



# Uydularla Gökbilim

Bizden milyonlarca ışık yılı uzaktaki gök cisimlerinden çıkan ışık, uzun yolculuğunun sonunda Dünya'ya kadar ulaşıyor. Bu gök cisminin ne olduğunu, nasıl bu kadar parlak olabildiğini anlamamız için ışığını kaydetmemiz ve incelememiz gerekiyor. Işık dediğimiz şey belli bir dalga boyuna sahip elektromanyetik bir dalga. Elektromanyetik dalgalar değişen elektrik ve manyetik alanlar sonucu ortaya çıkar ve boşlukta ilerleyebilir! Bu sayede biz de gök cisimlerini inceleyebiliriz. 1900'lu yılların başlarında, ışığın hem elektromanyetik dalga, hem de foton adını verdiğimiz parçacıklarla betimlenebileceği keşfedildi. Elektromanyetik dalgaların frekanslarının ve dalga boylarının çarpımı ışık hızına eşittir, enerjileri ise frekansıyla doğru orantılı olarak artar. Gökbilimciler gökyüzündeki kaynakları incelerken sadece gözümüzün görebildiği ışığı (görünür ışık yani optik ışık) kullanmaz, nitekim görünür ışık tüm elektromanyetik tayfın sadece küçük bir parçasıdır. Bu yazıda, özellikle görünür ışık dışında uzayda nasıl gökbilim yapıldığını anlatacağız.

**A**tmosferimiz elektromanyetik tayfın çok büyük bir kısmını geçirmez! Geçirgen olduğu bölgeler görünür ışık ve radyo bölgesinin bir kısmıdır. Bu yüzden aynalı ve mercekli teleskoplarla görünür ışıkta, radyo teleskopları ile yeryüzünden gözlem yapabiliriz. Diğer tüm dalga boyları için atmosferin üstüne çıkmamız gerekir. Yani uzayı ve içindeki gök cisimlerini anlamamızın en iyi yolu uzaya çıkmaktır!

Hangi dalga boyu aralığında çalışırsak çalışalım, gökbilim gözlem aletlerinin ana çalışma ilkesi aynıdır: Gökyüzünün istediğimiz bir bölümünü hassas bir algılayıcıya odaklamak. Dolayısıyla bize bir odaklayıcı düzenek (tüm dalga boylarında gözlem yapabilen bir teleskop) ve istediğimiz dalga boyuna hassas algılayıcı gerekir. En iyi performansı almak için teleskop ile algılayıcı birbirleri ile uyumlu olmalıdır. Bir iki örnek vermek istersek, görüntü çözünürlüğü yüksek bir teleskopun algılayıcısı-

nın da yüksek çözünürlüğü olmalıdır veya toplama alanı geniş bir teleskopun algılayıcısının okuma hızı yüksek olmalıdır.

Teleskop ve algılayıcının tipine bağlı olarak, yapılan gökbilim çalışmaları da değişir. Görüntü çözünürlüğü iyi sistemler, birbirine yakın nokta kaynakları ayırarak yeni kaynaklar ve onların özelliklerini keşfetmemizi sağlayabilir. Gökyüzünde geniş yer kaplayan gökada, süpernova kalıntısı gibi cisimlerin ayrıntılı incelenmesine olanak sağlarlar. Bir kaynaktan değişik dalga boylarında gelen ışık miktarı, o ışığı yaratan fiziksel mekanizmaya bağlıdır. Dalga boyuna ya da enerjisine bağlı olarak gelen ışık miktarını ölçtüğümüzde gök cisminin tayfını çıkarmış oluruz. İyi enerji çözünürlüğü olan teleskop ve algılayıcılardan çıkan tayf ile sistem hakkında daha ayrıntılı bilgi sahibi oluruz. Gökbilimcilerin kullandığı başka bir yöntemse sistemden gelen ışığın zamana bağlı olarak nasıl değiştiğini bulmaktır.



