



4U 1728-34'de Gözlenen Termonükleer X-ışın Patlamalarının Yayılma Özellikleri

Tuğba Boztepe^{1*}, Tolga Güver^{1,2}, Dimitrios Psaltis³, Feryal Özel³

¹Istanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü ²Istanbul Üniversitesi Gözlemevi Uygulama ve Araştırma Merkezi,

³University of Arizona, Steward Observatory

*tugbaptz@gmail.com



Özet

Düşük kütleli X-ışın çiftlerinden gözlenen termonükleer X-ışın patlamalarının, yoldaş yıldızdan aktarılan maddenin zamanla nötron yıldızının yüzeyinde bir katman oluşturmaya ve bu katmanın belirli bir yoğunluk ve sıcaklığa ulaştığında H veya He yayılımının kararsız olarak termonükleer reaksiyonlar ile yanmasıyla meydana geldiği düşünülmektedir. Bu posterde, patlamanın ilk alev almasıyla takiben nötron yıldız yüzeyindeki yayılımın sisteme ilişkin diğer parametreler ile bir ilişkisi olup olmadığını incelemek için yaptığımız analizlerin ilk sonuçlarını sunacağız, bunun içinde 4U 1728-34 isimli sistemden RXTE/PCA uydusu ile gözlenen patlamaların kullanılmasıdır.

$$t_{diff} = \frac{\tau_0^2}{2}$$

X-ışın Patlamalarının İlk Aşamalarının Modellemesi

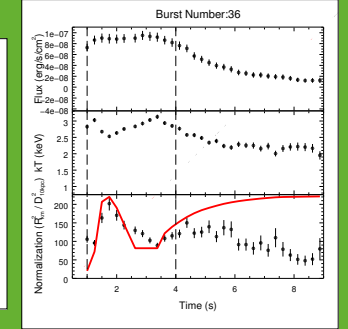
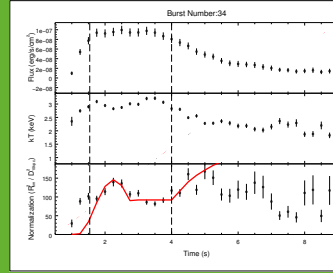
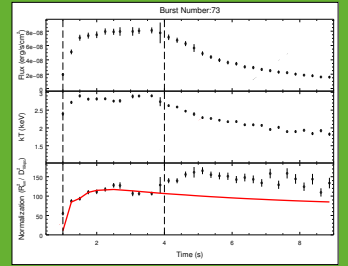
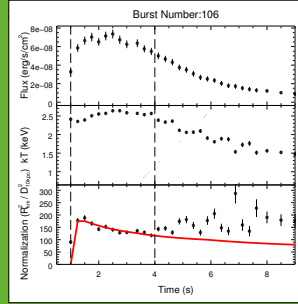
Eşitlik 1: Patlama difüzyon zaman ölçeği (Sunyaev & Titarchuk 1980).

Eşitlik 2: Patlamanın yüzeyde yayılma zaman ölçeği (Bauböck, Psaltis, & Özel, 2015). πt zamana bağlı açılma yarıçapı gösterir ve maksimumu 180 derecedir.

$$t_{spread} = \frac{\pi t}{\rho(t)}$$

Patlamaların yüzeyde yayılmasında iki zaman ölçeği önemli rol oynamaktadır. t_{diff} difüzyon ve t_{spread} ise patlamanın yüzeydeki yayılma zaman ölçeğini tanımlar. Ayrıca difüzyon zaman ölçeği τ_0^2 ile tanımlanır. Burada τ_0 atmosferin optik derinliğidir ve $\tau_0 \gg 1$ 'dir. Yüzeydeki akı evrimi atmosferde foton yayılımı ile belirlenir. Bu zaman ölçekleri çerçevesinde patlamanın gözlenen akısı ve spektral parametreleri değişir. İlk çalışmamızda modelimizi gözlenen normalizasyon değerlerini modellemesi için kullandık.

