

Galaksi Kumelerinde 3.55 keV Çizgisinin Keşfi

Esra Bulbul^{1,2,*}, Maxim Markevitch², Adam Foster¹, Randall Smith¹,
Mike Loewenstein², Scott Randall¹

¹Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge, Massachusetts, USA

²NASA-Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, USA

Özet

Galaksi kümelerinin tayflarının üst üste yığılması sonucu yapılan detaylı analizde 4.5σ anlamlılık seviyesinde olan 3.55 keV enerjisinde zayıf bir çizgi keşfedilmiştir. Bu sinyal Perseus galaksi kümesinin Chandra ve Suzaku X-ışını tayflarında da ayrıca gözlemlenmiştir. Bu enerjide galaksiler arası thermal plazmadan gelebilecek bir sinyalin olmaması, çizginin karanlık madde kaynaklı olabileceği anlamına gelebilir. Bu çalışmada 3.55 keV çizgisinin galaksi kümelerindeki keşfi ve daha sonra bu alanda yapılan teorik ve gözlemsel çalışmalar özetlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: (cosmology:) dark matter, Samanyolu, Galaksiler, Kozmoloji

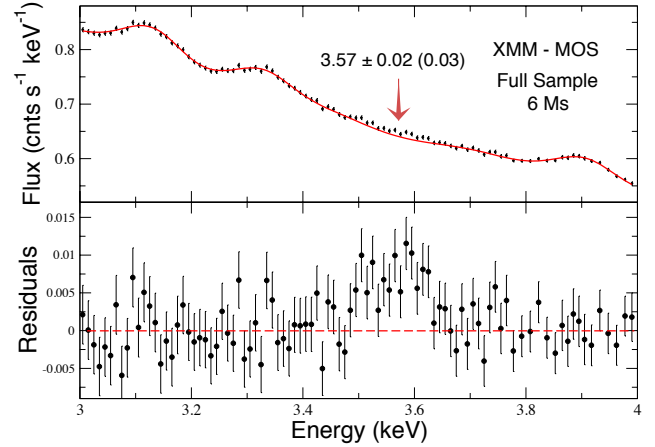
1 Giriş

Galaksi kümeleri evrenimizdeki en büyük kütle çekimi ile bağlı sistemlerdir. Kütlelerinin %85'ini karanlık madde, geri kalan %15'lik kısmını ise galaksiler arası sıcak plazma oluşturur. 100 milyon derece sıcaklığındaki bu gaz oluşumundan bu yana galaksilerden kaçan ağır metallere zenginleşmiştir. ASCA, Chandra, Suzaku, ve XMM-Newton gibi X-ışını teleskoplarından elde edilen tayflar bize bu metallere çeşitleri ve miktarlarının yanı sıra, bu plazmanın sıcaklığı veya fiziksel durumu hakkında detaylı bilgiler vermiştir (örneğin [Bohringer et al. 2010](#)).

Galaksi kümelerinin büyük bir bölümünü kapsayan karanlık maddenin varlığı ise Fritz Zwicky'nin 1933 de Coma galaksi kümesinin gözlemlerinde ispatlanmıştır ([Zwicky 1933, 1937](#)). Daha sonra Bullet galaksi kümesinin optik ve X-ışını gözlemlerinde ise varlığı teyit edilmiştir ([Clowe et al. 2006](#)). Henüz içeriği hakkında kesin bir bilgiye ulaşılmamış olmasına rağmen fizikçiler karanlık maddenin egzotik bir parçacıktan oluştuğu konusunda hem fikirdirler. En popüler teorilerden birisi ise henüz varlığı ispatlanmamış ılık karanlık madde çeşidi olan dördüncü tip (steril) nötrinolardır. Steril nötrinolar diğer maddelerle kütleçekim etkileşmesi dışında herhangi bir etkileşime girmemektedir fakat bozunarak X-ışını yayabilirler. Bu parçacığın varlığı son 15 yıldır astrofizikçiler tarafından karanlık madde içeren tüm kaynaklarda aranmaktadır ([Boyarsky et al. 2008](#)). Karanlık maddeyi oluşturan parçacıklar tarafından yayılacak olan olası bir X-ışını çok zayıftır. Şimdiye kadar yapılan gözlemler yeterince uzun ve teleskoplar yeterince duyarlı olmadıklarından henüz bir sinyal gözlenememiştir.

