

ABELL 426 Kümesindeki Galaksilerarası Ortamın Kimyasal Kaynağı

Ebru Aktekin^{1*}, Fatma Gök¹, Murat Hudaverdi²,
Nihal Ercan³ ve Aytap Sezer²

¹ Akdeniz Üniversitesi, Fizik Bölümü, Antalya,

² TÜBİTAK Uzay Araştırma Enstitüsü, Ankara

³ Boğaziçi Üniversitesi, Fizik Bölümü İstanbul

Özet Bu çalışmada, A426 ($z = 0,0179$) galaksi kümesinin X-ışını analiz sonuçları verilmiştir. Çalışma, en son X-ışını uydusu olan SUZAKU, XIS (X-ray Imaging Spectrometer) verileri kullanılarak galaksilerarası ortamın doğası ve küme içerisindeki bolluk oranlarının hesaplanması ve teorik sonuçlarla karşılaştırılması kapsamaktadır. Elde edilen X-ışını tayfına uygulanan "en iyi uydurma (fit)" ile elde edilen sıcaklık değeri, $kT = 4.21 \pm 0.03$ keV olarak bulunmuştur. Bu değer Abell kümeleri için beklenen ortalama bir değerdir. Elde edilen diğer bir parametre metal bolluk değerleridir. Güneş biriminde olmak üzere, $O = 0.55 \pm 0.20$, $Mg = 0.41 \pm 0.09$, $Si = 0.63 \pm 0.06$, $S = 0.65 \pm 0.09$, $Fe = 0.79 \pm 0.07$ değerleri elde edilmiştir. Metal bolluk değerleri, galaksilerden galaksiler arası ortama madde akımının nasıl oluştuğunun anlaşılması amacı ile kullanılmaktadır. Teorik modellere göre galaksilerarası ortamdaki bolluk, galaksilerde oluşan SNe Ia veya SNe II patlamaları ile sağlanmaktadır. Bu çalışmada yapılan analizler sonucunda elde edilen değerler galaksilerarası ortamın SN tip Ia türü patlamalar ile beslendiğini göstermektedir.

1 GİRİŞ

Gökada kümeleri evrendeki en büyük yapılardır. Evreni en iyi temsil eden birimler oldukları için çalışılmaları evrenin oluşumunun ve kimyasal yapısının anlaşılması konusunda önemli ipuçları verecektir. Küme içinde, gökadalara (%10), sıcak X-ışın plazması (% 20) ve karanlık madde (% 70) bulunmaktadır. Sıcaklığı $10^7 \sim 10^8$ K, kütlesi: $10^{14} M_{\odot}$, yoğunluğu 1 parçacık/litre ve yarıçapı 1-2 Mpc civarındadır.

Yoğun galaksi kümeleri güçlü X-ışın kaynağıdır. Bu ışımının ana kaynağının, kümenin gökadalaraarası ortamında tuzaklanmış olan sıcak, iyonlaşmış gazdan gelen ısısal frenlenme olduğu bilinmektedir.

Bilindiği üzere yıldızlararası ortama madde aktarımı Süpernova (SN) patlamaları ile olmaktadır. Galaksi kümelerinde de kümeiçi element bolluğunun, kümeye ait galaksilerde oluşan SN'ler ile oluştuğu düşünülmektedir. SN patlamaları temelde 2 tür element bolluğuna sebep olmaktadır. Bunlardan birincisi SN tip Ia patlamalarıyla oluşan Fe bolluğu ve SN tip II ile oluşan O,

* eaktekin@akdeniz.edu.tr

Mg, Si ve S bolluğudur. Ortamdaki element bolluklarının Fe elementi bolluğuna oranına bakılarak galaksideki SN patlanmalarının cinsi belirlenebilmektedir (Iwamoto vd 1999).

2 SUZAKU: En Yeni X-Işını Uydusu

Japonya'nın 5. X-ışın uydusu Astro-E2, 2005 yılı Temmuz ayında yörüngeye fırlatılmıştır. Kısa süre sonra Asya mitolojisine göre güney gökkürenin muhafızı Anka kuşuna ithafen Suzaku olarak ismi değiştirilmiştir. 570 km yükseklikteki dairesel yörüngesini yaklaşık 96 dakikada tamamlamaktadır. Suzaku uydusu, geniş algı aralığı (0.3-600 keV, Chandra 0.1-10 keV), düşük gürültü kirliliği ve CCD enerji çözünürlüğüne ($\sim 6.5\text{eV}@6\text{keV}$) sahiptir.