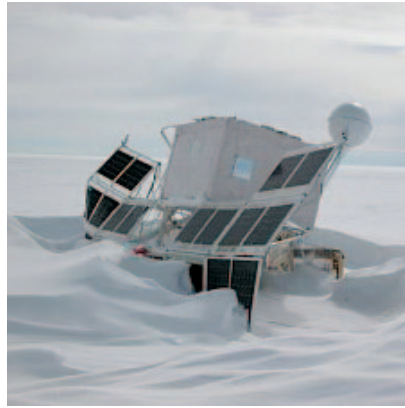
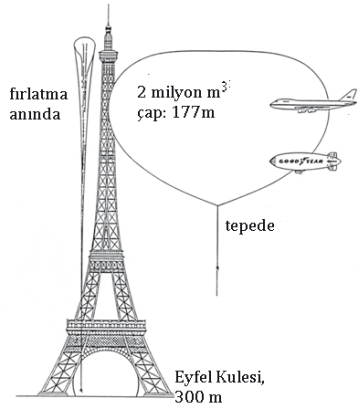
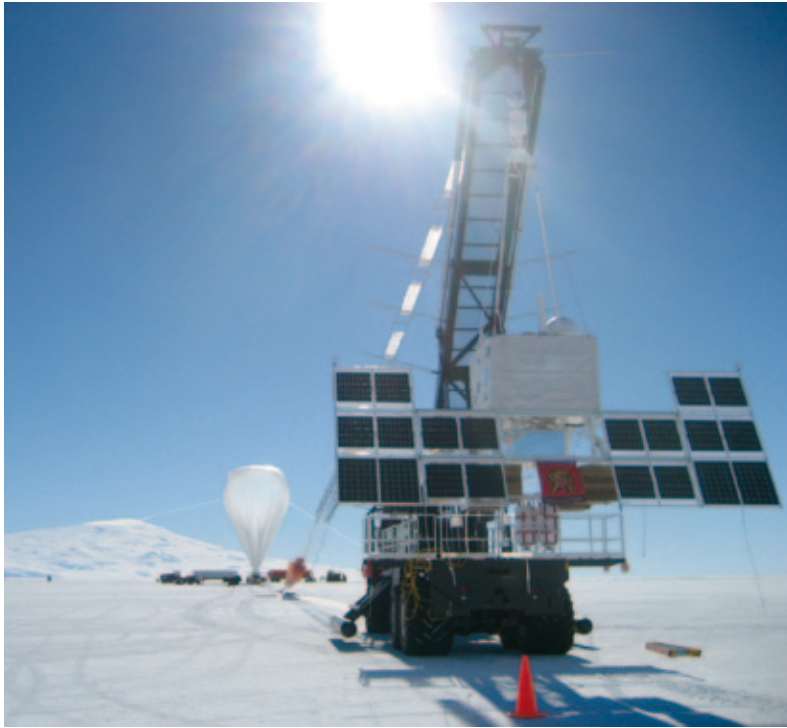
Emrah Kalemcı 1996 yılında ODTÜ Fizik Bölümü'nden mezun oldu. Yüksek lisans (2000) ve doktorasını (2002) Kaliforniya Üniversitesi, San Diego'da tamamladı. 2005 yılına kadar Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley'de doktora sonrası araştırmacı olarak çalıştı. 2005 yılından beri Sabancı Üniversitesi'nde öğretim üyesidir. 2007 TÜBA Üstün Başarılı Genç Bilim İnsanı Programı (GEBİP) ödülü sahibi ve Türk Astronomi Derneği'nde yönetim kurulu üyesidir. Kara delikler üzerine çalışmalarının yanında X ışını algılayıcıları üzerine çalışmalar yapmaktadır.