2 Kaynak Kataloğu ve Metod

Bulbul et al. (2014) karanlık maddeden gelebilecek çok zayıf ikincil ışınımlara duyarlı bir analiz metodu geliştirdi. Bunu sağlayabilmek için 73 galaksi kümesinin XMM-Newton X-ışını teleskobuyla alınmış taflarını kıvrıma kayma değerleri sıfır olacak şekilde kaydırıp, üst üste yığılmıştır. Bu kümelerin kıvrıma kayma değerleri 0.01 ve 0.35 arası değişmektedir. Böylelikle hem zayıf sinyallere duyarlılık artırılmış, hem de detektör kaynaklı çizgiler



Şekil 1. 6M saniyelik XMM-Newton MOS tayfinin 3-4 keV enerji aralığı. Figürde 3.55 keV çizgisi rahatlıkla görülmektedir.

zayıflattırılıp etkisiz hale getirilmiştir. Toplamda 6×10^6 saniye MOS ve 2×10^6 saniye PN datası elde edilmiştir.

Galaksiler arası plazmadan gelen X-ışınının (bremsstrahlung, radiative-recombination ve two-photon sürekli ve çizgi ışınımının) katkısı modellendikten sonra MOS datasında ~ 3.55 keV de bir ışına gözlemledik. Bu ışınım Figure 1 de gösterilmiştir. Monte-Carlo Markov methodu ile yapılan testlerde bu çizginin 4.5σ anlamlılık seviyesinde olduğu görülmüştür (detektörün çözünürlüğü ve enerji bandının genişliği hesaba katılmıştır).

3 Sonuçlar

Galaksiler arası plazmada bulunan herhangi bir metalin 100 milyon derece sıcaklığında olan plazmadan bu dalga boyunda bir çizgi yayması fiziksel olarak mümkün görünmemektedir. 3.55 keV çizgisi sıcak plazma kaynaklı fakat çok zayıf olan KXVIII (3.51 keV) ve ArXVII DR (3.62 keV) çizgilerinin tam ortasında yer almaktadır. XMM-Newton teleskobunun çözünürlüğü bu enerjide 120 eV olduğundan, 3.55 keV çizgisini KXVIII ve ArXVII DR ayırmak mümkün olmamaktadır. Yapılan modellemelerde

* ebulbul@cfa.harvard.edu

KXVIII ve Ar KXVIII çizgilerinin parlaklıkları atomik veritani ile hesaplanmış olup ve bu değerlerin üç katı parlaklık toplam zaten modele eklenmiştir. Bunun üzerine, çizginin KXVIII kaynaklı olması için KXVIII in 10 güneş bolluğunda, KXVIII nun ise 30 güneş bolluğunda olması gerekmektedir. Daha önce yapılan X-ışını gözlemlerinde KXVIII un ortalama 0.6 güneş zenginliği ve Ar KXVIII ortalama 0.5 güneş zenginliğinde olduğu görülmüştür. 10 veya 30 güneş bolluğunda K veya Ar metallerin bu sıcaklıktaki plazmada oluşabilmesi teorik ve gözlemsel açıdan pek mümkün değildir. Üstelik X-ışını bandının diğer bölgelerinde gözlemlenen K ve Ar bollukları daha önceki gözlemlerle örtüşmektedir. Ayrıca galaksi kümelerinden gelebilecek diğer fiziksel ışınım da (charge exchange, thermal olmayan ışınım) bu enerjide bir yayılım yapmamaktadır.

Bu çizginin kaynağının bulunabilmesi için galaksi kümesi kataloğu üç ayrı kategoriye bölünmüştür; uzak galaksi kümeleri, yakın galaksi kümeleri, ve katalogdaki en parlak galaksi kümesi olan Perseus. Daha sonra aynı metod uygulanarak tayflar tekrar üst üste bindirilmiştir. Astrofizik kaynaklı ışınımın katkısı çıkarıldıktan sonra bu üç katalogda da 3.55 keV çizgisi gözlemlenmiştir. Bu test ile, çizginin bir yada iki baskın kaynak yerine, tüm galaksi kümelerinden geldiği yani evrensel bir ışım olduğun kanıtlanmıştır.

Çizginin teleskop veya detektör kaynaklı olup olmadığını anlayabilmek için öncelikli olarak XMM-Newton teleskobunun üzerinde bulunan ve MOS ile eş zamanlı gözlem yapan PN detektörünün datası incelenmiştir. Aynı 73 galaksi kümesinin tayfinin üst üste yığılmasından oluşan toplam tayfda ~ 3.52 keV enerjisinde aynı parlaklıkta bu çizgi gözlemlenmiştir. İstatistiksel testler MOS ile gözlenen enerjinin PN ile arasında 2σ lık fark olduğunu göstermiştir. Daha sonra bu çizgi Chandra X-ray teleskobu üzerinde bulunan ACIS-S ve ACIS-I detektörlerinin Perseus datasında da gözlemlenmiştir (Bulbul et al. 2014). Chandra ile gözlenen bu sinyal 3.56 keV de ve 3σ anlamlılık seviyesindedir. Perseus galaksi kümesinin Suzaku XIS detektörü ile toplanan 1×10^6 saniyelik gözlemlerinde yine aynı enerjide bu çizgiye rastlanmıştır (Franse & Bulbul et al. 2015; Urban et al. 2015). Bu sinyalin üç ayrı teleskopla altı ayrı detektörle gözlenmiş olması detektör kaynaklı bir sinyal olması ihtimalini azaltmaktadır. Ayrıca Sekiya et al. (2015) nın 3×10^7 saniyelik Suzaku boş uzay (blank sky) gözlemlerinde yaptığı çalışmada 3.55 keV de herhangi bir ışınım rastlamamış olması bu sinyalin detektör kaynaklı olmadığını ayrıca ispatlamıştır.