Suzaku uydusunun 3 adet eş-yönlü enstrümanı bulunmaktadır. HXD (Sert X-ışını Dedektörü) 10-600 keV algı aralığı (Kokubun vd 2007) ile uydunun görüş aralığını büyük ölçüde artırmaktadır ancak (Takahashi vd 2007) görüntüleme özelliğine sahip değildir. XIS (X-ışını görüntüleme tayföçerleri) dört adet görüntüleme CCD'si ortalama enerji çözünürlüğüne sahiptir (Koyama vd 2007). Her bir XIS, X-ışını teleskoplarının (XRT) odağına yerleştirilmiştir (Serlemitsos vd 2007). XRT, X-ışını teleskopudur. 20 kg ağırlığında aynalara ve 0.2-12 keV enerji görüş aralığına sahiptir. Açısal çözünürlüğü $1'.8 - 2'.3$ arası değerdedir.

SUZAKU, 4 X-ışın görüntüleme tayföçerine sahiptir. X-ışın teleskoplarının odak düzleminde yer alan 4 XIS detektörü XIS0, 1, 2 ve 3 olarak adlandırılır. Herbir CCD, 1024×1024 piksel ve $18' \times 18'$ görüş alanına sahiptirler. XIS1 detektöründe arka aydınlatmalı, diğer detektörlerdeyse ön aydınlatmalı chip kullanılmıştır.

3 X-ışını Gözlem Verilerinin Analizi

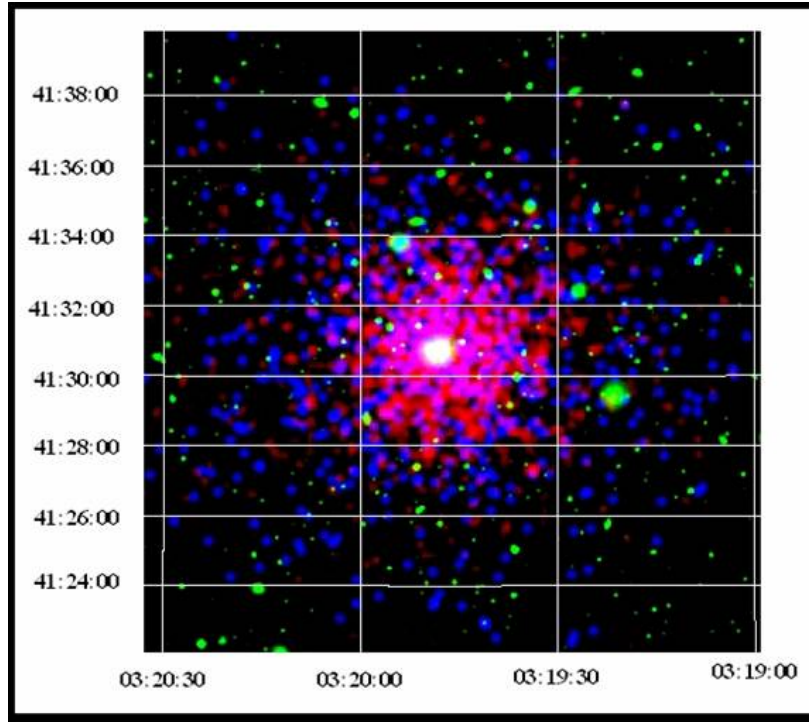
Perseus süper kümesinin en önemli kümelerinden olan A426'nın Suzaku uydusu X-ışını gözlemi 2006 yılından bu yana her yıl yapılmaktadır. A426'yı bu kadar değerli yapan ve sürekli gözlenmesini sağlayan, bize en yakın ve en parlak kümelerden biri olmasıdır. Bautz ve Morgan (1970) sınıflamasına göre 2. zenginlik sınıfındadır. Kümenin içerisinde 190 gökada bulunmaktadır.