## Atmosferin Üstüne Çıkmak

### Balonla gökbilim:

Bazı dalga boyu aralıklarında atmosferin üst tabakaları hâlâ geçirendir, dolayısıyla 42 km'ye kadar tırmanabilen dev balonlarla gökbilim çalışmaları yapmak mümkün. Çok hafif ve dayanıklı malzemedan yapılan bu balonlar (mutfakta kullandığımız streç

filmlerin yarısı kalınlığında, polietilen malzeme) atmosferin üst kısımlarına çıktıklarında iki futbol sahası büyüklüğüne erişebilirler. Teleskop ve algılayıcı balona bağlanır. Bu balonların gidecekleri yönü kontrol etmek mümkün olmadığından düzenli rüzgârların olduğu yerlerde kullanılırlar. En düzenli rüzgârlar Antarktika kıtası çevresinde olduğu için balon kullanılarak yapılan çalışmalar için bu bölge tercih edilir.



CREAM adlı kozmik parçacık deneyi balonla uçurulmadan önce (üstte). Balon fırlatılırken ve süzülme yüksekliğine ulaştığındaki büyüklüğünün Eyfel kulesiyle kıyaslanması. CREAM deneyi düzenegi, balonla bağlantısı kesildikten sonra.

Belli bir süre gökyüzünde kalan balon ilk gönderildiği bölgeye yaklaştığında ipi kesilir ve düşen yük kurtarılır (ya da kurtarılmaya çalışılır, çünkü bazen hava koşulları o civarda çalışmaya engel olur.

### Roketle gökbilim:

Atmosferin üzerine çıkmak için başka bir yöntem de roket kullanmak. Her ne kadar roketler hassas görüntüleme gerektiren deneyler için uygun olmasa da, çok hesaplı olduklarından algılayıcıların sınanmasında kullanılabilirler. Uzayda ilk gökbilim çalışmaları kendi etrafında sabit bir hızda dönen roketlerle yapıldı. Bu roketler özellikle parlak cisimlerin zamansal özelliklerini belirlemek için kullanılabilir. 120 km'ye kadar çıkıp 5-20 dakika atmosferin üzerinde kalabilirler. Roketle yapılan gökbilim çalışmalarının dezavantajı ise gene düşen yükün kurtarılmasının zorluğu.

### Uydular ile gökbilim:

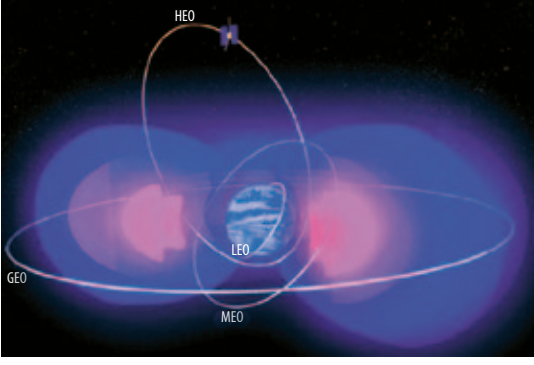
Kuşkusuz atmosfer dışında gökbilim çalışmaları yapmak için en etkili yöntem teleskopların uydular üzerine yerleştirilmesi. Bilim ve Teknik Dergisi'nin 2009 Eylül sayısında uydular konusunda ayrıntılı bilgiler bulabilirsiniz. Bu yazıya uyduların özelliklerinden çok üzerlerindeki faydalı yüklerle (teleskop sistemi ve elektroniği) ilgili. Ama faydalı yüklerden önce gökbilimi yakından ilgilendiren uydu yörüngelerinden bahsetmek gerekiyor. Gökbilim uyduları için yapılacak işe bağlı olarak genelde 3 yörüngeden biri uygundur:

1. Yakın Dünya Yörüngesi: Bu yörüngedeki uydular 500 km civarında bir yükseklikte, her 90 dakikada bir Dünya çevresinde döner. Bu yörüngenin çok önemli avantajları vardır. Yakın yörünge olması nedeniyle yörüngeye yerleştirilmesi hem kolay hem de ucuzdur. Ayrıca yakın olması nedeniyle iletişim ve veri aktarımı da nispeten daha kolay ve masrafsızdır. Dünya'nın radyasyon kuşağının altında kalan bir yörünge olduğu için hassas algılayıcılar yüksek enerjili yüklü parçacıkların etkisinden uzak kalır. Bu yörüngenin en önemli dezavantajı da Dünya'ya yakın olmasıdır, çünkü uzayın neredeyse yarısı teleskopa göre Dünya'nın arkasında kalır. Birçok gök cisiminden verimli bilgi almak için çok uzun süreyle, kesintisiz gözlem yapmak