Sinyalin astrofiziksel bir kaynağının olmaması, bu ışınımın karanlık madde kaynaklı olabileceğini aklı getirmektedir. Eğer bu sinyal steril nötrinoların bozunması sonucu oluşmuşsa parçacığın kütlesi 7.1 keV ($2 \times$ Enerji) anlamına gelmektedir. Yapılan kütle ve bozunma oranı hesaplarında tüm galaksi kümelerinden gelen sinyalle, yakın ve uzak kümelerden gelen sinyalin istatistiksel olarak birbirleriyle tutarlı olduğu görülmüştür. Fakat bu modelde Perseus kümesinden gelen ışın diğerlerine oranla beş kat daha parlaktır. Perseus galaksi kümesinin neden daha parlak bir ışınım yaydığı henüz anlaşılamamıştır.

Ayrıca farklı gruplar tarafından yapılan araştırmalarda benzer bir siyale galaktik kümede rastlanırken (Boyarsky et al. 2014), galaksi gözlemlerinde rastlanmamıştır (Anderson et al. 2014).

4 Özet

Galaksi kümelerinin detaylı yapılan tayf analizinde görünür madde veya detektör kaynaklı olmayan, ~ 3.55 keV enerjisinde bir ışınım gözlemlenmiştir. Işınımın kaynağı henüz bilinmemekle

birlikte şimdiye kadar kaynağı ile ilgili 200 e yakın teori üretilmiştir. Bu çalışmaların çoğunluğu sinyali bir başka egzotik karanlık madde parçacığıyla açıklamaktadır. Bunların arasında axino, ALP (Alvarez et al. 2015), kendi ile etkileşen karanlık madde (exciting dark matter; Finkbeiner & Weiner 2014), ve gravitino lar (Bomark & Roszkowski 2014) sayılabilir.

Bu gözlenen çizginin kaynağının karanlık madde olup olmadığını çok daha detaylı gözlemlerle sinamak için birçok çalışma yapılmaktadır. Fakat uzaydaki X-ışını teleskopları bunun için yeterli çözünürlüğe sahip değildirler. 2016 yılının Ocak ayında fırlatılacak olan Japonya-Amerika ortak yapımı X-ışını teleskobu Astro-H, şimdiki XMM-Newton, Suzaku ve Chandra'dan 20 kat daha yüksek çözünürlüğe sahip olacaktır (Takahashi et al. 2014). Astro-H takımı olarak önümüzdeki sene Perseus galaksi kümesinin uzun süre gözlemleyip ($1-2 \times 10^6$ saniye) bu bulmacayı çözmeyi planlıyoruz.

Kaynaklar

- Alvarez, P. D., Conlon, J. P., Day, F. V., Marsh, M. C. D., & Rummel, M. 2015, JCAP, 4, 013
 Anderson, M. E., Churazov, E., & Bregman, J. N. 2014, arXiv:1408.4115
 Böhringer, H., & Werner, N. 2010, A&P, 18, 127
 Bomark, N.-E., & Roszkowski, L. 2014, PRD, 90, 011701
 Boyarsky, A., Ruchayskiy, O., & Markevitch, M. 2008, ApJ, 673, 752
 Boyarsky, A., Franse, J., Iakubovskiy, D., & Ruchayskiy, O. 2014, arXiv:1408.2503
 Bulbul, E., Markevitch, M., Foster, A., et al. 2014, ApJ, 789, 13
 Clowe, D., Bradač, M., Gonzalez, A. H., et al. 2006, ApJL, 648, L109
 Finkbeiner, D. P., & Weiner, N. 2014, arXiv:1402.6671
 Franse, J., Bulbul E. 2015, hazirlikta.
 Sekiya, N., Yamasaki, N. Y., & Mitsuda, K. 2015, arXiv:1504.02826
 Takahashi, T., Mitsuda, K., Kelley, R., et al. 2014, arXiv:1412.2351
 Urban, O., Werner, N., Allen, S. W., et al. 2015, MNRAS, 451, 2447
 Zwicky, F. 1933, Helvetica Physica Acta, 6, 110
 Zwicky, F. 1937, ApJ, 86, 217
- Erişim:**
 O43-1430: UAK-2015 Program --- UAK Bildiri --- Turkish J.A&A.