4 yıldan daha yaşlılar, RXJ0806'nın P değişimi 6×10^{-12} 'den az ve RXJ0420'nin P değişimi de 1.2×10^{-11} 'den daha azdır (standart soğuma hesaba katılırsa P değişimlerinin alt limiti de sırasıyla 6×10^{-13} ve 1.2×10^{-12} s/s). Bu pulsarların sıcaklığı 0.06-0.09 keV arasında ve X-ışını parlaklıkları da 10^{32} erg civarındadır. Bu da bu pulsarların çok genç olduğunu gösterir. Bu yaşlarda P-P değişim grafiğinde buldukları yerde çok daha düşük X-ışını parlaklığına sahip olmalıydılar. Bu da gösteriyor ki bu kaynaklar normal radyo pulsarlardan evrimleşmiş olamazlar. Eğer SXP ve YGY'lerin yüksek n ile evrimleştiği doğruysa bu radyo sessizler 10^5 yaşındaki YGY'ler olabilirler. Yüksek periyotlu radyo sessizler $B = 10^{13}$ G ve yüksek kütleli pulsarlardan evrimleşselerdi yaşları 1 milyon yıldan fazla ve X-ışına parlaklıkları da 10^{30} erg/s'den az olurdu, ama durum böyle değil. Bu radyo sessizlerin düşük kütleli pulsarlardan evrimleştiğini kabul edersek onların sıcaklıklarını, parlaklıklarını ve yaşlarını açıklayabiliriz. Periyodu yüksek olan radyo sessizlerin sayısı yoğunluğu fazladır (0.8kpc'e kadar 4 nesne). Bu birçok 10^{13} G manyetik alanlı pulsarların doğduğunu gösteriyor. Ama bu gerçek ve de RBS1223'ün P-P değişimi diyagramındaki yeri 1 Güneş kütlelik magnetar modelini kanıtlamaya yetmiyor.