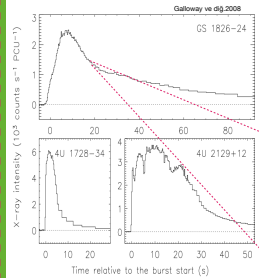
İlk Sonuçlar



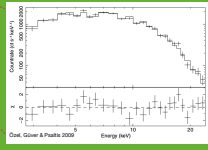
Termonükleer X-ışın Patlamaları

Düşük kütleli x-ışın çiftlerinde baş yıldız bir kara delik veya nötron yıldız yoldaş yıldız ise geç tayf türünden bir anakol yıldızdır. Roche lobunun dolmasıyla birleşen yıldız maddesi nötron yıldızına veya kara delik üzerine doğru akmaya başlar. Ancak atılan madde nötron yıldızının üzerine doğru düşerken sahip olduğu açılma momentumu nedeniyle nötron yıldızının etrafında bir disk oluşturur ve bu madde zamanla nötron yıldızının üzerine düşer. Eğer nötron yıldızının manyetik alanı yeterince zayıf ise (10^{12} G) diskteki madde yüzeye birikmeye başlar. Biriken ve kütleçekimsel kuvvet etkisi ile sıkışan madde kritik bir sıcaklık ve yoğunluğa ulaştığında H veya He kararsız olarak termonükleer reaksiyonlar sonucu yanmaya başlar ve termonükleer X-ışın patlamaları meydana gelir.

Zaman Çözünürlüklü Tayfsal Analiz



Şekil 1: Üç farklı düşük kütleli X-ışın çiftinden gözlenen termonükleer X-ışın patlamalarının ışık eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 2: Belirli bir zaman aralığı için seçilmiş bir örnek bir spektrum.

Şekillerde 106, 73, 34 ve 36 numaralı patlamaların ilk 10 saniyelerindeki spektral evrim gösterilmiştir. Üst paneller akı, orta paneller sıcaklık ve en alt paneller ise ışınım yapan bölgenin yarıçapının değişimini göstermektedir. Şekillerdeki dikey kesikli çizgiler modellemeye çalıştığımız zaman aralığını göstermektedir. Görüleceği gibi modelimiz 106 ve 73 numaralı patlamaları oldukça iyi bir şekilde açıklayabilmekte, aksine 34 ve 36 numaralı patlamalarda aynı uyum görülmemektedir. Modelleme sonucu bulunan parametreler aşağıda verilmiştir:

106. patlama için;
 $t_{spread} = 0.4 \pm 0.06$, $t_{diff} = 0.10 \pm 0.05$,
 $\chi^2 / dof = 1.11$

73. patlama için;
 $t_{spread} < 0.01$, $t_{diff} = 0.3 \pm 0.02$,
 $\chi^2 / dof = 1.2$

34. patlama için;
 $t_{spread} = 2.0 \pm 0.08$, $t_{diff} = 2.3 \pm 0.08$,
 $\chi^2 / dof = 2.6$.

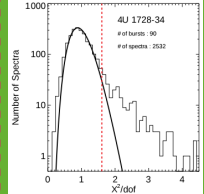
36. patlama için;
 $t_{spread} < 0.01$, $t_{diff} = 1.88 \pm 0.04$,
 $\chi^2 / dof = 9.5$ dir.

Şekil 1'de bazı örnek sistemlerden gözlenen X-ışın patlamalarının ışık eğrileri gösterilmiştir. Görüleceği üzere patlamalar birkaç 10 saniye sürer ve patlama süresince gözlenen sayım oranı birkaç bin kat artabilir.

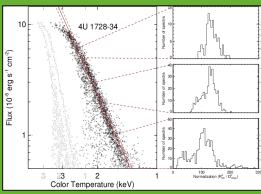
Patlamalar süresince kısa zaman aralıkları içinde (genellikle 0.25-2 saniye) alınan verinin spektral enerji dağılımı oluşturulursa bu dağılımın en iyi şekilde bir kara cisim eğrisi ile modellenilebildiği görülebilir. Şekil 2 böyle bir örnek tayfı ve veriyen en iyi uyan karacisim eğrisini göstermektedir.

Çalışmamızda 4U 1728-34 isimli kaynağın RXTE arşivinde 2008 yılına kadar alınmış tüm verileri indirgenmiş ve tespit edilen bütün patlamaları bu şekilde zaman çözünürlüklü tayfsal analiz ile çalışılmıştır.

Çıkarılan tüm X-ışın spektrumlarının bir kara cisim eğrisi ile modellenmesi sonucu elde edilen χ^2 histogramı Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 4 ise tüm patlamaların sönümlenme evrelerindeki evrimlerini göstermektedir (Güver ve diğ. 2012).

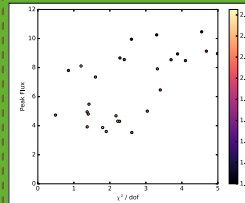


Şekil 3: 4U 1728-34 kaynağından RXTE uydusu ile elde edilmiş tüm patlamaların gözlemlenen çıkartılan spektrumların bir karacisim eğrisi ile modellenmesi sonucu elde edilen χ^2 histogramı (Güver ve diğ. 2012a).

