

Türkiye İlk Kez Uzay Araştırmalarına Katılıyor Spektrum X-Gama

Çağımız uzay çağı... Uzay araçları ve uydular artık birçok alanda kullanılıyor. TÜRKSAT gibi haberleşme uydularından, uzaktan algılayıcı meteoroloji uydularına dek uzay teknolojisi ürünleri, günlük hayatımızı birçok yönüyle etkiliyor. Uzayın kendisini araştıran uydular ise atmosferin üst katmanlarını, Güneş, Ay ve gezegenleri inceliyor. Bir de nötron yıldızlarını ve kara delikleri, galaksileri, evrenin tümünü inceleyen astrofizik gözlem uyduları var. Bunlar, atmosferin geçirmediği kızılötesi, morötesi, X ve gama ışınları gibi elektromanyetik dalgaları alabilmek için teleskopları atmosfer üzerindeki yörüngelere çıkartıyorlar. Bu şekilde 1970'lerden beri evreni, çok yeni, farklı pencerelerden gözleyebilmekteyiz. Kara delik gibi, fizik kanunlarının öngördüğü bazı temel yapılara, maddenin en yoğun hallerini içeren yıldızlara, evrenin bütününe yapıya ve evrimine bu yeni pencerelerden uzanıyoruz. Astrofizik gözlem uydularının bilime katkıları, gezegenleri hedefleyen uydular ve uzay araçlarında olduğu gibi TV ekranlarına yansımıyor; ama bunlardan daha derin, daha genel ve daha önemli sonuçlar veriyor. Türkiye'nin katıldığı ilk uzay araştırmaları, önümüzdeki son yılların en önemli uluslararası astrofizik uydusu olan Spektrum X-Gama ile yapılacak...

M. Ali Alpar
Ümit Kızıloğlu
ODTÜ Fizik Bölümü

KASIM 1992'de başlayan bir dizi gelişme ile Türkiye ilk kez uydu ile yapılacak astrofizik araştırmaları için uluslararası bir işbirliğine katıldı. Bu işbirliğinin amacı Rusya'nın 1995 sonunda uzaya atacağı Spektrum X-Gama ya da Spektrum Röntgen-Gama (kısa SRG) adını taşıyan bir X (Röntgen) ve gama ışınları gözlem uydusu ile gök cisimlerini incelemek. Bu girişime Rusya'nın yanısıra ABD, İngiltere, Danimarka, İtalya, İsrail, Finlandiya,

İsviçre, Polonya, Macaristan ve Türkiye katılıyor. Bu çalışmalar kapsamında, Spektrum X-Gama projesinin önemi, bu projeye katılımının hikâyesi, yüksek enerji astrofiziklerinin ne olduğu, X-ışını ve gama ışını gözlemlerinin neden uyduyla yapıldığı, uyduların taşıdığı X ve gama ışını teleskoplarının özellikleri, bu teleskoplarla hangi tür gök cisimlerinin gözlemlendiği, Spektrum X-Gama ile yapılacak gözlemlerden neler öğrenileceği gibi konular ele alınabilir. Türkiye'de yüksek enerji astrofiziklerinde çalışan araştırmacıların üzerinde en çok durdukları konu, ilginç, şaşırtıcı ve heyecan verici özellikleri ile nötron yıldızları ve nötron yıldızı içeren x-ışını çift yıldızlarıdır.

Uydusu



Spektrum X-Gama'nın Önemi

Bu girişim Türk bilim hayatı için birkaç bakımdan önem taşıyor:

1. İlk kez bilimsel araştırma amaçlı bir uluslararası uydu girişimine ülke olarak ortak oluyoruz.

2. Bu araştırmayı planlayacak ve yapacak bilimadamlarımız var. Bu konudaki birikimimiz; daha önce başka araştırma uydularıyla astrofizikçilerimizin yaptığı gözlemler, bu gözlem verileriyle yayınladıkları bulgular ve bu alanda dünyada tanınan teorik araştırmalarla kanıtlanmış durumda. Ama bu kez örgütlü şekilde, ülke olarak ve ülkemiz adına, Türkiye'den planlanıp gerçekleştirilecek ileri seviyede araştırma-

lar için, önemli bir olanak elde edildi. Ülkemiz, bilimsel araştırma bazında kullanıcı olmanın ötesinde, aktif katılımcı olarak bu uluslararası girişimde yer aldı.

3. Bu uyduda kullanılan teknolojileri ülkemiz sanayii için gözleme olanağına sahip durumdayız.

4. Bir sonraki araştırma uydusuna detektör yaparak katılmayı amaçlıyoruz.

5. Uydu girişimine katılan (Rusya'nın yanı sıra) diğer ülke bilimadamları ve onların laboratuvarları ile doğrudan ilişkilere girmiş bulunmaktayız. Bu ilişkiler yoluyla yüksek enerji astrofizikçisinin yanı sıra genel astronomide, özellikle kurulmakta olan Ulusal Gözlemevi'miz için yararlı yeni işbirliği ve ortak araştırma olanakları açılıyor.

6. Böylece ülkemizdeki yüksek enerji astrofizikçileri TÜBİTAK'ın ODTÜ'de kurduğu Yüksek Enerji Astrofizikçi Araştırma Ünitesi çerçevesinde örgütlendiler; Spektrum X-Gama verilerini planlama ve işleme için hazırlıklar başladı.

7. En önemlisi, uzay bilimlerinde araştırma yapacak genç astrofizikçiler için Türkiye'de uluslararası düzeyde bir ortam kuruldu. Önümüzdeki yıllarda üniversitelerimizin Fizik, Astronomi, Uzay Bilimleri, Elektrik Mühendisliği, Havacılık, Bilgisayar vb. bölümlerinden gelip de temel astrofizik yapmak isteyen; uzaydaki en enerjik, en ilginç yıldızlar üzerine çalışmak isteyen yetenekli gençleri, uluslararası bilim dünyasına açılmış bir kapı bekliyor!

Türkiye'nin Spektrum X-Gama Uydusuna Katılışı

Tanınmış astrofizikçi akademisyen Raşid Sunyaev 1992 sonunda ODTÜ ve TÜBİTAK'ın davetlisi olarak Türkiye'yi ziyareti sırasında Türkiye'nin Spektrum X-Gama girişimine katılması teklifini getirdi. Sunyaev'in o zamanki Devlet Bakanı



Spektrum X-Gama uydusunun tamamlanmış biçimi (maket).

X-Işını Detektörleri ve Teleskopları

Ümit Kızıoğlu
ODTÜ Fizik Bölümü

Yıldızlararası ortam yaklaşık 1 keV'den yüksek enerjili X-ışınlarına (X-ışını fotonlarına) geçirendir. Elimizdeki X-ışını teleskopları bu yüksek enerjili fotonları kolaylıkla görebilecek yapıdadır. Kullanılacak her türlü gözlem sistemi, dalga boyları λ 10 \AA ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$)'dan küçük X-ışını fotonlarının çeşitli ortamlarda olan etkileşmelerinden yararlanarak çalışmaktadır.

Bu etkileşmelerin niteliğine kısaca göz atalım: Yüksek enerjili fotonlar herhangi bir ortamdan geçerken, ortamda bulunan serbest elektronlar ile çarpışarak enerjilerinin bir kısmını elektrona aktarırlar. Bu olaya Compton etkileşmesi denir. Çok sayıda çarpışma sonucu bütün enerjisini elektronlara aktaran foton ortam içinde tutulmuş olur. Ortamda bulunan atomlar, çarpışma sırasında bir elektronun serbest kalması için gerekli bütün momentumu alabilirler. Fotonun enerjisinin bir kısmı elektronu atomdan ayırmak için kullanılır, kalan enerji elektronun kinetik enerjisidir. Atom genellikle karakteristik Lyman ışıması yaparak eski durumuna döner. Bu olaya fotoelektrik olayı denir. Ortamda uygun gaz molekülleri ve bir elektrik alanı varsa, gelen X-ışını fotonları tarafından ortam içinde yaratılmış ikincil elektronlar, enerjilerini ortamı iyonize (yani atomlardan başka elektronlar ayırarak) ederek kaybederler. Ortaya çıkan yeni elektronlar da bir tutucu anot tarafından toplanır. Bu arada pozitif iyonlar da diğer elektrot (katod) tarafından tutulur. Ortamdaki anot-katod arası voltaj yeteri kadar yüksek tutulursa, ortaya çıkan ikincil elektronların sayı-

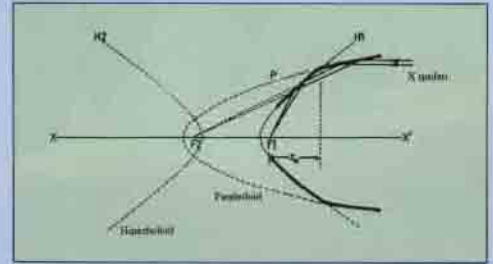
sı, gelen X-ışını fotonunun enerjisi ile orantılı olur ("orantılı sayaç"). Yine ortam içine giren fotonlar enerjilerinin bir kısmını kristal atomlarını uyardırmaya harcarlar. Kristalin uyarılmış elektronları bu durumda kalamayarak normal durumlarına dönerken genellikle morumsu (4000 \AA civarı dalga boylarında) floresans ışınımı yaparlar.

Eğer gelen X-ışını fotonları uygun bir yarı iletken ortama girerlerse, beklenen sonuç; foton enerjisinin yarı iletken içinde soğurularak, elektron-hole çiftinin (hole basitçe yarı iletkenin yapısı içinde olan ve pozitif yüke sahip elektron yokluğudur) yaratılmasıdır. Gaz içinde negatif ve pozitif yüklü parçacıkların uygulanan elektrik alanında serbest olarak hareket etmelerine benzer şekilde; yarı iletken içinde de elektron ve hole'ler hareket ederek yerleştirilen elektrotlara doğru giderler. Bütün bu olaylarda ortak ilke, X-ışını fotonlarının, herhangi bir uygun ortama belirli enerjilere sahip bir uyarı vermesidir. Bundan sonra yapılacak iş, bu uyarıların değerlendirilip sınıflandırılarak gelen X-ışın fotonunun enerjisini, geliş zamanını ve olanaklar ölçüsünde yönünü bulmaktır.