Bu çalışmada 2006 yılı Ağustos ayında toplam 150 ks boyunca SUZAKU uydusu tarafından XIS ile alınan veriler kullanılmıştır (Gözlem no:101012010). Bu veriler XIS0, XIS1 ve XIS3 ile alınmıştır.

Suzaku uydusu verileri analiz öncesinde, tıpkı optik bant çalışmalarında yapılan önindirgeme işlemleri gibi, standart olarak temizlenmiş ve filtrelenmiştir. Filtreleme ve temizleme işlemleri için HEADAS software 6.04 ve tayf analizleri için XSPEC 12.5.1 versiyonları kullanılmıştır.

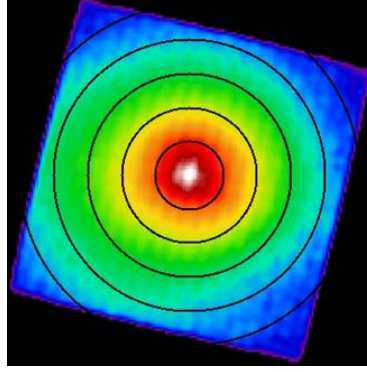
Kozmik ışınlar, güneş patlaması gibi dış etkilerin meydana getirdiği kirli veriyi temizlemek için değişim eğrisi oluşturulmuştur. Ortalama dağılım 2.7σ değerinin altında ve üstünde kalan alanlar çıkarılarak temizlenmiştir. Bu

şekilde oluşturulan GTI (Good Time Intervals) dosyası kullanılarak temizleme işlemi tamamlanmıştır. Bu temizlenmiş dosya ile kümenin 0.3-10 keV enerji aralığındaki, parlaklık haritalarına bakılmıştır. Ayrıca küme içerisinde O ve Fe bolluğunun hangi bölgelerde daha yoğun olduğunu anlaşılması için 300-1200 eV (O) ve 5000-8000 eV (Fe) aralıklarında parlaklık haritaları elde edilmiştir. Elde edilen görüntü Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. A426 kümesine ait parlaklık haritası. Eksenler sağ açıklık ve dik açıklık cinsindedir. Şekilde 300-1200 eV aralığı kırmızı renkte, 5000-8000 eV aralığı mavi renkte ve DSS’den alınan optik görüntü ise yeşil renklere verilmiştir.

Yapılan çalışmaya ek olarak, kümenin merkezinden başlayarak belirli uzaklıklarda eş merkezli çemberler alınmıştır. Bu yöntemle küme merkezinden uzaklaştıkça sıcaklık ve metal bolluğunun değişimine bakılmıştır. Önce en içteki bölgenin tayfi elde edilmiştir. Sonra her bölge için, kendisinden önce gelen bölge çıkarılarak, belirli yarıçapa sahip halkalar elde edilmiştir. Alınan bölgeler Şekil 2’de görülmektedir



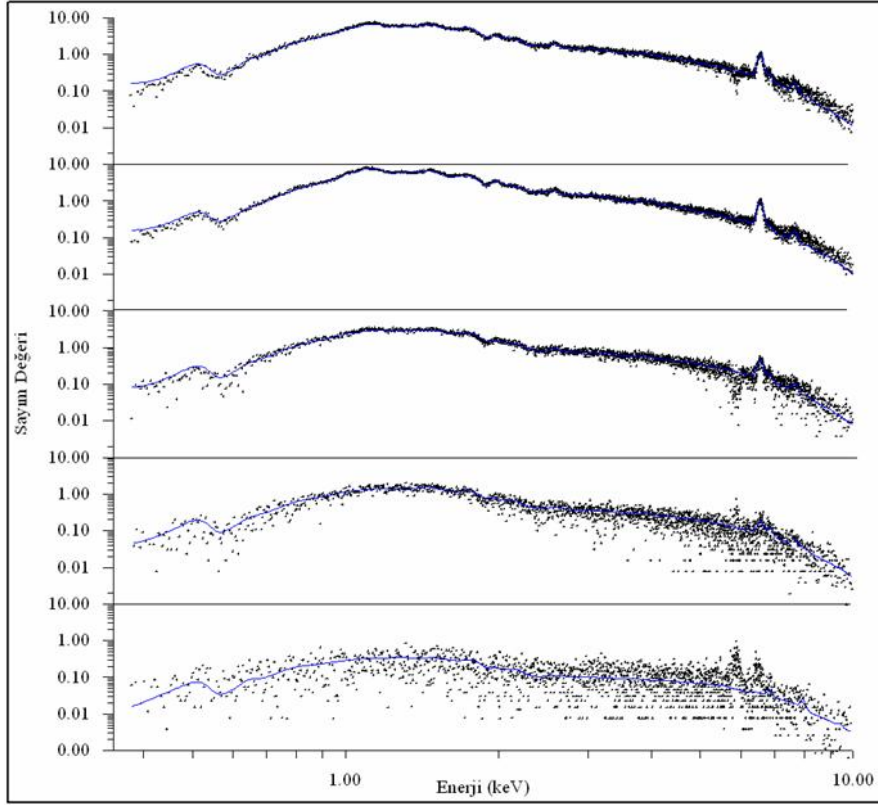
Şekil 2. A426 için analizler sırasında seçilen çembersel bölgeler gösterilmektedir. Her bir çembersel bölge 2'' genişliğe sahiptir.