Gökbilim çalışmalarında kullanılan tipik bir roketin fırlatılması





LEO: Alçak yörünge, HEO: Eliptik yörünge, MEO: Orta irtifa yörünge, GEO: Yer-sabit yörünge. Pembe ve morla gösterilen radyasyon kuşakları Dünya'nın manyetik alan yapısı sonucu oluşuyor. Bu kuşaklar uydulara zarar verebilecek yüksek enerjili yüklü parçacıklarla dolu.

gerekir. Bu yüzden bu yörünge her teleskop sistemi için uygun değildir. Geniş algılayıcı alanına sahip, hızla yön değiştirebilen uydular bu yörüngede iyi performans gösterir.

2. Yüksek Eliptik Yörünge: Bu yörüngedeki uydular üç güne yakın bir süre kesintisiz gözlem yapabilir. Bu bazı gözlemler için çok büyük avantajdır, fakat uyduyu yörüngeye yerleştirmek pahalı bir işlemdir ve radyasyon kuşağına giriş çıkışlar sırasında kozmik parçacıklar algılayıcıya ve elektroniklerine zarar verebilir.

3. L2 Yörüngesi: Dünya ile Güneş'in kütleçekim potansiyellerinin eşit olduğu L2 noktası, hiç kesintisiz gözlem yapmak için Dünya'dan uzak bir yörüngedeki en uygun nokta. Bir uydusu bu noktada uzun süre durabilse de bu yörüngeye gönderilmesi çok pahalı ve zahmetli bir işlem.

## Değişik Dalga Boylarında Gökbilim

**Kızılötesi:** Gökbilimcilerin sadece görünür bölgedeki ışığı kullanmadığını belirtmiştik. Şimdi kızılötesi örneği üzerinde uzayda gökbilimi tartışabiliriz. Her şeyden önce neden kızılötesi?

Birçok yıldız ve başka gök cisimleri (örneğin aktif gökadalalar) hem görünür bölgede hem de kızılötesinde kuvvetli ışınım yapar. Fakat uzaydaki gaz ve toz görünür ışığın büyük bir bölümünü emer. Dolayısıyla görünür ışığı kullanarak, özellikle gökadamada düzlemde, sadece yakın gök cisimlerini inceleyebiliriz. Fakat kızılötesi ışık uzun dalga boyu sayesinde gaz ve toz bulutlarından etkilenmeden ilerleyebilir.

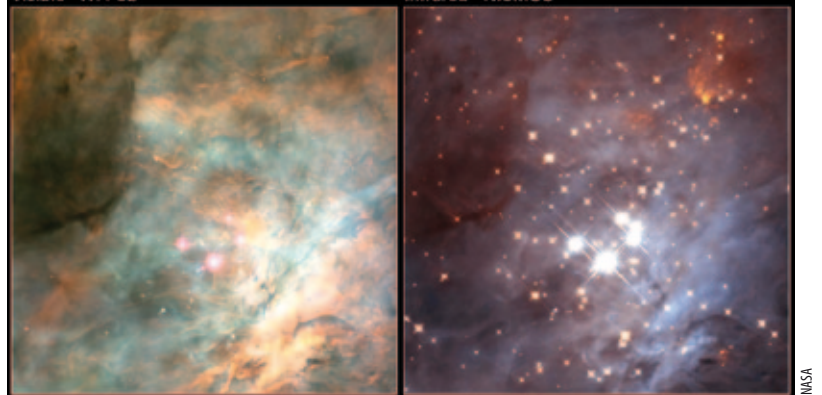
Kızılötesi teleskoplar ve algılayıcılar prensipte görünür bölgede kullanılanlarla aynıdır, yani aynalı teleskop ışığı odaklar ve CCD (charge coupled device, yükten bağlı aygıt) algılayıcı görüntüyü alır. Yarı iletken malzemeden yapılan CCD'lerin üzerlerinde binlerce piksel vardır. Işık piksellerden