Enerji ve zaman; kullanılan detektör tipi ve bu detektör ile çalışan elektronik kontrol ünitesinin özelliklerine göre kolayca hesaplanabilir. Görüntüleme ise fotonun uzayın hangi noktasından geldiğini, yani gelen fotonun koordinatlarını bulmayı gerektirir. Bu durumda tek başına detektör yeterli olmaz; bu detektörün bir kolimatör veya optik teleskopa benzer özel teleskopla birlikte kullanılması gerekir.

Teleskop kavramı; bildiğimiz optik teleskoplarda olduğu gibi, uzayın belli bir bölgesine bakarak buradan gelen X-ışını fotonlarını gözlemek anlamına gelir. Burada önemli olan nokta, optik fotonlardan (ışık) daha yüksek enerjiye sahip olan X-ışını fotonlarını yansıtılabilesidir. Optikte olduğu gibi toplam iç yansımadan faydalanmak için

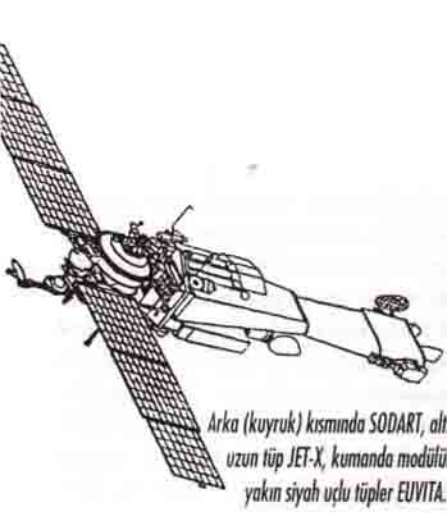
X-ışını fotonlarının yüzeye geliş açısının çok küçük olması gerekir. Uygun açı, kullanılan yüzey materyaline göre değişiklik göstermekle beraber, 1 keV civarında enerjiye sahip X-ışını fotonları bir cam yüzeye yaklaşık 1.2° açı ile düşerlerse kolayca yansır. Bu açı altın yüzey için 2.2° dir. Yansıtıcı yüzey olarak bir paraboloid ve hiperboloid kombinasyonu (Woltjer tip I) kullanıldığında çalışacak enerji aralığı ve yüzey materyali bilinirse elde edilen odak düzlemine istenilen detektör rahatça yerleştirilebilir. Taranmış yüzeyler teleskopun yansıtıcı yüzeyleridir.



X-ışını fotonları önce paraboloid P yüzeyinden yansır, daha sonra da hiperboloid H1 üzerinde olan yüzeyden yansıyarak F1 odakta toplanırlar; böylece X-ışını teleskobu olarak adlandırabileceğimiz bir yapı elde edilir.

Foton toplama alanını büyütme için iç içe geçmiş çok sayıda yüzey kullanmak, teleskop boyunu kısaltır. Enerjisi büyük olan X-ışını fotonları için, iç yansıma açısı çok küçüldüğünden bu yöntem yararlı olmaz. Bu durumda detektörün önüne kolimatör denilen, çeşitli yapıdaki borular konularak detektörün uzaya gördüğü alanı kısıtlamak gibi bir yöntem kullanılır. Böylece uydunun uzayı taraması sırasında kolimatör önünden geçen bölgeden gelen fotonlar kaydedilmiş olur.

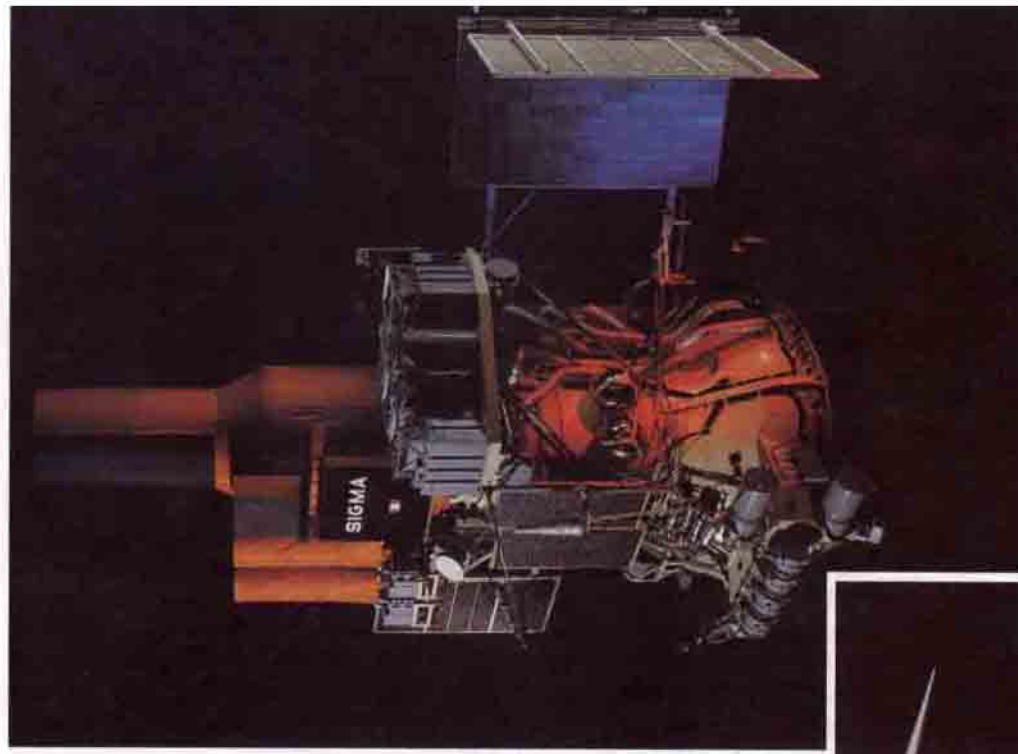
Teleskop kullanıldığında aynı bölgeye uzun süre bakılarak görüntü alınabilir; kolimatör kullanılması durumunda ise uydunun yörüngedeki hareketi bilinerek gözlenen fotonların uzayın hangi bölgesinden geldiği belirlenebilir.



Arka (kuyruk) kısmında SODART, alta uzun tüp JET-X, kumanda modülüne yakın siyah uçlu tüpler EUVITA.

ve Başbakan yardımcısı Sayın Erdal İnönü'ye ilettiği teklif birkaç gün içinde hem Sayın İnönü hem de o zaman Başbakan olan Sayın Süleyman Demirel tarafından olumlu karşılandı. O zamandan beri geçen bir buçuk yıl içinde önce TÜBİTAK ile Rusya Bilimler Akademisi'nin Uzay Araştırmaları Enstitüsü arasında bir protokol imzalandı. Türk astrofizikçileri Spektrum X-Gama uydusunun çeşitli uluslararası planlama toplantılarına katıldılar. Uydunun atılışından önceki hazırlık sürecine böylece girmiş olduk.

Spektrum X-Gama projesinin yöneticisi Profesör Raşit Sunyaev, Moskova'daki Rusya Bilimler Akademisi'ne bağlı Uzay Araştırmaları Enstitüsü (IKI)'nin Astrofizik kısmının başında bulunan, aynı zamanda da Amerika'da Harvard, Caltech, Berkeley gibi üniversitelerde misafir profesör olan, yüksek enerji astrofizikçisinde ve kozmolojideki çok önemli katkılarıyla tanınmış bir bilimada-



GRANAT-SIGMA uydusu. Halen yörüngede bulunan bu uyd, Rusya Uzay Araştırmaları Enstitüsü ile Fransa'nın ortak bir girişimi. X ve gama ışınlarında nötron yıldızlarını, kara delik adaylarını ve gama ışını patlamalarını izliyor.

Spektrum X-Gama uydusunu yörüngeye oturtacak olan Proton roketi (1/25 modelden) 44 metre uzunluğunda ve 647 ton ağırlığındaki roket 1965 ten beri kullanılıyor.

mıdır.

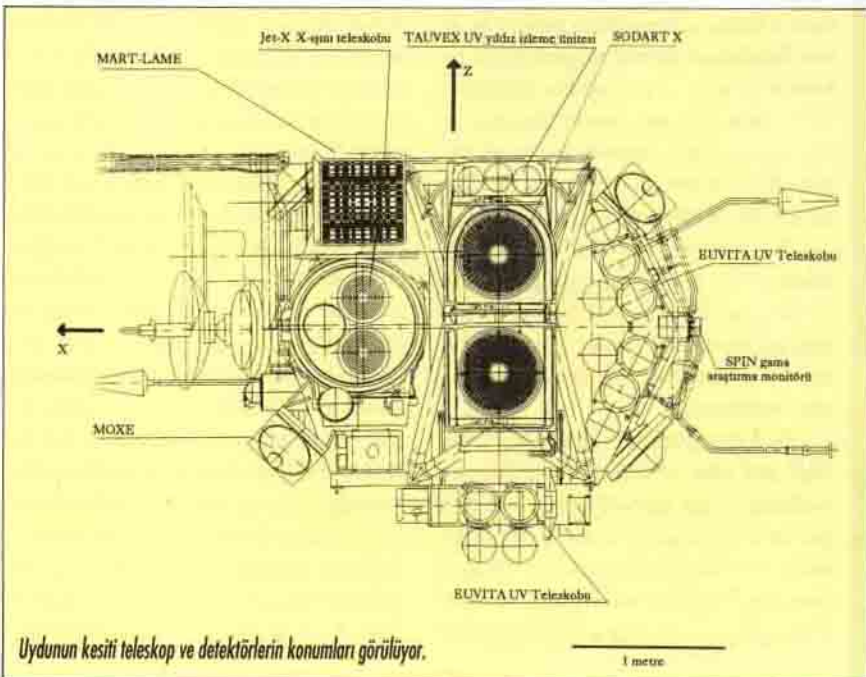
Sunyaev, hazırlık aşamasındaki Spektrum X-Gama'dan başka şimdi uzayda yörüngede bulunan ve bir çok ilginç gözlem yapmaya devam eden Granat adlı Rus-Fransız astrofizik araştırma uydusunun da yöneticisi durumundadır.