Her bir halka kendi içinde analize tabi tutulmuştur. Her bölge için ayrı ayrı xisrmfgen ve xissimarfgen yazılımları (versiyon 2006/10/17) kullanılarak X-ışını fotonları enerjiye dönüştürülmüştür.

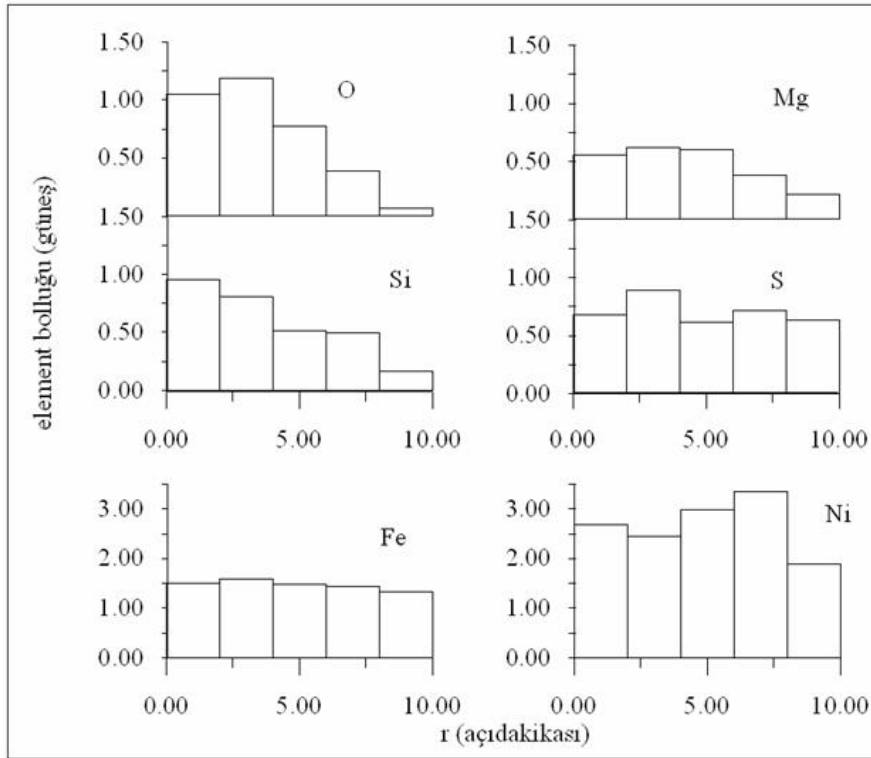
Daha sonra bölgelerden gelen ışınının modellenmesi için XSPEC 12.5.1 programı kullanılmıştır. Modelleme için, bu tip sistemlerde en iyi uydurmayı (fiti) verdiği için apc model kullanılmıştır. Elde edilen X-ışını tayfı ve bulunan uydurma eğrisi Şekil 3'de verilmiştir

Apec modeli ile plazma sıcaklığı (kT), kırmızıya kayma (z) ve bazı elementlerin (He, C, N, O, Ne, Mg, Al, Si, S, Ar, Ca, Fe, Ni) bollukları hesaplanabilmektedir. Merkezden uzaklaştıkça sıcaklığın ve element bolluğunun değişimi küme hakkında daha fazla bilgi sahibi olmamızı sağlayacaktır. Modelleme sırasında öncelikle yukarıda adı geçen tüm elementler serbest bırakılmıştır. Fakat elde edilen $\chi^2/d.o.f$ ve hata değerleri çok yüksek çıkmıştır.