birinin üzerine düştüğünde yarı iletken malzemenin içinde elektronlar serbest kalır. Daha sonra bir elektrik potansiyeli uygulanarak bu elektronlar piksellerden kaydırılır ve sırayla toplanır. Elektronik bir sistem, bu toplama sırasında hangi pikselde ne kadar elektron olduğunu bulur ve görüntüyü oluşturur.

Kızılötesi bölgede çalışmanın en büyük zorluklarından biri algılayıcıların soğutulma gereksinimidir. Tüm cisimler sıcaklıklarından dolayı ışıır. Sıcaklıkları o kadar sıcaklığına yakın oluncasimlerden çıkan ışınımın büyük bir kısmı kızılötesi bölgededir. Eğer algılayıcımızı mutlak sıfır derecesine veya onun yakınlarına kadar soğutmazsak çok uzakdaki gök cisimlerinden gelen zayıf sinyaller çevreden gelen arkalan ışınımı tarafından bastırılır. Soğutma yeryüzünde büyük bir problem olmasa da, uydular üzerinde aynı işlemi yapmak zordur ve sistemin ömrünü belirler.

**Optik – UV:** Her ne kadar görünür bölgede atmosfer geçirgen olsa da, havadaki moleküllerin hareketi gelen ışığın yönünde çok küçük değişikliklere yol açar. Yıldızların göz kırpar gibi görünmesine sebep olan bu etki, teleskoplardan alınan görüntünün de kalitesini etkiler. Bu ve başka sebepler (ışık kirliliği, nemin az olması) yüzünden bilimsel büyük teleskoplar yüksek yerlerde inşa edilir. Tabii atmosferin de üstüne çıkarsak (mesela HUBBLE Uzay Teleskobu'nu kullanırsak) çok net ve göz alıcı görüntüler elde edebiliriz. HUBBLE demişken burada bir parantez açmak gerekiyor. HUBBLE uzayda tamir edilen ve servis gören tek uydudur. Normalde bozulan uydular tamir edilmez, çünkü tamir amacıyla yapılan insanlı uçuşların maliyeti, birçok uydunun toplam maliyetinden daha yüksektir. Bu yüzden uyduların tasarım ve üretim aşamalarında çok dikkatli davranılır. Yine de yüzlerce bilim insanının aylar boyunca yaptığı çalışmalar nadiren de olsa küçük bir problem yüzünden boşa gidebiliyor.

Orion bulutsusunun görünür bölgedeki görüntüsü (solda), aynı bölgenin kızılötesinde görüntüsü (sağda)



Aynalı teleskop ve CCD algılayıcılar morötesi dalga boylarında da kullanılır. Yakın sıcak yıldızlar ve sıcak gaz bulutları morötesinde kuvvetli ışınma yapar. Gaz ve toz morötesi ışınları çok etkili soğurduğu için gökada düzleminde uzak kaynakları morötesi ile gözlemek zordur.

X ışınları: X ışınları nötron yıldızı ve kara delik gibi egzotik gökcisimlerinin çevrelerinde oluşur. Enerjisi yüksek X ışınları yaratmak için milyonlarca derecelik sıcaklıklar, Dünya'daki laboratuvarlarda yaratılamayacak patlamalar (süpernova) ya da manyetik alanlar gerekir. X ışınları ve daha yüksek frekanslı ışınlar söz konusu olduğunda genelde dalga boylarından değil enerjilerinden bahsedilir. Tipik X ışını enerjisi 1 kilo elektron volt (keV), 0,12 nm dalga boyuna karşılık gelir.