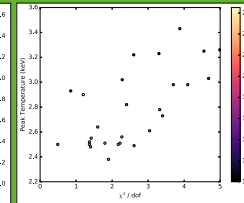


Şekil 4: 4U 1728-34 isimli kaynağın gözlenen tüm patlamaların sönümlenme aşamalarında elde edilen sıcaklık ve akı değerlerinin değişimi, sol panellerde ve her bir akı aralığı için elde edilen normalizasyon değerlerinin histogramı sağ panelde verilmiştir (Güver ve diğ. 2012a).

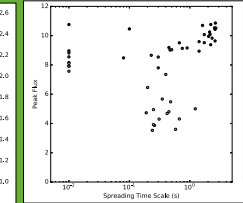
Çeşitli Korelasyonlar



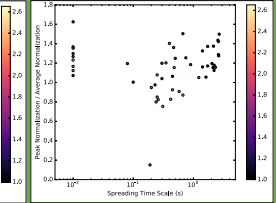
Şekil 5: Elde edilen sonuçlar ile patlamaların diğer özellikleri arasında olası ilişkiler araştırılmıştır. Bu araştırmaya ilişkin ilk sonuçlar yukarıdaki şekillerde verilmiştir. Şekillerdeki renkli sütun, kaynağın spektrumunun ne kadar sert olduğunu ifade eden S_z 'nin değerini gösterir (Galloway ve diğ. 2008). Bu değerlerin sistemdeki kütle aktarımı ile ilişkili olduğu düşünüldü. Şekil 5'da x ekseninde patlamanın yayılma zaman ölçeği, y ekseninde ise patlamada erişilen maksimum normalizasyon ile ortalama normalizasyon'un oranı gösterilmiştir. Grafikten yayılma zamanı ile tepe noktasının normalizasyonu arasında önemli bir ilişki bulunduğu görülmektedir ve maksimum normalizasyon arttıkça patlamanın yayılma süresinde bununla orantılı olarak bir artış göstermektedir. Benzer bir durum Şekil 6 ve 8'de de görülebilir, her bir patlamada ulaşılan en yüksek sıcaklık ve akı ile χ^2 arasında doğru bir ilişki vardır, yani en yüksek sıcaklık ve akı arttıkça χ^2 'de artmaktadır. Yani bir patlamada ulaşılan maksimum sıcaklık ve akı arttıkça modelimizin patlamanın yükselişini açıklamaktaki başarısı azalmaktadır. Öte yandan maksimum akı ile yayılma zaman ölçeği arasında çok belirgin bir ilişki görülmemektedir.



Şekil 6: Elde edilen sonuçlar ile patlamaların diğer özellikleri arasında olası ilişkiler araştırılmıştır. Bu araştırmaya ilişkin ilk sonuçlar yukarıdaki şekillerde verilmiştir. Şekillerdeki renkli sütun, kaynağın spektrumunun ne kadar sert olduğunu ifade eden S_z 'nin değerini gösterir (Galloway ve diğ. 2008). Bu değerlerin sistemdeki kütle aktarımı ile ilişkili olduğu düşünüldü. Şekil 5'da x ekseninde patlamanın yayılma zaman ölçeği, y ekseninde ise patlamada erişilen maksimum normalizasyon ile ortalama normalizasyon'un oranı gösterilmiştir. Grafikten yayılma zamanı ile tepe noktasının normalizasyonu arasında önemli bir ilişki bulunduğu görülmektedir ve maksimum normalizasyon arttıkça patlamanın yayılma süresinde bununla orantılı olarak bir artış göstermektedir. Benzer bir durum Şekil 6 ve 8'de de görülebilir, her bir patlamada ulaşılan en yüksek sıcaklık ve akı ile χ^2 arasında doğru bir ilişki vardır, yani en yüksek sıcaklık ve akı arttıkça χ^2 'de artmaktadır. Yani bir patlamada ulaşılan maksimum sıcaklık ve akı arttıkça modelimizin patlamanın yükselişini açıklamaktaki başarısı azalmaktadır. Öte yandan maksimum akı ile yayılma zaman ölçeği arasında çok belirgin bir ilişki görülmemektedir.