Uzay Araştırmaları Enstitüsü ise Rusya'nın ve eski Sovyetler Birliği'nin uzaydaki bilimsel amaçlı programlarını yürüten büyük bir araştırma enstitüsüdür.

Yüksek Enerji Astrofizikçi Araştırma Ünitesi

ODTÜ'de, TÜBİTAK Temel Bilimler Araştırma Grubu'na bağlı olarak kurulan Yüksek Enerji Astrofizikçi Araştırma Ünitesi, araştırmalarını sürdürmektedir. Bu ünite kapsamında çalışan yüksek enerji astrofizikçilerimiz ODTÜ'den M. Ali Alpar, Ümit Kızıoğlu, Oktay Hüseyinov, Akif Esendemir, Altan Baykal, Murat Alev, öğrenciler Fatma Gök, İsmail Ergun ve Enis Tuncer; Boğaziçi Üniversitesi'nden Nihal Ercan; TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nden M. Emin Özel'dir. Ayrıca Amerika'da University of Wisconsin'de bulunan Hakkı Ögelman, danışman olarak katkıda bulunmaktadır.

Yüksek Enerji Astrofizikçi Ünitesi'nde Spektrum X-Gama ile incelenecek olan X-ışını çift-yıldızları, nötron yıldızları, süpernova kalıntıları ve SRG'nin gözlem kapsamında olmayan fakat gözlenecek cisimlerle "akraba" durumundaki radyo pulsarlar üzerine teorik ve istatistik çalışmalar sürmektedir. Bunun



Uydunun kesiti teleskop ve detektörlerin konumları görülüyor.



yanısına, uydudan gelecek verilerin işlenmesi için bilgisayar donanımı, yazılım ve arşiv olanakları hazırlanmaktadır.

Ünite çerçevesinde TÜBİTAK'ın desteklediği bu hazırlıkların yanında, Ünite, ODTÜ kanalıyla uluslararası bilgisayar ağı INTERNET'e bağlanmıştır. Ünite'deki araştırmacılar 1980'lerin başında çalışan NASA'nın Einstein uydusu ve şimdî hâlâ çalışmakta olan Alman Rosat uydusu verileri için geliştirilmiş olan EXSAS ve MIDAS programlarını zaten kullanmaktalar.

Ünite'nin önemli bir görevi Spektrum X-Gama gözlemleri için Türkiye'deki tüm astronom ve astrofizikçilere gözlem olanaklarını zamanında haber vermek, gözlem tekliflerini koordine etmek ve uluslararası işbirliği yapmaktır.

X-ışını kaynaklarının çoğu aynı zamanda ışık kaynağı; X-ışını veren çift-yıldızlarda da X-ışını salan nötron yıldızının eşi genellikle bir optik yıldız (ışık kaynağı) dır. Bu kaynakları hem optik teleskoplarla, hem de SRG ile izlemek bilimsel bakımdan oldukça ilginçtir.

Spektrum X-Gama Uydusu

Spektrum X-Gama Uydusu, Rus Proton roketi ile uzaya fırlatılacak, Spektrum serisinden, modüler astrofizik gözlem uydularından biridir. Bu seride daha sonra atılması planlanan Spektrum UV ve Spektrum Radyo (Radyoastron) uyduları da sıradadır.

Serinin bundan önceki üyesi Rus-Fransız ortak uydusu Granat-Sigma, halen yörüngede başarıyla X ve Gama ışınlarında veri toplamakta; kara delik adayları, Gama ışını patlamaları ve geçici X-ışını kaynakları üzerine ilginç gözlemler yapmaktadır. Uydu üzerinde; uydunun yörüngedeki hareketini kontrol eden sistemler, uyduya elektrik enerjisi sağlayan

güneş panelleri, iletişim sistemi gibi birçok sistemin yanısıra, esas bilimsel işlevini yürütecek birçok teleskop ve detektör bulunmaktadır. Bilimsel yük olarak adlandırılan bu kısım çeşitli tiplerde 4 X-ışını teleskobu ve diğer X-ışını detektörlerinden oluşmaktadır. Teleskop olarak adlandıracağımız sistemler SODART, JET-X, MART ve MOXE'dir. Ayrıca EUVITA, DIOGENE, SPIN ve TAUVEX gibi detektörler de vardır.

SODART

SODART bir Rusya-Danimarka ortak yapımıdır. Temel olarak 3 kısmı vardır: 1) X-ışını ayna modülleri (MM) 2) HEPC/LEPC 3) OXS.

X-ışını Uyduları

Murat Alev
ODTÜ Fizik Bölümü

Astronomi dünyasında, X-ışını gözlemlerinin başlangıç döneminin 1960'lı yıllar olduğu kabul edilir. X-ışınlarının oldukça yüksek enerjili fotonlardan oluşmalarına rağmen atmosferin üst tabakalarında emilerek durdurulmaları nedeniyle gözlemlerin atmosferin üst tabakaları yakınlarında, daha da iyisi, dışında yapılmasını gerektirmektedir. Uydu teknolojisinin henüz gelişmediği başlangıç yıllarında X-ışını gözlemleri, balon ve roketlere yerleştirilen detektörlerle yapılmaktaydı. Balonların atmosferde yeterince yükseğe çıkamamaları nedeniyle X-ışını fotonlarının tümüne ulaşamamaları, roketlerin de uçuş ve veri toplama sürelerinin 10-15 dakika ile sınırlı olması; gözlemsel X-ışını astronomisinin öndeki en büyük engellerdi. Bununla birlikte balon ve roket gözlemleri ile 60'lı yıllarda Crab, Sco X-1, Cyg X-1, Cen X-2 gibi güçlü X-ışını kaynakları ve bu kaynakların yaydığı X-ışınlarındaki uzun dönemli, nova benzeri ve parlama biçimindeki değişimler gözlemlenmiştir. 60'lı yılların sonuna doğru da radyo pulsarlar bulunmuştur.

İlk X-ışını gözlem uydusu olan Uhuru, ABD tarafından 12 Aralık 1970'te fırlatıldı. Gözlenen X-ışını kaynaklarının sayısının ve gözlem duyarlılığının artması sonucu bu alanda önemli aşamalara gelindi. Bunların başlıcaları X-ışını çift yıldızlarının dönemleri ve yapılarının çalışmaya başlanması; bazı

kaynaklardan X-ışını atmaları (puls), X-ışını örtülmeleri (eclipse) ve atmalardaki Doppler kaymalarının saptanması olarak sayılabilir. 1973 yılında veri göndermeyi kesinceye kadar Uhuru, 339 yeni X-ışını kaynağı buldu.

Uhuru'yu izleyen yıllarda uzaya bir dizi X-ışını uydusu gönderildi. Bu uydulardan her biri, öncekine göre daha gelişmiş ve gökyüzünün X-ışını görüntüsü gittikçe netleşiyordu. Önce 1971'de İngiliz yapımı Ariel-V, ardından sırasıyla 1974'te ABD-Hollanda ortak yapımı olan ANS, 1975'te yine ABD yapımı SAS-3 ve OSO-8, 1977'de de HEAO-1 uyduları yörüngeye yerleştirilerek gözlenen kaynak sayısında büyük artışlar ve verilerin nitelik ve duyarlılığında önemli gelişmeler sağlandı. Bu uyduların ortak özelliği detektör yapımı ve gözlem ilkelerinin benzer olmasıydı. 13 Kasım 1978'de yörüngeye yerleştirilen HEAO-2 veya daha yaygın olarak bilinen adıyla Einstein uydusu ise 58 cm'lik X-ışını teleskobu ve gelişmiş kamera özellikleriyle uzak X-ışını kaynaklarının neredeyse resmini çekebiliyordu. Diğer detektörler ancak 100 KeV enerjiye kadar inebilirken, Einstein'ın teleskobu 0.25-4 KeV enerji aralığındaki fotonları da algılayabiliyordu. 3 açı saniyesi ayırma gücüne sahip olması, Einstein'ın kendinden önceki detektörlerden 1000 kez daha duyarlı olduğu anlamına geliyordu. B tayf türünden sıcak yıldızların da X-ışını kaynakları olduğu bulundu. Süpernova kalıntılarının X-ışını görüntülerinin elde edilmesine özel bir önem verildiği Einstein uydusu, uzak galaksilerden gelen X-ışınlarını da gözledi. 1983 yılında Avrupa Uzay Ajansı (ESA), bir-

Avrupa Uzay Ajansı ESA'ya ait ISO uydusu... Bu uydudan alınan veriler yardımıyla güney gök küredeki Beta Pictoris isimli yıldızın çevresindeki genç gezegenlerin gözdenmesi planlandı...



Ayna modülleri, Woltjer I tipi olmak üzere iç çapı 82 mm, dış çapı 600 mm ve odak uzaklığı 8000 mm olan, içi-çe geçmiş 143 adet üzeri altın kaplı alüminyum (0.4 mm kalınlıkta) tabakadan oluşmaktadır. Teleskobun odak düzlemine bir mekanik sistemle yerden komuta edilerek yerleştirilecek olan temel detektörlerden HEPC/LEPC yüksek ve düşük foton enerjilerinde çalışan bir orantılı sayacıdır. İç yapısı aynı zamanda görüntüleme yapmaya olanak tanımaktadır. OXS ise Bragg

prensibine göre çalışan kristallerden oluşmuştur.