En iyi $\chi^2/d.o.f$ değeri, O, Mg, Si, S, Fe ve Ni elementleri serbest bırakılıp diğer elementler Güneş değerine (Anders ve Grevesse 1989) sabitlendiğinde elde edilmiştir. O, Mg, Si, S, Fe ve Ni elementleri galaksi kümelerinde baskın olarak görülmektedir. Çalışma kapsamında seçilen her bir bölge için element bollukları ve sıcaklık (kT) değerleri hesaplanmıştır. Kümelere ait kırmızıya kayma değerleri literatürde verilmiştir, bu nedenle modelleme sırasında bu parametreler, bu değerlere sabitlenmiştir. Elde edilen element bolluk değerinin merkezden itibaren uzaklaştıkça değişimi Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 3. A426 için merkezden itibaren seçilen çembersel bölgelerden elde edilen tayflar gösterilmektedir. En üstteki tayf merkez bölgeye ait olmak üzere aşağıya doğru merkezden uzaklıkdıkça elde edilen tayflar görülmektedir. tayfa uygulanan uydurma çizgi ile gösterilmiştir.



Şekil 4. A426 için merkezden itibaren element bolluklarının değişimi görülmektedir. Karşılaştırma kolaylığı için O, Mg, Si ve S aynı skalada, Fe ve Ni ayrı bir skalada görülmektedir.

4 Sonuç ve Tartışma

Gökada kümelerinde, küme içi plazmadaki (ICM, IntraCluster Medium), ağır element bolluğunun ilk delili Perseus kümesinin merkezinde He-Fe (Helium-like iron, FeXXV, 6.67 keV) çizgisinin baskın olarak görülmesidir (Mitchell vd 1976). Küme merkezinde bu çizgisinin görülmesi, diğer ağır elementlerin de araştırılmasına neden olmuştur.

Yapılan gözlemler ve analizler ile diğer kümelerde de ağır element bolluğu belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmalar, kümenin dolayısıyla ICM'nin yapısının ve evriminin anlaşılması için ortaya atılan teorilerin geçerliğinin ya da eksikliklerinin anlaşılmasını sağlayacaktır.

ICM içindeki ağır element bolluğu, küme içi galaksilerdeki ağır element yoğunluğunun yüksek olduğunu gösterir. Ağır elementlerin SN patlamaları ile oluştuğu bilinmektedir. Dolayısıyla küme içi galaksilerde SN patlamaların olması ve ortaya çıkan bu ağır elementlerin bir ya da bir dizi mekanizma ile galaksi dışına atılması gerektiği düşünülmektedir. Elementlerin bu tür etkilerle gökada dışına çıktığı ve ICM'yi zenginleştirdiği düşünülmektedir.

ICM içerisinde metal bolluklarına bakıldığında, kümeden kümeye bolluk oranının değiştiği görülmüştür. Bu bolluk oranının değişimi SN patlama türüne bağlıdır. Bilindiği gibi SN tip Ia süpernova patlamaları sonunda Ni ve Fe en fazla üretilen ağır elementlerdir. SN tip II, Ib ve Ic'lerde ise O, Si, Mg ve S daha fazla açığa çıkar.

Bu durumda küme içinde ölçülen element bolluğu bize küme içi gökadalarda meydana gelen SN patlamasının türü hakkında bilgi verecektir. Nomoto vd (1997a ve 1997b) tarafından yapılan çalışmada SN patlamaları sonrasında oluşan element bollukları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Nomoto vd (1997a ve 1997b) tarafından yapılan çalışmadan alınan SN patlamaları sonucu oluşan element bolluk değerleri görülmektedir.