Şekil 7: Elde edilen sonuçlar ile patlamaların diğer özellikleri arasında olası ilişkiler araştırılmıştır. Bu araştırmaya ilişkin ilk sonuçlar yukarıdaki şekillerde verilmiştir. Şekillerdeki renkli sütun, kaynağın spektrumunun ne kadar sert olduğunu ifade eden S_z 'nin değerini gösterir (Galloway ve diğ. 2008). Bu değerlerin sistemdeki kütle aktarımı ile ilişkili olduğu düşünüldü. Şekil 5'da x ekseninde patlamanın yayılma zaman ölçeği, y ekseninde ise patlamada erişilen maksimum normalizasyon ile ortalama normalizasyon'un oranı gösterilmiştir. Grafikten yayılma zamanı ile tepe noktasının normalizasyonu arasında önemli bir ilişki bulunduğu görülmektedir ve maksimum normalizasyon arttıkça patlamanın yayılma süresinde bununla orantılı olarak bir artış göstermektedir. Benzer bir durum Şekil 6 ve 8'de de görülebilir, her bir patlamada ulaşılan en yüksek sıcaklık ve akı ile χ^2 arasında doğru bir ilişki vardır, yani en yüksek sıcaklık ve akı arttıkça χ^2 'de artmaktadır. Yani bir patlamada ulaşılan maksimum sıcaklık ve akı arttıkça modelimizin patlamanın yükselişini açıklamaktaki başarısı azalmaktadır. Öte yandan maksimum akı ile yayılma zaman ölçeği arasında çok belirgin bir ilişki görülmemektedir.



Şekil 8: Elde edilen sonuçlar ile patlamaların diğer özellikleri arasında olası ilişkiler araştırılmıştır. Bu araştırmaya ilişkin ilk sonuçlar yukarıdaki şekillerde verilmiştir. Şekillerdeki renkli sütun, kaynağın spektrumunun ne kadar sert olduğunu ifade eden S_z 'nin değerini gösterir (Galloway ve diğ. 2008). Bu değerlerin sistemdeki kütle aktarımı ile ilişkili olduğu düşünüldü. Şekil 5'da x ekseninde patlamanın yayılma zaman ölçeği, y ekseninde ise patlamada erişilen maksimum normalizasyon ile ortalama normalizasyon'un oranı gösterilmiştir. Grafikten yayılma zamanı ile tepe noktasının normalizasyonu arasında önemli bir ilişki bulunduğu görülmektedir ve maksimum normalizasyon arttıkça patlamanın yayılma süresinde bununla orantılı olarak bir artış göstermektedir. Benzer bir durum Şekil 6 ve 8'de de görülebilir, her bir patlamada ulaşılan en yüksek sıcaklık ve akı ile χ^2 arasında doğru bir ilişki vardır, yani en yüksek sıcaklık ve akı arttıkça χ^2 'de artmaktadır. Yani bir patlamada ulaşılan maksimum sıcaklık ve akı arttıkça modelimizin patlamanın yükselişini açıklamaktaki başarısı azalmaktadır. Öte yandan maksimum akı ile yayılma zaman ölçeği arasında çok belirgin bir ilişki görülmemektedir.

Sonuçlar / Hedefler

Bu çalışma ile amacımız fotosferik yarıçap genişlemesi (FYG) gösteren patlamalar ile benzer spektral evrim göstermesine rağmen yarıçap genişlemesi göstermeyen patlamaların birbirlerinden nasıl ayrıştığını anlamaktır. Bu konudaki ilk çalışmamız bazı patlamaların FYG gösteren patlamalar gibi evrildiğini ancak gerçek anlamda FYG göstermeden yüksek sıcaklıklara ulaştıklarını ortaya koymuştur (Güver ve diğ. 2012b). Bu durumu anlayabilmek için ilk olarak fiziksel modeller kullanarak patlamaların nötron yıldız yüzeyindeki ilk yayılmalarının hızını ve bunun hangi fiziksel parametrelere bağlı olduğunu anlamaya çalıştık.

İlk sonuçlarımız patlamada ulaşılan maksimum normalizasyon değeri ile patlamanın yayılma zaman ölçeği arasında bir ilişki olduğunu göstermektedir (Şekil 5). Modelimiz hidrostatik denge varsayımı altında hesaplanmıştır yani gerçekten fotosferik yarıçap genişlemesinin yaşandığı patlamalara uygulayabilmek mümkün değildir. Bunu doğrular şekilde ve yarıçap genişlemesinin hangi durumlarda oluştuğunu ifade eder şekilde, yüzey sıcaklığı ve patlamada ulaşılan maksimum akı arttıkça modelimizin patlamaların ilk yayılmalarını modellemedeki başarısı düşmektedir (bkz. Şekil 6,8).

Çalışmalarımıza başka kaynaklara ait patlama verilerini de modelleyerek ve modelimizdeki basitleştirici varsayımlarımızdan bazıları (manyetik alan ve nötron yıldızının dönmesi gibi) kaldırarak devam etmeyi ummaktayız.

Referanslar: 1. Güver ve diğ. (2012a), ApJ, 747,76 2. Güver ve diğ. (2012b), ApJ, 747,77 3. Galloway ve diğ. (2008), ApJ, 179,36 4. Özel, Güver, & Psaltis. (2009), ApJ, 639,1775 5. Sunyaev & Titarchuk (1980), A&A, 86,121-138 6. Bauböck, Psaltis, & Özel (2015), ApJ, 1505.