

Galaktik Süpernova Kalıntısı G332.5-5.6'nin SUZAKU X-Işını Tayf Analizi

Fatma Gök^{1*}, Aytap Sezer², Murat Hüdaverdi² ve E.Nihal Ercan³

¹ Akdeniz Üniversitesi, Fizik Bölümü, Antalya

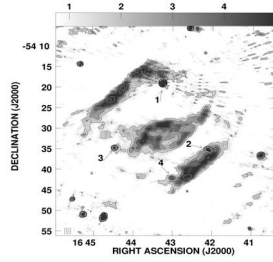
² TÜBİTAK UZAY Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, Ankara

³ Boğaziçi Üniversitesi, Fizik Bölümü, İstanbul

Özet G332.5-5.6 süpernova kalıntısı, Suzaku uydusu tarafından 2007 yılında toplam 70.2 ks boyunca XIS (X-ray Imaging Spectrometer) ile gözlenmiştir. Bu gözlem verilerini kullanarak kalıntının X-ışını analizlerini yaptık. Tayf modellemesi ile; serbest parametre olarak bıraktığımız galaktik hidrojen sütun yoğunluğu (N_H), iyonizasyon zamanı ($n_e t$), sıcaklık (kT_e) ve metal bolluklarını elde ettik. Bu sonuçları kullanarak, kalıntı ve çevredeki gaz etkileşimini inceledik.

1 Giriş

Kabuk (shell) tipli ve 35' büyüklüğünde olan G332.5-5.6, Reynoso ve Green (2007) tarafından 1.4 ve 2.4 GHz'de radyo bölgesinde ilk olarak gözlenmiştir, yeni bir kalıntıdır. Uzaklığı HI çizgisinden $d=3.4$ kpc, Galaksi düzleminden olan uzaklığı ise 330 pc olarak verilmiştir. Şekil 1'de verilen radyo görüntüsünden bu kalıntının 3 bölgede yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 1. G332.5-5.6'nin 1.4 ve 2.4 GHz'de ATCA ile alınmış radyo görüntüsü Reynoso ve Green (2007).

Optik bölgedeki ve 0.1-2.4 keV enerji aralığındaki Rosat X-ışını çalışmaları ise Stupar vd (2007) tarafından yapılmıştır. Uzaklık ve çapını gözönünde bulundurarak bu kalıntının yaşlı ya da orta yaşlı olduğunu tahmin etmişlerdir.

* gok@akdeniz.edu.tr

Biz bu çalışmada yeni bir kalıntı olan G332.5-5.6'nin Suzaku X-ışını verileri analizlerini yaptık. Suzaku, en yeni X-ışını uydusudur, yüksek enerji çözünürlüğü ($\sim 6.5eV@6keV$), geniş algı aralığı (0.3-600 keV), yüksek verimlilik ve düşük background seviyesi özellikleri ile SNK'lerin X-ışını gözlemleri için çok uygundur. Özellikle SN patlaması ile oluşan K-shell Fe çizgilerinin tespit edilmesinde hassastır. SNK'ler, SN patlaması sonucu oluştuğundan, bu patlamayı veren yıldızın kütlesi, patlama türü, patlama enerjisi gibi parametreler özellikle önemlidir. X-ışını analizleri ile kalıntılardan gelen metal çizgi bollukları belirlenebilmektedir ve bu da SN patlama türü hakkında bilgi verir.