SN Tip Ia	SN Tip II
$O \approx Mg \approx 0.035 Fe$	$O \approx Mg \approx Si \approx 3.7 Fe$
$Ne \approx 0.006 Fe$	$Ne \approx S \approx 2.5 Fe$
$Si \approx S \approx 0.5 Fe$	$Ni \approx 1.7 Fe$
$Ni \approx 4.8 Fe$	

Literatürde cD türü gökada kümelerinde (D-dev eliptik gökada kümesi ve c-özeginde büyük parlak gökada bulunan kümeler) merkez bölgesinde 6.67 keV civarında belirgin bir şekilde He-Fe çizgisi görülmesi beklenmektedir. A426 kümesinin tayfında He-Fe çizgisi baskın olarak görülmüştür.

A426 kümesi, merkezinde NGC 1275 (Perseus A) gökadasını bulundurmaktadır. Söz konusu gökada tüm kümede en baskın parlaklığa sahiptir ve beklendiği gibi çevresine ağır elementler atmaktadır. X-ışını tayfında He-Fe (6.67 keV) çizgisinin varlığı beklenen bir sonuçtur.

Bu çalışmada öncelikle kümenin merkez bölgelerine bakılmıştır. Küme merkezine ait sıcaklık değeri ~ 4.21 keV olarak bulunmuştur. Abell kümeleri için beklenen galaksiler arası ortam sıcaklığı 2-8 keV aralığındadır. Çalışma kapsamında bulunan sıcaklık değeri Abell kümeleri için ortalama değerlerdir. Merkezden itibaren Sıcaklık değerleri hataları ile birlikte Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. A426 için Merkezden itibaren kT ve hata değerleri görülmektedir.

	$0'' - 2''$	$2'' - 4''$	$4'' - 6''$	$6'' - 8''$
kT	4.21	4.61	6.14	8.99
Hata aralığı	0.03	0.03	0.09	0.39

Küme merkezinden uzaklaştıkça gökadalardan birbirileri ile etkileşimi ya da birbirlerine göre hareketlerinden dolayı merkezden uzak bölgelerde sıcaklık artışı görülebilmektedir. Sıcaklık artışının nedeni ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

Bu çalışmada element bollukları elde edilmiş ve bu element bolluklarının Fe bolluğuna oranlarına bakılmıştır. Buradan aşağıdaki iki sonuç çıkarılabilir:

1.) Elde edilen oranlar, çalışılan küme içi gökadalarda SN tip Ia'ların daha fazla olduğu göstermektedir. Ayrıca Ni elementinin yüksek değerde (~ 2.5 Fe) olması da SN tip Ia varlığını destekleyen diğer bir delildir.

2.) Bu oranın beklendiği gibi merkezden uzaklaştıkça azalması, kümelerin cD tipi olduğunu gösteren diğer bir işarettir.

Kaynaklar

- Anders, E., and Grevesse, N.: Abundances of the elements - Meteoritic and solar. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **53** (1989) 197-214.
- Bautz, L. P., and Morgan, W. W.: On The Classification of The Forms of Clusters of Galaxies. *ApJ* **162** (1970) 149-153.
- 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.
- Koyama, K., Hyodo, Y., Inui, T., et al.: Iron and Nickel Line Diagnostics for the Galactic Center Diffuse Emission, *PASJ* **59** (2007) 245-255.
- Kokubun, M., Makishima, K., Takahashi, T., et al.: In-Orbit Performance of the Hard X-Ray Detector on Board Suzaku, *PASJ* **59** (2007) 53-76.
- Mitchell, R. J., Culhane, J. L., Davison, P. J. N. and Ives, J. C., : Ariel 5 observations of the X-ray spectrum of the Perseus Cluster. *MNRAS* **176** (1976) 29-34.
- Nomoto, K., Hashimoto, M., Tsujimoto, T., Thielemann, F.-K., Kishimoto, N., ve Kubo, : Nucleosynthesis in type II supernovae. *Nucl. Phys. A.* **616** (1997) 79-90.
- Nomoto, K., Iwamoto, K., Nakasato, N., et al. : Nucleosynthesis in type Ia supernovae. *Nucl. Phys. A.* **621** (1997) 467.
- Serlemitsos, P. J., Soong, Y., Chan, K. W., et al.: The X-Ray Telescope onboard Suzaku. *PASJ* **59** (2007) 9-21.
- Takahashi, T., Abe, K., Endo, M., et al.: Hard X-Ray Detector (HXD) on Board Suzaku, *PASJ* **59** (2007) 35-51.