ROSAT X-ışını gözlem uydusu

kaç Avrupa ülkesinin işbirliği ile hazırlanan ilk Avrupa uydusu olan EXOSAT'ı uzaya gönderdi. Exosat uydusu ile değişen X-ışını kaynaklarının periyotları ölçüldü. Düşük kütleli X-ışını çift yıldızları ve Yan-Periyodik Salınımlar incelendi. Süpernova kalıntılarının ve yıldız kümelerinin X-ışınları bölgesindeki tayfları elde edildi. Exosat'ın düşük enerji teleskobunun enerji aralığı 0.04-2 KeV aralığına duyarlıdır. X-ışını kaynaklarına ilişkin zaman analizleri 10 mikrosaniye gibi büyük bir duyarlılıkla gerçekleştirilebilmektedir.

1987 yılında Japon uydusu Ginga ve Rus yapımı Quant uzaya fırlatıldı. Ginga'nın özelliği, o güne kadarki en büyük detektörler dizisini taşıması idi. Bilindiği gibi 1987 yılı; son yıllardaki en önemli süpernova patlaması olan Büyük Macellan Bulutu'ndaki 1987A süpernovasının patlamasına da sahne olmuştur. Süpernova'dan kaynaklanan X-ışınları hemen hemen aynı anda iki uyu tarafından da gözlemlendi. 1989 yılında Rus uydusu Granat fırlatıldı. Açısal ayırma gücü 13 açı dakikası olan Granat, 35-1300 KeV aralığını kapsayan 95 enerji aralığında gökyüzünün X-ışını görüntüsünü alabiliyordu. Alman-Amerikan-İngiliz ortak yapımı olan

bir tayf ölçüm aleti (spektrometre)'dir. Başka bir deyişle OXS, hangi enerjide kaç foton geldiğini ölçecektir. Odak düzlemine ayrıca yine aynı mekanik kontrol ile SIXA, SXR ve FRD isimli detektörler, yapılmak istenen gözlem çeşidine göre, yerleştirilebilir (Tablo). SIXA, 19 adet silikon X-ışını dedektöründen oluşan grup olup X-ışını kaynaklarının duyarlı tayflarını ölçmek için tasarlanmıştır. SXR, X-ışınlarının polarizasyon açılarını ölçmek üzere hazırlanmıştır. FRD ise görüntüleme yeteneği olan orantılı bir sayacıdır. Bahsedilen detektörlerin çoğu ile, toplanan X-ışını fotonlarının geliş yönü, enerjisi ve zamanı hesaplanabilir. SODART'ın yanına monte edilecek olan TAUVEX ise

ROSAT'da 1990 yılında yörüngeye yerleştirildi. 1987 yılında Uzay Mekiği ile yörüngeye fırlatılması planlanan ROSAT'ın programı 1986 yılındaki Challenger faciası nedeniyle ertelenmiş, fırlatma daha sonra Delta II roketi ile gerçekleştirilmiştir. ROSAT'ın ana amacı bir X-ışını teleskobu aracılığıyla tüm gökyüzünü taramaktır. Bu tarama sırasında her sınıftan 100 000 yeni X-ışını kaynağı bulunması bekleniyordu. Beklendiği gibi de çok sayıda yeni X-ışını kaynağı bulundu. X-ışını teleskobunun odağına yerleştirilen Yöne Duyarlı Detektör'ün açısal ayırma gücü 25 açı saniyesi; yüksek ayırma güçlü kamera'nın açısal ayırma gücü ise 3.7 açı saniyesi civarındadır. ROSAT'ın, nokta X-ışını kaynakları yanısıra diğer hedefleri de süpernova kalıntıları, beyaz cüceler, kara delik adayları, kuasarlar ve galaksi kümeleridir. 300 milyon dolar bütçeli ROSAT'ın bu paranın karşılığını bilimsel olarak kat kat fazlasıyla geriye ödeyeceği düşünülüyor. Birbuçuk yıl çalışması planlanan uydunun dört yıl sonra hâlâ veri toplaması bu düşüncüyü haklı çıkarıyor. 1993 yılında Japon uydusu (ASCA) fırlatıldı. Bu uydunun özelliği, yük bağlamalı detektör (CCD) kullanılan ilk uyu olmasıydı. ASCA halen veri toplamayı başarıyla sürdürüyor.

Geleceğe dönük olarak planlanan X-ışını uydularının başında ABD'nin hazırladığı XTE ve Rusya, Danimarka, İngiltere, Almanya ve İtalya'nın yapımında katkıda bulunduğu, 1995 sonunda atılması beklenen Spectrum-X Gama sayılabilir.



1572'de Tycho Brahe'nin patlayışını izlediği süpernovanın kalıntısı (ROSAT gözlemi). Patlamadan sonra yıldızlararası ortama yayılan gaz, hâlâ yayılmasını sürdürüyor. Ortama çarpıştığı sınırdan oluşan şok maddeyi ısıtıyor. Böylece X-ışınları yayan bir küresel kabuk oluşuyor.

temelde ultraviyole (morötesi) bölgesine duyarlı bir detektör olup, teleskopların uzayda baktığı bölgenin izlenmesi, planlanan yöne bakıldığını kontrol etmek ve gözlem bölgesindeki yıldızların takibi için kullanılacaktır.

JET-X

İngiliz yapımı olan JET-X teleskobunda İtalya da katkıda bulunmuştur. Jet-X, temel olarak SODART ayna modülüne benzer bir yapıdadır. Ayna çapı 300 mm olup 3500 mm odak uzaklığına sahiptir. Yine bu aynalar 12 adet içiçe geçmiş parçalardan oluşmuştur ve etkin alanı 360 cm²'dir. 2 adet ayna sistemi yan yana konarak 2 teleskop elde edilmiştir. Odak düzlemlerinde silikon CCD (yük bağlamalı birim) detektör matrisi bulunmaktadır. CCD matrisi üzerindeki her matris elemanı 27 x 27 mikrometre (1 mikrometre = 0.000001 cm) ölçüsündedir ve uzayda 20 yay dakikası ayrıştırma özelliğine sahiptir. Teleskop ve CCD kombinasyonu 0.3-

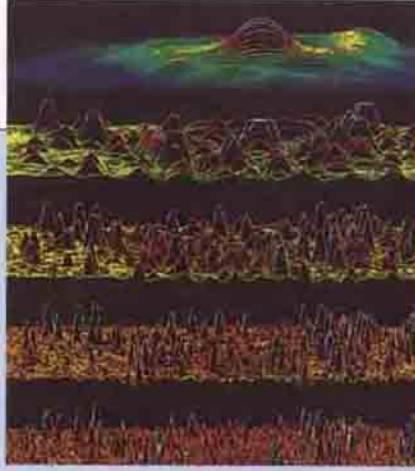
Dene	Duyarlı Enerji aralığı (keV)	Etkin alan (cm ²)
SODART (MM)	1.0-20.0	1700-100
FRD	2.0-25.0	1300-35
SIXA	0.5-25.0	1000
SXR	3.0-20.0	67
HEPC	2.0-25.0	25.6
LEPC	0.5-8.0	25.6
JET-X	0.2-10.0	320-145
MOXE	3.0-12.0	
MART	4.0-100.0	900
EUVITA	0.03-0.1	10
SPIN	10-10000	2x360

10 keV enerjilere sahip X-ışını fotonları toplayabilir; bunların geliş yönlerini, enerjilerini ve zamanlarını kaydedebilir.

MART

İtalyan yapımı olan MART, üzerindeki kotlu maske olan pozisyon algılamalı

bir detektörden oluşmuştur ve daha çok yüksek enerjili X-ışını fotonlarını (4-100 keV) yakalayarak bunların görüntülemesini, zamanlamasını ve tayflarını elde etmek için tasarlanmıştır.



MOXE

Bu teleskop diğerlerinden farklı olarak bütün gökyüzünü devamlı olarak izleyecek şekilde yapılmıştır. Bir benzeri daha önce Japon GINGA uydusu ile kullanılmış olan MOXE, daha geliştirilmiş hali ile SRG için hazırlanmaktadır.

X-ışını Gözlem Verileri

Akif Esendemir
ODTÜ Fizik Bölümü

Işığı oluşturan fotonların doğal algılayıcıları gözlerimizdir. Göz, görüntü oluşturarak foton üreten cisim hakkında bilgi edinilebilmesini sağlamakla beraber algılayabildiği foton değişimleri ve foton enerjilerini sınırlıdır. Örneğin gözümüz, saniyenin 24'te birinden daha kısa süreli foton değişimlerini algılayamaz. Algılayabildiğimiz en düşük enerjili fotonlar kırmızı; en yüksek olanları da mor fotonlardır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte insanlığı bu açığı kapatabilme çabası içinde yeni algılayıcılar geliştirmiştir. Kızılötesi ışınım ve radyo dalgaları gibi daha düşük enerjili fotonlar için, ya da morötesi, X ve γ -ışınları gibi daha yüksek enerjili fotonlar için de algılayıcılar üretmiştir. Günümüzde X-ışını fotonlarını teker teker algılamak, enerjilerini saptamak mümkündür. Özellikle yan yana dizilmiş mikro algılayıcılarla oluşturulan, CCD diye adlandırdığımız görüntü oluşturabilme özelliğine sahip elektronik gerecin X-ışını gözlemlerinde kullanılabilir düzeye çıkarılmasıyla yapılan gözlemler sonucunda, alışıldığımızdan daha farklı veri biçimleri elde edilmeye başlanmıştır.