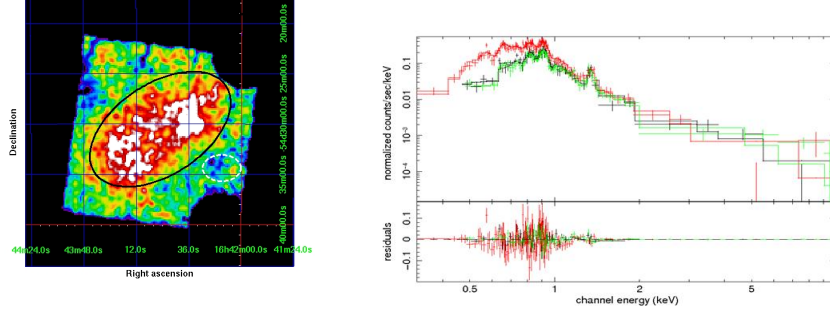
2 Analiz

G332.5-5.6 ($\alpha = 16^h43^m20^s, \delta = -54^{\circ}30'$) kalıntısı 18 Ağustos 2007'de 70.1 ks (Gözlem no:502066010) boyunca SUZAKU uydusu tarafından XIS (X-ray imaging spectrometer) ile gözlenmiştir. Bu gözlemlerde XIS0, XIS1 ve XIS3 alıcıları kullanılmıştır (2006 yılı Kasım ayında, XIS2 hasar görmüş ve devre dışı kalmıştır. Bu sebeple 2007 ve sonrası gözlemler, kalan 3 XIS kamerası ile gerçekleştirilmiştir). Kamera Prime Full Window modunda çalıştırılmış ve Medium filtre kullanılmıştır. Bu uydudan alınan verilerin filtreleme ve temizleme analizleri HEADAS software 6.04 ve tayf analizleri XSPEC 11.3.2 versiyonları kullanılarak yapılmıştır. Uydudan XIS dosyaları alınarak; kozmik ışınlar, güneş parlaması gibi dış etkilerin meydana getirdiği kirli veriyi temizlemek için ışık eğrisi oluşturulmuştur. Ortalama dağılımın 2.7σ değerinin altında ve üstünde kalan alanlar çıkarılarak temizlenmiştir. Bu şekilde oluşturulan GTI (Good Time Intervals) dosyası kullanılarak temizleme işlemi tamamlanmıştır. Bu temizlenmiş dosya ile kalıntının 0.3-10 keV enerji aralığındaki, parlaklık haritasına bakılmıştır. Smooth edilmiş XIS0 görüntüsü Şekil 2(a)'da verilmiştir.

Şekilde elips ile işaretlenmiş bölge ($\alpha = 16^h42^m56^s, \delta = -54^{\circ}30'31''$ merkezli, $7.8' \times 4.5'$ büyüklüğünde ve 330 açılı) tayf analizi için XSELECT V2.4a programı ile seçildi. Bu bölgeden gelen X-ışın fotonlarını, enerjiye dönüştürebilmek için, Suzaku uydusu alıcı çiplerinin ilgili piksellerinin response dosyaları hazırlanmıştır. Bu iş için xisrmfgen ve xissimarfgen (version 2006-10-17, Ishisaki vd (2007)) yazılımları kullanılmıştır. Dosyalar hazırlandıktan sonra, kaynaktan gelen ışınmayı modellemek için XSPEC 11.3.2 programı kullanılmıştır. Bu işlemler XIS0, XIS1 ve XIS3 alıcıları için ayrı ayrı yapılmıştır.

Tayf analizlerinde en iyi uygunluk (fit) ($\chi^2/d.o.f = 1.13$) VNEI (VNEI ; Non-equilibrium ionization collisional plasma model with variable abundances, Borkowski vd (2001) ve power-law (non-thermal synchrotron emission from relativistic electrons) modeli ile elde edildi. Bu model uygulanarak elde edilen 0.3-10 keV enerji aralığındaki tayf, eş zamanlı olarak modellenerek Şekil 2(b)'de verilmiştir.

Şekil 2'de kırmızı renk ile gösterilen eğri (XIS1), siyah renk ile gösterilen eğri (XIS0), yeşil renk ile gösterilen eğri ise (XIS3) ile alınan verilerden elde edilmiştir. XIS1 sayımları XIS0 ve XIS3'e göre daha fazladır. Bu durum XIS1'in arka aydınlatmalı (back-illuminated) çip olmasından kaynaklanmaktadır. G332.5-5.6



Şekil 2. (a) G332.5-5.6 kalıntısının 0.3-10 keV enerji aralığındaki smooth edilmiş XIS0 görüntüsü. Çalışılacak olan bölge elips içinde gösterilmiştir. Bu bölge kalıntının merkez bölgesidir. Arka alan ışması için seçilen bölge ise beyaz renkli kesikli elips ile işaretlenmiştir. Kalibrasyon amaçlı gözlenmiş sağ üst ve sağ alttaki iki köşe ise analiz aşamasında çıkarılan bölgelerdir. Koordinatlar J2000.0 olarak verilmiştir. (b) G332.5-5.6'nin merkez bölgesi, wabs*(vpshock+power-law) modellemesiyle elde edilen 0.3-10 keV enerji aralığındaki XIS0 (siyah), XIS1 (kırmızı) ve XIS3 (yeşil) eşzamanlı X-ışını Suzaku tayfi

kalıntısının tayf analizlerinde galaktik hidrojen sütun yoğunluğu N_H , iyonlaşma zamanı $n_e t$, sıcaklık kT_e ve metal bollukları hesaplanmıştır. Elde edilen tayfta baskın olarak görülen O, Ne, Mg, Fe ve Ni çizgilerinin metal bolluklarını belirlemek için, tayf modellemesi yapılırken bu değerler serbest bırakılmış, diğer metaller (H, He, N, C, Si, S, Ar, Ca) ise Güneş değerlerine (Anders ve Grevesse 1989) sabitlenmıştır. wabs*VNEI+power-law modellemesiyle elde edilen parametreler ve hata değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. G332.5-5.6'nin Suzaku X-ışını tayf analizinden elde edilen sonuçlar