Sonuçlar

1. P değişim = sabit çizgisinden sapmalar en çok YGY 1900, 1806 ve SXP 1048.1'de gözlemlendi. Bu kaynaklar SXP ve YGY'ler arasında en büyük dönme enerjisi kaybına sahip. Magnetar modeline göre en yüksek sıcaklık ve X-ışını parlaklığına sahip olmalı ve güçlü manyetik bozunum olmalı. Ama ortalamada bunlar doğru değil ve bu magnetar modeli için bir sorun yaratıyor. SXP 1841 ve 1708'de de 1048'de olduğu gibi gürültü olmalı. Bu kaynaklardan parlama görülmezse bu da magnetar modeli için başka bir sorun olacaktır.
2. SXP 1845 için P değişim değeri $(1.3-2) \times 10^{-12}$ s/s olarak bulundu.
3. YGY 1900 ve 1806'daki parlamalar ardından gelen büyük P ve P değişim artışları plazma atımı ve çevreyle etkileşimden geliyor olabilir. Periyot değişimi artış zaman ölçeği 1-3 yıl arasında olduğu için eğer fırlatılan plazma varsa, bu nötron yıldızından 1 pc uzaklaşmadan etkisini kaybeder. Bu da YGY'lerin yüksek P değişimlerinin ileride bir kaç kere azalacağını gösterir.
4. Parlamalara rağmen YGY'ler ve aynı zamanda SXP'ler güçlü pulsar rüzgar bulutsusuna sahip değildir. Pulsar rüzgar nebulası olabilmesi için pulsarın 10000 yıldan daha genç ve voltajla doğru orantılı olan dönme enerji kaybının yüksek olması gerekir. 5 kpc'e kadar 1.6×10^4 yıldan daha genç pulsarların çoğu SNK'larla bağlantılıdır. SNK'larla bağlantılı 21 pulsar için dönme enerjisi kaybı 3×10^{34} erg/s'den daha çoktur. Ama buna rağmen pulsar rüzgar nebulası sadece 8 pulsar için gözlemlendi. Bu pulsarlar 3×10^4 yıldan daha genç ve dönme enerji kayıpları 4×10^{35} erg/s'den daha fazladır. YGY 1900, 1806 ve SXP 1048 ve 1708 10000 yıldan daha gençtir ve 10-15 kpc'ten daha yakındır. Bu kaynakların S-tipi SNK'ları bile yoktur, ama bunun sebebi uzaklık olabilir. Ancak bu kaynakların dönme enerjisi kayıpları 4×10^{34} erg/s'den daha az olduğu için bu kaynaklarda pulsar rüzgar nebulası olmaması çok doğaldır.
5. Magnetar modeline göre SXP ve YGY'ler aynı gruptadır. SXP 2259 daha önce çok etkin ve çok fazla manyetik bozunum olmuş olmalıdır. SXP 2259 ve SNK CTB 109'un yaşları eşitlenirse bu kaynağın başlangıçta YGY'ler kadar manyetik alanı olması gerektiği anlaşılır. Aynı zamanda SXP ve YGY'lerin P-P değişim dağılımları da yüksek manyetik bozunuma işaret ediyor. Eğer parlamaların kaynağı manyetik bozunumsa, radyo sessizler SXP'ler ve YGY'ler aynı evrim yolu üzerinde olduklarından, SXP ve YGY'lerin bozunumu P-P değişim grafiğinde radyo sessizlerin olduğu bölgeye kadar devam etmelidir. Eğer evrim YGY-SXP-radyo sessiz şeklinde oluyorsa radyo sessizlerde de gürültü gözlenmelidir.
6. SXP ve YGY'lerin P ve P değişim değerleri ve parlamaların gücü $10^{14}-10^{15}$ G manyetik alanlara işaret ediyor. Eğer bu kaynaklar daha önce birkaç kez parladıysa daha da yüksek manyetik alana sahip olmalı ya da manyetik alan sürekli dinamoyla beslenmeli. YGY'ler ve SXP'ler düşük kütleli ve manyetik alanları $10^{13}-10^{14}$ G olan nötron yıldızları olabilirler. Bu monopollerin hareketini kolaylaştırır, turbulansın yaşama süresini artırır ve de dinamonun daha uzun süre çalışmasını sağlar, bu da manyetik alanın daha uzun süre beslenmesi demektir. Aynı zamanda düşük kütleli nötron yıldızı dengeye gelene kadar daha çok salınım yapar, bu yüzden geç soğur, turbulans ve dolayısıyla dinamo daha uzun süre etkin kalır.
7. Pulsar ve SXP özellikleri arasında süreklilik yoktur. Ama bu kaynakları yüksek manyetik alanlı ve düşük kütleli kabul edersek P değişimi keskin olarak azalmış olur ve YGY-SXP-radyo sessiz şeklinde evrim olabilmesi için çok güçlü bozunuma gerek kalmayabilir ve pulsarlarla magnetarlar arasındaki temel farklılıklar kaybolabilir.

Burada nötron yıldızı kütlesi üzerine yazılanlar şu anda spekülasyonda öteye geçemez, bundan sonra magnetarların ve pulsarların diğer özelliklerine bakılarak kütlelerin rolü incelenecektir. Bu yazının ayrıntıları Guseinov ve diğerleri 2002'de bulunabilir.

Kaynakça

- Alpar, M.A., 2001, ApJ, 554, 1245
Chatterjee, P., Hernquist, L., & Narayan, R., 2000, ApJ, 534, 373
Guseinov, O.H., Yazgan, E., Ankay, A., & Tagieva, A., 2002, astro-ph/0206330
Landau, L.D., 1962, Classical Theory of Fields
Mereghetti, S., & Stella, L., ApJ, 1995, 442, L17
Tagieva, S., Yazgan, E., & Ankay, A., 2002, astro-ph/0201068
Thompson, C. & Duncan, R.C., 1995, MNRAS, 275, 255