CCD'ler yapısal olarak optik teleskoplardan farklı olan X-ışını teleskoplarının odak düzlemlerinde kullanılmaktadır. Odak düzleminde oluşan görüntünün x-y düzleminde oluştuğunu kabul edersek, görüntünün farklı noktaları, farklı mikroalgılayıcılar tarafından algılanacaktır. Görüntünün algılanmasının yanı sıra gelen foton, mikroalgılayıcılardan hangisine düşerse düşsün, geliş zamanı ve enerjisi belirlenebilmektedir. Özetlersek gözlenen uzay bölgesinden gelecek CCD üzerinde görüntü oluşturmaya katkıda bulunan her foton için, düştüğü mikroalgılayıcının CCD üzerindeki x ve y koordinatlarına bakarak, uzaydan geldiği doğrultu-

yu; mikroalgılayıcıya bakarak enerjisini (E) ve teleskopun içerdiği mikrosaniye duyarlılığındaki uydu saatiyle geliş zamanını (t) saptamak mümkündür. Daha önceki X-ışını teleskoplarından farklı olarak, CCD kullanımı bize x, y, z ve t'nin hepsini birden ölçme imkanı veriyor. Gözlenen uzay alanında bulunan X-ışını kaynaklarının fiziği hakkında daha fazla bilgi edinilebilmesine olanak sağlayan bu yeni veri formatının incelenmesi için, yeni yöntemler geliştirmek gerekmektedir.

Bu tür sistemlerden elde edilen verilerin formu gözönüne alınırsa, bunları kağıt üzerine sıralanmış dört kolonlu bir liste olarak alıp üzerinde çalışmak olası değildir. Yapılması gereken, elde edilen verileri kolay fikir yürütülebilmesine olanak sağlayan bir şekilde ele almaktır. Evlerimizde kadar girmiş bulunan bilgisayarlarda bile, ekranda, istediğimiz x ve y koordinatlarına yine bizim belirleyebileceğimiz renkte bir nokta oluşturarak verileri görebiliriz. Ekrandaki noktaların x ve y koordinatlarını, sanki CCD algılayıcımızı oluşturan mikroalgılayıcıların x ve y konumlarıymış gibi kullanabiliriz. Ancak bizim iki boyutumuz daha var: fotonun geliş zamanı ve enerjisi. Şimdilik enerji boyutunu bir yana bırakalım. Çoğu bilgisayar ekranlarında 255 farklı renkte nokta oluşturabildiğimizi de gözönüne alarak, her rengin karşılık geldiği bir sayı aralığı saptayalım. Sonra CCD'yi oluşturan her mikroalgılayıcıya gözlem boyunca ne kadar X-ışını fotonu düştüğünü hesaplayarak karşılık gelen rengi saptayalım. Bilgisayar ekranında mikroalgılayıcının CCD üzerindeki konumuna karşılık gelen x ve y koordinatlarına, bu mikroalgılayıcı üzerine düşen fo-

ton miktarının karşılık geldiği renkte bir nokta koyduğumuzu düşünelim. Bu işlemi CCD'yi oluşturan tüm mikroalgılayıcılar için tekrarlasak bilgisayar ekranımızda gözlenen alanın X-ışını dalga boylarında bir görüntüsünü oluşturmuş oluruz. Ekrandaki renk dağılımını inceleyerek, uzayın çevreye göre daha fazla foton üreten bölgeleri, diğer bir deyişle X-ışını kaynakları görsel olarak algılanabilir. Belirli bir nokta etrafında yoğunlaşan foton dağılımı incelenerek X-ışını kaynağının CCD üzerindeki konumu, buna bağlı olarak da gök küre üzerindeki konumu saptanabilir. Belirli bir kaynağın CCD üzerindeki görüntüsünü oluşturan toplam foton sayısını da hesaplayabileceğimize göre, bu sayıyı gözlem süresine bölerek cismin birim zamanda ne kadar X-ışını fotonu ürettiğini de bulabiliriz. Benzer görüntüyü, gelen her fotonun enerjisini kullanarak oluşturmak da mümkündür. Her mikroalgılayıcının üzerine düşen foton sayısı yerine bu fotonların enerji toplamlarını aynı şekilde değerlendirerek, belli bir zaman aralığında gelen toplam enerjinin ya da saniyede gelen enerji akışının gözlenen uzay bölgesi dağılımını görebiliriz.

Oluşturulan görüntü üzerinden seçeceğimiz bir X-ışını kaynağına ait fotonların enerjiye karşı foton sayısı grafiğini kullanarak tayfsal çalışmalar yapabilir, ışınım değişimini ölçebiliriz. İstersek sadece belli bir enerji analizindeki X-ışını fotonlarının (ışık ile bir benzetme yaparsak, mesela sadece kırmızı ışığın) dağılımını, nerelerden geldiklerini inceleyebiliriz. Bütün bu yöntemlerle gökyüzünde gözlediğimiz bölgedeki farklı X-ışını kaynaklarının ya da yaygın yer kaplayan bir kaynağın farklı kısımlarının fiziksel özelliklerini inceleyebiliriz.

Diğer Detektörler

Teleskop olarak adlandıramayacak diğer detektörler ise EUVITA, DIOGENE ve SPIN'dir. EUVITA, çok düşük enerjili X-ışını fotonları ve yüksek enerjili UV fotonları için; DIOGENE, gama ışını patlamalarının tayfları için ve SPIN ise gama ışın patlamalarının gözlenmesi için hazırlanmıştır. EUVITA İsviçre katkısı; DIOGENE bir Fransız tasarımı ve SPIN ise Rusya yapımıdır.

Spektrum X-Gama uydusundaki bu teleskoplardan yararlanılacak olanlardan biri ekstragalaktik astronomidir. Bu kapsamda, galaksimiz, Samanyolu dışındaki uzak galaksiler, galaksi grupları ve galaksilerarası ortam incelenebilecektir. Ayrıca galaksimizde bulunan sıkışık cisimler (nötron yıldızları, karadelik adayları ve beyaz cüceler) üzerinde yeni gözlemler yapılabilecektir. Bunlara örnek olarak nötron yıldızları üzerinde zamanlama ve tayf (spektrum) ölçümlerini; kütle aktarımlı çift yıldızlarda bulunan X-ışını kaynağı nötron yıldızının ve eşyıldızın optik teleskopla incelenmesini sayabiliriz.

Gözlem Zamanımız

Spektrum X-Gama uydusunda üç yıl süre içinde üç yüz bin saniye gözlem zamanımız olacaktır. Bu da yaklaşık 30 kadar ayrı gözlem anlamına gelmektedir. Gözleyeceğimiz kaynakları seçmek ve bilimsel amaçlarımızı tayin etmek tamamen bizim elimizdedir. Aynı kaynakları gözlemek için değişik uluslardan talep geldiği takdirde işbirliğine veya tercihlerle gitmek bir uluslararası komitenin görevi olacaktır. Türkiye'nin gözlem payları, değişik teleskop ve aletler arasında

Moxe detektörü ısı testleri için hazır durumda. Detektörün etrafı ısı elemanları ve ölçüm aletleri içeren bir çadırla sarılmış. Sağuma için pencereler ve sıvı azot doluşımı var.

Detektörlerin ısı testlerinde uzaydaki koşulları laboratuvarında gerçekleştirmek için kullanılan güneş ışığı simülatörü.



yon (ışık için bazı güneş gözlüklerinin ayırttığı özellik), bize kaynağın manyetik alanı üzerine fikir verecektir. Bir teleskobun, gökyüzünden alınan görüntüleri ne kadar ayrıntıyla seçebildiği, önemli bir noktadır.

Spektrum X-Gama'nın teleskopları yaygın X-ışını kaynakları içinde ayrıntıları 20 açı saniyesi açısız ayırıştırma ile seçebilmekte; yani gökyüzündeki konumları arasında 20 açı saniyesi bulunan iki kaynağı birbirinden ayrıntı olarak görmektedir (bir derece = 60 dakika, bir dakika = 60 açı saniyesi).

Rusya'nınki gibi dağıtılabilecektir. Bu da bize tüm aletleri kullanabilmek avantajını vermektedir, çünkü diğer uluslardan farklı olarak Rusya, aletlerin tümünde hisse sahibi durumundadır.

Bilimsel Beklentiler

Spektrum X-Gama ile X ve gama ışını kaynaklarının tayfları (spektrumları) gözlenecektir. Bildiğimiz ışığın, bir prizmadan geçtikten sonra renklere ayrılması ile o ışığın tayfını görürüz. Aynı şekilde ışık gibi elektromanyetik dalga özelliğindeki X ve gama ışınlarını da "renklerine" ayırmak; yani hangi enerjilerde ne kadar foton geldiğini saptamak, o ışınların tayfını ölçmektir. Tayf ölçümleri, bir gök cisminin sıcaklık ve kimyasal bileşim gibi özelliklerini ölçmemize yarayan temel verilerdir.

Spektrum X-Gama ile aynı zamanda mikrosaniyelik duyarlılıkla zamanlama gözlemleri yapmak da mümkün olacak; böylece incelenen kaynakların dönme ve yörünge periyodlarının ötesinde, kısa zamanlı parlaklık dalgalanmaları da izlenecek. Ayrıca ABD'de Columbia Üniversitesi ve Los Alamos Laboratuvarı tarafından yapılan ilk X ışını polarimetresi de, Spektrum X-Gama ile uzaya atılacaktır. Elektromanyetik radyasyonun temel özelliklerinden biri olan polarizasyon

Teknik Beklentiler

Bu uluslararası bilimsel girişime katılmanın Türkiye için potansiyel önem taşıyan bir yan sonucu da şudur: Teknoloji ve mühendislik açısından aracın çeşitli aşamalarda tabi olduğu testler, diğer katılımcı ülkelerin sanayii temsilcilerine olduğu gibi Türkiye'den gidecek gözlemci mühendisler de açık olarak yürütülecektir.