	Parametreler	Değerler
VNEI	Absorbtion $N_H(cm^{-2})$	$(4.75 \pm 0.04) \times 10^{20}$
	$kT_e(keV)$	0.50 ± 0.03
	$n_e t(cm^{-3} s)$	$(3.32 \pm 0.01) \times 10^{10}$
	O	0.68 ± 0.10
	Ne	1.67 ± 0.39
	Mg	2.43 ± 0.65
	Fe	1.15 ± 0.22
Power-law	PhotonIndex	1.28 ± 0.13
	$\chi^2/d.o.f.$	$356/314=1.13$

3 Sonuç ve Tartışma

Suzaku X-ışını analizlerinde G332.5-5.6 için düşük kT_e (0.50 ± 0.03 keV) ve düşük hidrojen sütun yoğunluğu (4.75 ± 0.04) $\times 10^{20}$ cm^{-2} değerleri elde edilmiştir. Sıcaklık değeri SNK'ler için beklenen değerdedir. Hidrojen sütun yoğunluğunun düşük çıkması, bu kalıntının galaksi düzelemine yakın olmadığını işaret etmektedir. Radyo gözlemleri ile de bu kalıntının galaksi düzleminde 330 pc uzakta olduğu gösterilmiştir Reynoso ve Green (2007).

SNK'lerin iyonlaşma denge durumu, iyonizasyon zamanı ($n_e t$) olarak anılan bir parametre ile belirlenmektedir. Tam iyonlaşma denge durumu için bu değer 10^{12} cm^{-3} s olarak verilmektedir (Masai 1984). G332.5-5.6 için bu değeri ($n_e t$) (3.32 ± 0.01) $\times 10^{10}$ cm^{-3} s olarak elde ettik. Bu değer kalıntının tam iyonlaşma denge durumuna yakın olmadığını göstermektedir.

Suzaku X-ışını analizlerinden bu kalıntıya ait O(0.68 ± 0.10), Ne(1.67 ± 0.39), Mg(2.43 ± 0.65), Fe(1.15 ± 0.22) ve Ni(3.08 ± 1.16) çizgilerini ilk defa bu çalışmada tespit ettik. Bu metallerin bolluk değerleri teorik modellerle karşılaştırılarak, kalıntının patlama türü belirlenmektedir. Fe bolluğunun diğer element bolluklarına oranının çok büyük çıkması, kalıntının SNIa tipli patlama sonucu oluştuğunu, aksi halde ise özek çökmesi (core collapse) sonucu oluştuğuna işaret etmektedir (Woosley ve Weaver (1995), Thielemann vd (1996), Iwamoto vd (1999)). Bu çalışmada elde edilen element bolluklarına bakıldığında, Fe bolluğunun SNIa patlaması için yeterli olmadığı söylenebilir. Ni bolluk değeri kalıntının SNIa kaynaklı olabileceğine işaret etmektedir. Ancak hata değerinin büyüklüğünü gözönüne aldığımızda, Ni bolluğuna dayanarak bir yorum yapmanın sağlıklı olmadığını düşünmekteyiz.

Kaynaklar

- Anders, E., and Grevesse, N.:Abundances of the elements - Meteoritic and solar. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **53** (1989) 197–214.
- Borkowski, K. J., Lyerly, W. J., & Reynolds, S. P. :Supernova Remnants in the Sedov Expansion Phase: Thermal X-Ray Emission. *ApJ* **548** (2001) 820–835.
- Ishisaki, Y., Maeda, Y., Fujimoto, R. et al.:Monte Carlo Simulator and Ancillary Response Generator of Suzaku XRT/XIS System for Spatially Extended Source Analysis. *PASJ* **59** (2007) 113–132.
- Iwamoto, K., Brachwitz, F., Nomoto, K., et al.:Nucleosynthesis in Chandrasekhar Mass Models for Type IA Supernovae and Constraints on Progenitor Systems and Burning-Front Propagation. *ApJS* **125** (1999) 439–462.
- Masai, K.:X-ray emission spectra from ionizing plasmas. *ApSS* **98** (1984) 367–395.
- Reynoso, E.M. and Green, A.,J.:G332.5-5.6, a new Galactic supernova remnant. *MNRAS* **375** (2007) 92–98.
- Stupar, M. et al.:Multiwavelength study of a new Galactic SNR G332.5-5.6. *MNRAS* **381** (2007) 377–388.
- Thielemann, F-K., Nomoto, K., Hashimoto, M.:Core-Collapse Supernovae and Their Ejecta. *ApJ* **460** (1996) 408–436.
- Woosley, S. E. and Weaver, T. A.:The Evolution and Explosion of Massive Stars. II. Explosive Hydrodynamics and Nucleosynthesis. *ApJS* **101** (1995) 181–235.