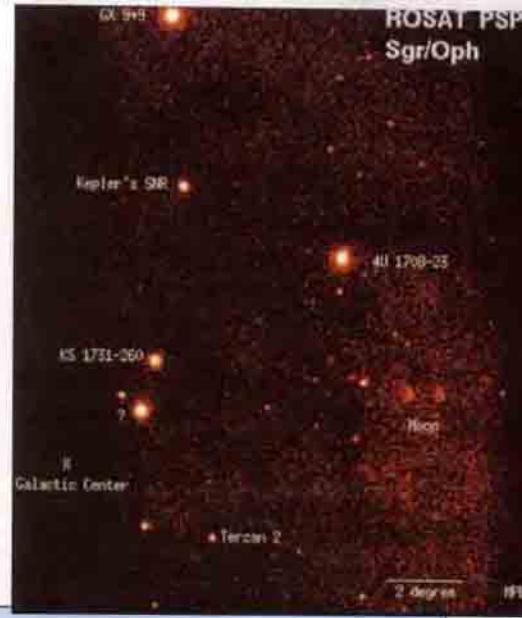
Böylece Rusya'daki uzaya dönük teknolojik birikimi izlemek, ilgilenen Türk sanayii kuruluşları için de olanaklı hale gelecektir. Bu olanağı duyurduğumuz SAGE, TAI ve ASELSAN gibi kuruluşların konuyla ilgilenmeleri sonucu geçtiğimiz Temmuz ayında ilk kez Bişkek'te yapılan bazı testleri Türk mühendisleri de izledi. Böylece bilimsel araştırma girişimi aracılığı ile ülkemiz için teknik konularda da bir temas olanağı ve bazı uzay teknolojileri ile tanışma fırsatı oluştu.



Yüksek Enerji Astrofizikte Çalışılan Konular

Yüksek enerji astrofiziği kapsamında ülkemizde özellikle nötron yıldızları; ayrıca galaksi kümeleri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalara dahil olan konulardan başlıcaları nötron yıldızlarının yapısı ve dinamiği; radyo pulsar zamanlama göz-

lemlerinin yorumu; radyo pulsarların ve X-ışını kaynağı çiftyıldızların galaksideki dağılımları; süpernova artıkları; nötron yıldızlarının soğuma ve ısınması; X-ışını kaynaklarında üzerine madde aktarılan nötron yıldızının hızlanma, yavaşlama ve parlaklık değişimleri; zamanlama gürültüsü olarak verilebilir. Bu konular birbiri ile bağlantılı bir bütün oluşturmaktadır. Spektrum X-Gama için nötron yıldızlarının X-ışını gözlemleri planlanırken; radyo gözlemleri-



Kütle Aktarımı Yapan X-ışını Çift Yıldızları ve Zamanlama Gözlemleri

Altan Baykal
ODTÜ Fizik Bölümü

Güneş sistemimizin dışındaki ilk X-ışını kaynağı 1962 yılında 5 dakika süreyle bırakılan bir roket deneyi sırasında keşfedildi. Bu ilk bulunan X-ışını kaynağından sonra Uhuru uydusu, Centaurus X-3 ve Hercules X-1 gibi başka X-ışını kaynakları buldu. Bu X-ışını kaynaklarının çift yıldız olduklarının anlaşılmasından ve bunların saniye mertebesinde atış (dönme) periyodlarının gözlenmesinden sonra X-ışını çift yıldızlarında, eş yıldızdan bir nötron yıldızına kütle aktarımı olduğu fikri galaksideki X-ışını yayan kaynaklar için temel bir model oluşturdu. Böylece X-ışını yayma mekanizmaları ve bu kaynakların evrimleri birçok teorisyen tarafından araştırıldı. Geçtiğimiz 20 yıla yakın süre içinde birçok X-ışını uydusu (Uhuru, Ariel, SAS3, HEAO1, Einstein, Tenma, Exosat, Ginga uyduları) yaklaşık yüze yakın X-ışını yayan nötron yıldızlı çift yıldız sistemi keşfetti. Halen Alman, İngiliz, Amerikan ortak uydusu ROSAT, Rus uydusu GRANAT ve Japon uydusu ASCA evrendeki X-ışını çiftlerini araştırmaktadır.

Nötron yıldızlarını, çok kuvvetli manyetik alanları olan dönen dinamlar gibi düşünebiliriz. Kütle aktarımı yapan X-ışını çiftlerinde manyetik alan şiddeti yaklaşık 10^{12} Gauss civarındadır. Dünyamızın manyetik alanının sadece 1 Gauss civarında olduğunu düşünürsek bunun korkunç bir manyetik alan şiddeti olduğunu görebiliriz. Nötron yıldızının çekim kuvvetiyle nötron yıldızına akan madde, nötron yıldızının manyetik kutuplarında birikir. Ulaşılan sıcaklık takriben 10^7 Kelvin derecededir. Bu yüksek sıcaklıkta termodinamik

dengeye ısınan madde X-ışını yaymaya başlar. Nötron yıldızı her dönüşünde bir ya da iki kez, ısınan kutuplarından dünyamıza X-ışını göndermektedir. Burada şöyle bir benzetme yapabiliriz: Karanlık bir odada bir fener alalım ve odanın bir köşesine bir dünya küresi koyalım. Eğer bu feneri dünyamızdan görülebilecek bir düzlemde çevirirsek fener, dünyayı her turda bir kere aydınlatır. Eğer fenerimiz çift taraflı bir fener olsaydı her turda (periyod) dünyamızı iki kez aydınlatırdı.

İşte manyetik alanı kuvvetli olan nötron yıldızlarından gelen X-ışınları da bu yüzden periyodiktir, ancak her X-ışını kaynağı böyle değildir. X-ışınları dünyanın atmosferinden geçemedikleri için bizim onları gözlememiz için bir uyduya ihtiyacımız vardır. Uyduyla gözlenen X-ışınları geldikleri zamana göre kaydedilirler. Fakat burada önemli bir nokta vardır: Uydu bir yörünge üzerinde hareket etmektedir; nötron yıldızı da kendi eş yıldızı etrafında yörüngededir. Dolayısıyla verilerimiz hareketli sistemlerde gözlenmiştir. Analize başlarken önce verilerimizin geliş zamanlarını Dünya, uydu ve Güneş'in yarattığı kütle merkezine göre taşımak gerekmektedir. Şimdi kütle merkezine göre düzeltilmiş veriler analiz edilebilir konumdadır. Elimizdeki "zaman serisinde" ölçmek istediğimiz en önemli ölçü nötron yıldızının dönme periyodudur. Bu periyodu verinin üzerinden çok sayıda frekans değeri olan harmonikler geçirerek bulabiliriz. Ya da verimizi daha önceden tahmin ettiğimiz kaba periyodlar serisiyle katlayarak tek bir puls yapısı bulana kadar tarar ve hassas bir periyod ölçümü yapabiliriz. Bugüne kadar ölçülen X-ışını kaynaklarında nötron yıldızlarının periyodları 0.069-835 saniye arasında değişmektedir. Ancak bu periyodların da zaman içinde değiş-

ROSAT'ın aynı bölgede gördüğü çeşitli X-ışını kaynakları. Bunlar arasında GX 9 + 9 ve 4U 1708-23 X-ışını çift yıldızları, Terzan 2 ise yüzbinlerce yıldızdan oluşan bir küresel yıldız kümesi. Kepler'in patlayışını gördüğü süpernovanın artığı ve Ay'ın yansıtığı X-ışınları da görülüyor.

tikleri gözlenmiştir. Bu da çok doğaldır: Bu kaynakların üzerine kütle aktarılmaktadır. Yörünge dönmesi nedeniyle oluşan Coriolis kuvveti nötron yıldızının üzerine tek yönlü bir açısal momentum vermektedir. Bu durumda zaman içinde kaynağın periyodunun kısalması (dönme hızının artması) gerekmektedir. 1980'li yıllara kadar gözlenen bütün kaynaklar genel bir hızlanma gösterdi, fakat kısa zaman aralıklarında (mesela 1-10 gün) kısa dönemli yavaşlamalar da görülüyordu. Bu yavaşlamaların nedeninin; maddenin yıldız üzerine düzensiz zamanlarda gelmesiyle ilintili olduğunu ve yine bu kaynakların içinde bulunan süper akışkan sıvının dönmede bazı kısa süreli ve düzensiz yavaşlamalara sebep olabileceği, teorik çalışmalarla ve bilgisayarla yapılan deneylerle araştırılmaktaydı. Yeni gözlemlerle bazı kaynakların uzun sürede yavaşladıkları ve hâlen de gürültülü bir davranış göstererek (yani yavaşlama hızlarını sık sık ve rastgele değiştirerek) yavaşlamaya devam ettikleri görüldü. Bu yavaşlama sırasında genel olarak X-ışını ışınının şiddeti çok değişmemektedir. Yavaşlamanın gerçek nedeni araştırılmaktadır.

Özet olarak, gürültülü davranış hem nötron yıldızının içinde bulunan süper akışkanın katkılarını hem de üzerine düşen düzensiz (kesikli) madde aktarımının etkilerini taşımaktadır. Bu karışık zaman serilerini özel yöntemlerle inceleyerek nötron yıldızları ve çift yıldız sistemlerindeki olayları anlamaya çalışıyoruz. Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde kurulan Yüksek Enerji Astrofiziği Ünitesi'nde bu yönde araştırmalar yapılmaktadır. İleride birçok genç araştırmacıya çalışma olanakları sağlanacak Spektrum X-Gama uydusuna ülke olarak üye olmamız, bize bu kaynakların sırlarını anlamakta büyük olanak tanıyacaktır.

nin yorumu, nötron yıldızlarının ve eşlerinin istatistiği ve eşyıldızların optik gözlemleri gibi konular da planlara paralel olarak geliştirilecektir.

X-ışınları ile Bağlantılı Optik Gözlemler ve Optik Teleskop

X ışını çiftyıldızlarının optik bileşenleri, hem çiftyıldızın evrimi hem de kütle aktarım mekanizmalarının anlaşılması açısından çok ilginç bir gözlemsel araştırma konusu oluşturmaktadır.

Spektrum X-Gama ile yapacağımız gözlemleri tamamlamak ve yeni gözlemsel araştırma konularına girerken optik astronomlarla yüksek enerji astrofizikçileri arasında bir ortak çalışma alanı oluşturmak açısından, X-ışını çiftyıldızlarının optik bileşenleri üzerinde çalışmak yararlı olacaktır.

Spektrum X-Gama için yapılan işbirliğinin bir yan ürünü olarak St. Petersburg'da yapımı yeni biten Kazan Tataristan Bilimler Akademisi'ne ait 1.5 m çapında bir optik teleskobun Ulusal Gözlemevi'ne verilmesi için bir anlaşma imzalanmıştır. Bu anlaşmaya göre Rus tarafının teleskobu Türkiye'ye vermesinin karşılığında, Türkiye de Gözlemevi binası, altyapı ve tabii Bakurlitepe'deki olumlu gözlem şartlarını sunmuş olacak.

Bu teleskopla bağlantılı olarak, Spektrum X-Gama için yapılan anlaşmaya da bir madde eklenmiştir. Buna göre uydunun yeni bulacağı X ışını kaynaklarından Türkiye Ulusal Gözlemevi hemen haberdar edilecek ve bu yeni X-ışını kaynaklarının optik tanımlarını yapma olanağı bize verilecektir.

Spektrum X-Gama uydusunun mekanik testler için hazırlanan kısmi modeli. Bazı detektörlerin mekanik test modelleri görülmüyor. Platformun üstünde EUVITA, küçük kare şeklindeki siyah kutu MOXE (polarimetre) ve parlak silindirik de JET-X teleskobu. Platformun altında uydunun güç, veri toplama, yönlendirme gibi sistemleri var. Her iki yana açılan kanatlar da güneş panellerinin modelleri.

Spektrum X-Gama Uydusu İle Gözlem Teklifi, Seçimi

Spektrum X-Gama uydusuyla ilgili olarak her ülke kendi kotasını dolduracak teklifleri kendi bilimadamlarından toplayıp bunların arasında seçim yapacaktır. Çeşitli ülkelerin önerdiği kaynaklar arasında örtüşme olması durumunda işbirliği veya tercih esasları, henüz kararlaştırılmamıştır. Bu konuda bizim de görüş bildirme ve karar mekanizmasına katılma olanağımız bulunmaktadır. Uydunun bilimsel gözlem önerileri toplanacağı zaman Türkiye'deki astrofizikçi ve astronoma öneri vermenin koşulları ve biçimi ilan edilecektir.

Yüksek Enerji Astrofizikçi Araştırma Ünitesi'nce koordine edilen teklifler; Türkiye'nin payı olan 30 gözlem ve yedekleri olarak, Spektrum X-Gama programına katılacaktır. Uydunun alacağı verilerin yere indirilmesi, gözlemcilere dağıtılması ve işlenmesi uluslararası işbirliği içinde planlanmaktadır. Türkiye'de veri işlenmesiyle ilgili çalışmalar da Yüksek Enerji Astrofizikçi Ünitesi'nde başlanmış bulunmaktadır.

Uydunun programına geç bir aşamada katıldığımız için doğrudan alet ve teleskop koyma olanağımız yok; oysa bu uy-



İtalyan Uzay Ajansının Spektrum X-Gama için yaptığı MART-LINE teleskobu.

dunun bazı detektörlerinin ülkemizde de yapılması teknik olarak mümkündür. Bundan sonra gelecek olan başka uydularla işbirliklerine, sürecin başından itibaren, alet de yapılması amaçlanmaktadır.

Gençlere Çağrı

Önümüzdeki yıllar, Ulusal Gözlemevi, dolayısıyla optik astronomide nasıl bir gelişmeye tanık olacağı; yüksek enerji astrofizikçisinde de ülkemizde buna paralel önemli bir etkinlik bekliyoruz. Şimdiki lisansüstü ve doktora öğrencileri bu bakımdan çok şanslılar; kariyerlerine, ülkemize astronomide yeni olanakların geldiği bir evrede başlıyorlar. Bu fırsat aynı zamanda yeni teknikler öğrenme ve çok çalışma gereğini de beraberinde getiriyor. Mesleğe yönelecek astronomi, fizik ve mühendislik kökenli iyi öğrencilere ihtiyacımız var. Bu gençlerin iyi araştırma olanakları, verimli ve tatminkar bir araştırma hayatları olacak.

İlk uydunun gözlemevimize meraklı ve marifetli gençlerimizi bekliyor!

Nötron Yıldızı Nedir?

M. Ali Alpar
ODTÜ Fizik Bölümü

Nötron yıldızları bildiğimiz en yoğun, en sıkışık yıldızlar. Güneş'inki kadar kütleyle sahip tipik bir nötron yıldızında yaklaşık 2×10^{27} ton madde var. Birçok yıldızın kütlesi bu kadar veya daha da fazladır. Ancak Güneş bu kütleyle 700,000 km yarıçapında bir hacim içerisinde tutarken nötron yıldızında yarıçap sadece 10 km kadar. Nötron yıldızlarında ortalama yoğunluk son derece yüksek: 1 cm^3 hacime tam 500 milyon ton madde sıkışıyor. Maddenin normal halinde bilinen en yüksek yoğunluk; atom çekirdeklerinin içinde santimetre küpe düşen 280 milyon ton'luk yoğunluktur. Ama bu yoğunluk, atom çekirdeğinde sadece 10^{-36} cm^3 kadar bir hacim içinde geçerli iken, nötron yıldızında Güneş'inki kadar olan kütle, bu yüksek yoğunlukta 10 km yarıçapında bir küre oluşturuyor! Bu kadar kütle biraz daha çökmüş, 10 km yerine 3 km'nin altında yarıçapı olan bir hacmin içine inmiş olsaydı bir kara delik olacaktı. Bundan; nötron yıldızlarının kara deliklerden sonra en fazla çökmüş cisimler olduklarını anlıyoruz. Kara deliklerin ilke olarak kütle, açısal momentum ve varsa elektrik yükü gibi yalnızca üç özellik dışında gözlenemez oldukları da gözönüne alınırsa, maddenin en yoğun olarak nötron yıldızlarında gözleendiği ortaya çıkar. Bu kadar küçük olmaları sonucu nötron yıldızlarının kimi saniyede bir kez, en hızlı ise saniyede 642 kez gibi çok yüksek dönme hızına sahipler. Tıpkı bir buz patencisinin kollarını içeri çektiği zaman hızlanması gibi, yıldızlar da evrim sonunda çöküp nötron yıldızı boyutlarına inene kadar küçüldüklerinde, açısal momentumun korunması sonucu, bu yüksek hızlara ulaşırlar. Bu yüksek hızlar yalnızca gözlediğimiz en yüksek hızlar değil, aynı zamanda herhangi bir yıldız ulaşabileceği

en yüksek hızlardır. Bir cisim belli bir maksimum hızdan daha hızlı dönerse merkezkaç kuvveti kütle çekiminden daha fazla olacak ve yıldız savrulup dağılacaktır.

Yıldızın yüzeyindeki merkezkaç kuvvetini kütleçekimi kuvvetine eşitlersek maksimum dönme hızının saniyedeki dönme sayısını Hertz birimiyle $v = (G \rho / 3\pi)^{1/2}$ olarak buluruz. Burada G, Newton'un evrensel kütleçekim sabiti; ρ ise yıldızın ortalama yoğunluğudur. Demek ki bir yıldız ne kadar yoğunsa o ölçüde hızlı dönebiliyor. Gözlenebilir en yoğun yıldızlar olan nötron yıldızları gözleyebileceğimiz en yüksek dönme hızlarına ulaşabilirler. Bir nötron yıldızının dönme etkisiyle dağılacığı maksimum hız 2000 Hertz kadardır. Gözlediğimiz saniyede 642 kez dönme bu yıldızların ulaşabileceği en yüksek dönme hızından yalnızca yaklaşık üç kez daha küçüktür! Nötron yıldızlarının küçük boyutları, hızlı dönmelerin yanısıra birde $10^9 - 10^{12}$ Gauss arasında çok kuvvetli manyetik alanlara yol açmaktadır.

Nötron Yıldızlarını Nasıl Gözlüyoruz?

550 kadar nötron yıldızını "radyo pulsar" olarak, 100 kadar nötron yıldızını da "X-ışını çiftyıldızları" olarak görüyoruz. Radyo pulsarlar kuvvetli manyetik alanı olan ve hızla dönen nötron yıldızlardır. Dönen mıknatısın oluşturduğu dinamo, elektrik yüklü parçacıkları hızlandırır. Böylece yıldızın çevresinde oluşan değişken akımların saldıkları radyo dalgaları ile nötron yıldızı doğal bir radyo istasyonu oluşturur. En aktif pulsarlardan aynı zamanda ışık, X (Röntgen) ve gama ışınları da yayılır. Radyo dalgaları manyetik alana göre belirlenen belli yönlerde yayıldığı; bu huzmenin yönü de yıldızın manyetik eksenini ile birlikte, yıldızın dönme eksenini etrafında dönerek uzayı taradığı için biz nötron yıldızının her dönüşünde bir kez radyo sinyali alırız, tıpkı dönen bir deniz fenerinin ışıladığını her dönüşte bir kez gördüğümüz gibi.

Radyo pulsarların nötron yıldızı olduklarını nereden biliyoruz? Pulsar peri-

yodları son derece dengeli olup yıldızın yavaşlamasından kaynaklanan hafif bir etkinin dışında hiç değişmezler. Bir yıldızın yapabileceği hiçbir titreşme, hiç bir periyodik hareket bu kadar dengeli bir periyod veremez. Ancak dönme, açısal momentum korunduğu için, bu kadar dengeli bir periyoda yol açabilir. Peki pulsarlar dönen yıldızların hangi türünü oluşturur? Periyodların kısalığı (dönme hızlarının yüksekliği) yalnızca nötron yıldızlarında bulunan yüksek yoğunluklara işaret ediyor. Böylece radyo pulsarların, nötron yıldızları olduklarını biliyoruz. Zaten radyo pulsar olarak aktif olmaları da yüksek dönme hızından ve kuvvetli manyetik alandan, yani nötron yıldızlarının bunca sıkışık cisimler olmalarından kaynaklanıyor.

X-ışını çiftyıldızlarında ise bir nötron yıldızı ile başka bir yıldız yörüngede bir-biri etrafında dönerler. Eşyıldız kimi durumda yüzeyinden madde kaybeder ("yıldız rüzganı"). Çoğu çiftyıldızda da eşyıldız o kadar çok şişer ki yüzey katmanları, eşyıldızın kendi kütleçekiminden çok nötron yıldızının kütleçekimi etkisine girerler. Buna astrofizikçiler "Roche bölgesinin taşması" derler. Bir çiftyıldız sisteminde her bir yıldızın Roche bölgesi o yıldızın kütle çekiminin baskın olduğu hacimdir. Yıldız rüzganı veya Roche bölgesinin taşması yoluyla eşyıldızın kaybettiği maddenin önemli bir kısmı nötron yıldızının üzerine düşer. Nötron yıldızının çekimiyle düşen madde hızlanır. Bir gram madde uzaklardan gelip nötron yıldızının yüzeyine inerken GM/R kadar potansiyel enerji kinetik enerjiye; sonra da maddenin nötron yıldızı yüzeyine çarpıp durması ile, ısıya dönüşür. Burada M nötron yıldızının kütlesi, R de yarıçapıdır. Bu enerji, ısınan nötron yıldızı yüzeyinden ışına olarak yayılacaktır. Eşyıldızdan nötron yıldızına kütle aktarımı saniyede m gram ise, saniyede ısıya dönüşen enerji de GMm/R erg/saniyedir. 10^{16} gm/saniye mertebesindeki tipik bir kütle aktarım hızı m, nötron yıldızında GMm/R , 10^{36} erg/saniye gibi yüksek bir ışına şiddeti verir. Işıyan bir yüzeyin sıcaklığı ile birlikte yaydığı ışımının arttığını ve ışımının renginin değiştiğini, örneğin kızgın bir metalin önce kırmızı, daha yüksek sıcaklıklara çıkılınca da akkor halinde ışıdığını ve parlaklaştığını; yani çıkan ışımının şiddetlendiğini hepimiz biliriz. Sıcaklık T derece ise birim yüzey alanından saniye-



de ışıma yoluyla σT^4 kadar, nötron yıldızının tüm yüzeyinden de $4\pi R^2 \sigma T^4$ kadar enerji yayılır ($\sigma = 5.7 \times 10^{-5}$, "Stefan-Boltzmann sabiti"). $GM/R = 4\pi R^2 \sigma T^4$ diyerek nötron yıldızı yüzeyi için $T = 10^7$ derece sıcaklık buluruz. Bu sıcaklıkta bir yüzeyden çıkan ışıma, X-ışınları "renği"ndedir. Radyo dalgaları, ışık, ultraviyole, X ve gama ışınları hep elektromanyetik ışımının değişik renkte, yani değişik frekanstaki şekilleridir. Işıyan bir yüzeyden çıkan ışımının frekansı, ya da eşdeğer bir deyişle, çıkan fotonların enerjileri, yüzeyin sıcaklığı ile orantılıdır. Görüyoruz ki kütle aktarımı sonucu nötron yıldızlarının bu kadar çok ışımaları ve X-ışını verecek sıcaklıklarda olmaları, doğrudan doğruya yanıp parlamalarının küçük olmasının bir sonucudur. Bu yüzden ısıya dönüşen potansiyel enerji çoktur ve yine bu yüzden küçük yüzey alanı bu yüksek sıcaklıklara kadar ısınmaktadır.

Nötron yıldızlarından daha büyük olan bir diğer çökmüş cisim türü, beyaz cüceler, $R = 1000 \text{ Km} - 10000 \text{ Km}$ olan yarıçapları ile, bir çiftyıldızda kütle aktarımına maruz kaldıklarında; aynı kütle aktarımı altındaki bir nötron yıldızından 100 - 1000 kat daha az bir ışıma şiddeti ile enerji yayarlar. Beyaz cücelelerin sıcaklıkları da nötron yıldızlarınınkinden epeyce düşük olduğundan bu yıldızlardan tipik olarak X değil, morötesi (ultra viyole) ışınımı veya ışık çıkar. Beyaz cücelelerden ve nötron yıldızlarından daha da küçük en aşırı çökmüş yıldız türü olan kara delikler ise doğrudan gözlenemezler. Ancak dönerek kara deliğe düşmekte olan maddenin oluşturduğu kütle aktarım diskini, X-ışını dalga boylarında ışıyabileceği ve bu X-ışımının bazı karadelik adaylarından gözlemlendiği düşünülmektedir.

Görüyoruz ki fizikçiler için nötron yıldızlarını çok ilginç kılan, sahip oldukları bu korkunç yoğunlukları, Astronomlar içinse bu cisimler ayrıca yıldız evriminin mümkün sonlarından biri; yani yine çökmüş cisimler oldukları için ilginç. Bu yıldızları gözlenebilir kılan da yine çok küçük olmaları. Gerek radyo pulsarlar gerekse X-ışını çiftyıldızları; küçük olmalarından kaynaklanan yüksek dönme hızları, kuvvetli manyetik alanları ve büyük kütleçekimi potansiyelleri sayesinde gözlenmektedirler. X-ışını astronomisinin ve tabii Spektrum X-Gama'nın galaksimizdeki en gözde hedefleri işte bu yüzden X-ışını çiftyıldızlarındaki nötron yıldızları.

Spektrum X-Gama ile özellikle X-ışını çiftyıldızlarını gözlemeyi planlıyoruz. Radyo pulsarlar arasında ise en genç olanları; henüz oluşumlarından kalan ısıyı tamamen kaybetmedikleri için, ya da sürtüşme, manyetosferle etkileşme gibi çeşitli ısınma mekanizmalarından dolayı X-ışınları da veriyorlar. Bu genç pulsarların saldıkları X-ışınlarını gözleyerek nötron yıldızlarının yapısı ve soğuma mekanizmaları üzerine bilgi alabiliriz.

Milisaneyelik Pulsarlar, X-ışını Çift-yıldızları, Yaklaşık Periyodik Osilasyonlar

Başka sistemlerin, X-ışını çiftyıldızlarının incelelenmesi; özellikle milisaneyelik çok kısa periyodlu veya çiftyıldızda bulunan radyo pulsarlar için önem taşıyor. Bu radyo pulsarların eskiden bir çiftyıldız sisteminde kütle aktarımı altında X-ışını veren nötron yıldızları olduklarını sanıyoruz.

En hızlı pulsarlar, dönme periyodu milisaneyeler mertebesinde kısa olan "milisaneyelik" pulsarlar; bir çiftyıldız sisteminde oluşmuş ve oluşumdan sonra eşyıldızdan nötron yıldızı üzerine dönerek düşen kütle aktarımı ile iyice hızlanmış olmalıdır. Çeşitli gözlemlerle desteklenen bu fikre göre, milisaneyelik radyo pulsarlarla, kütle aktarımından kaynaklanan X-ışınları salan X-ışını çiftyıldızları arasında evrimsel bir bağlantı vardır. X-ışını çiftyıldızları arasında özellikle düşük kütleli olanların yaşlı oldukları ve yine yaşlı olan milisaneyelik pulsarların da bunlardan türediği düşünülmektedir. Kütle aktarımı eğer Roche bölgesinin taşmasından kaynaklanıyorsa, aktarılan kütle açıl momentum taşıdığı için bir disk oluşturup bu disk içinden nötron yıldızına akar.

Diskin içinde maddenin dönme hızı nötron yıldızına yaklaştıkça artar. Diskin iç sınırının nötron yıldızına ne kadar yaklaştığını yıldızın manyetik alanı belirler. Yaşlı ve manyetik alanı, belki de zamanla söndüğü için, zayıf olan bir nötron yıldızının etrafındaki disk nötron yıldızının çok yakınlara kadar erişir. Böyle olunca yıldızın aktarılan madde daha hızlı dönerek

gelir. Manyetik alanı zayıf bir nötron yıldızının; kütle aktarımı ile, manyetik alanı kuvvetli olan bir yıldızla göre çok daha yüksek dönme hızlarına ulaşacağını hesaplarız. 1982'de ilk milisaneyelik pulsar bulunduğu, daha manyetik alanı belirlenmeden, bu yıldızın bir çiftyıldızda kütle aktarımı ile hızlanmış olduğu tahmin edildi ve ulaştığı



yük-

sek dönme hızına bakarak, manyetik alanının küçük değeri hesaplandı. Bu sonuç sonraki manyetik alan belirlenmesi ile doğrulandı. Senaryoya göre düşük kütleli yaşlı X-ışını çiftyıldızlarında nötron yıldızının milisaneyeye yakın periyodlarda olması beklenir. Bu X-ışını kaynaklarında milisaneyelik periyod hâlâ bulunamadı, ama aramalar "yaklaşık periyodik osilasyon" (YPO) denen yeni bir olgunun bulunmasına yol açtı. YPO, dönme periyodu gibi kesin bir periyod değildir. Yıldızın X-ışını parlaklığının birbirine yakın birçok periyodda dalgalanmalar yaptığı gözlenmektedir. YPO'nun ortalama frekansı, yıldızın ortalama X-ışını parlaklığına bağlı olarak artar. Bu olayın modellenmesi ile yıldızın doğrudan gözlenemeyen manyetik alanı ve dönme periyodunu bulmak mümkün olmuştur. Modelin birçok X-ışını çiftyıldızında milisaneyelik pulsarlarınkine benzer 10^9 Gauss şiddetinde manyetik alanlar ve 10 milisaneyelik mertebelerdeki periyodlara işaret etmesi hem modeli, hem de milisaneyelik pulsarların bu X-ışını çiftyıldızlarından geldikleri savını güçlendirdi.

Son zamanlarda kara delik adayı bazı X-ışını çiftyıldızlarında da farklı nitelikte YPO'lar gözlemlendi. YPO'lar aracılığıyla galaksimiz Samanyolu'nun en ilginç X-ışını kaynaklarını daha iyi öğrenmeyi umuyoruz.