X ışınlarının yüksek enerjisi merceklerle kırılarak odaklanmalarına müsait değildir. Parabolik aynaları da kullanamayız, çünkü X ışınları kritik bir açıdan ( $1\theta$ ) büyük bir açı ile bir yüzeye çarptıklarında yansımazlar, ya emilirler ya da yüzey inceyse etkileşmeden geçerler. Bu yüzden 10 keV'a kadar olan X ışınları odaklamak için küçük açı yansıtıcı teleskoplar (yüzey alanını genişletmek için iç içe geçmiş metal silindirlere) kullanılır. 10 keV'ın üzerinde küçük açı yansıtıcı teleskop kullanmak istersek teleskopların yüzeyini özel, ince filmlerle kaplamak gerekir. Bu yöntemle 60 keV'a kadar çıkmak mümkün olmakla beraber, şu anda bu teknoloji ile çalışan teleskoplar yapım aşamasındadır.

Odaklanan X ışınları, X ışını CCD'leri üzerine düşer. X ışını CCD'lerinin temel prensibi görünür bölgede çalışan CCD'lere benzer, ama önemli bir avantajları gelen ışığın enerjisini doğrudan tespit edebilmeleridir. Böylece görüntüleme yaparken aynı anda bölge içindeki tüm kaynakların tayfı da alınmış olur.

Günümüzde hâlâ kullanılan dört X ışını uzay teleskobu var. Bunlardan XRT (X-ray Telescope) alçak yörüngede, gama ışını patlamalarına hızlıca yönelen SWIFT uydusunun üzerinde. Gama ışını patlama-

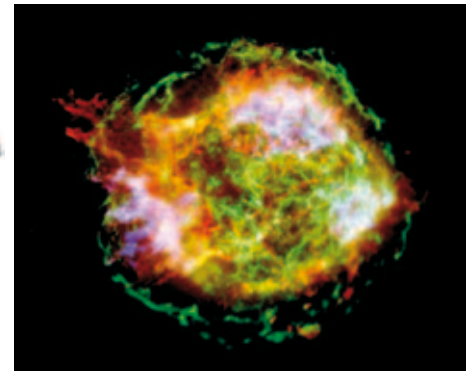
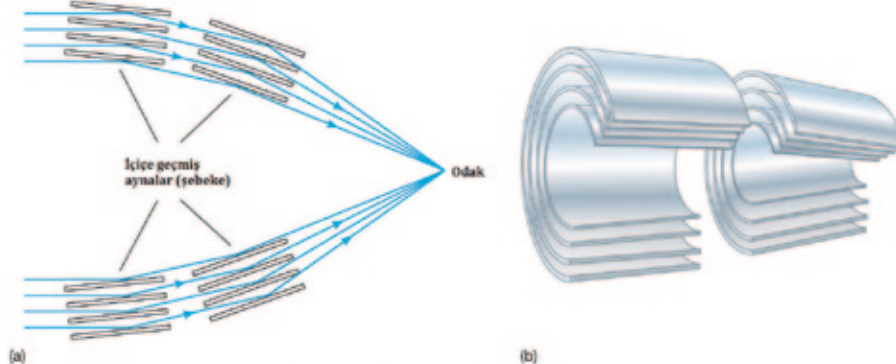
sı tespit edildikten birkaç dakika sonra tayfı alınabiliyor. ESA'nın XMM-Newton ve NASA'nın Chandra uyduları eliptik yörüngede birbirlerini tamamlayan teleskoplar taşıyor. Chandra çok iyi görüntü ve enerji çözünürlüğü ile çalışıp parlak sistemler hakkında ayrıntılı bilgi edinmemizi sağlarken, XMM-Newton geniş alanı ile sönük cisimleri incelememize ve zamansal analiz yapmamıza izin veriyor. Japon uydusu Suzaku üzerindeki teleskop da XMM-Newton'daki teleskoba benzer özelliklere sahip.

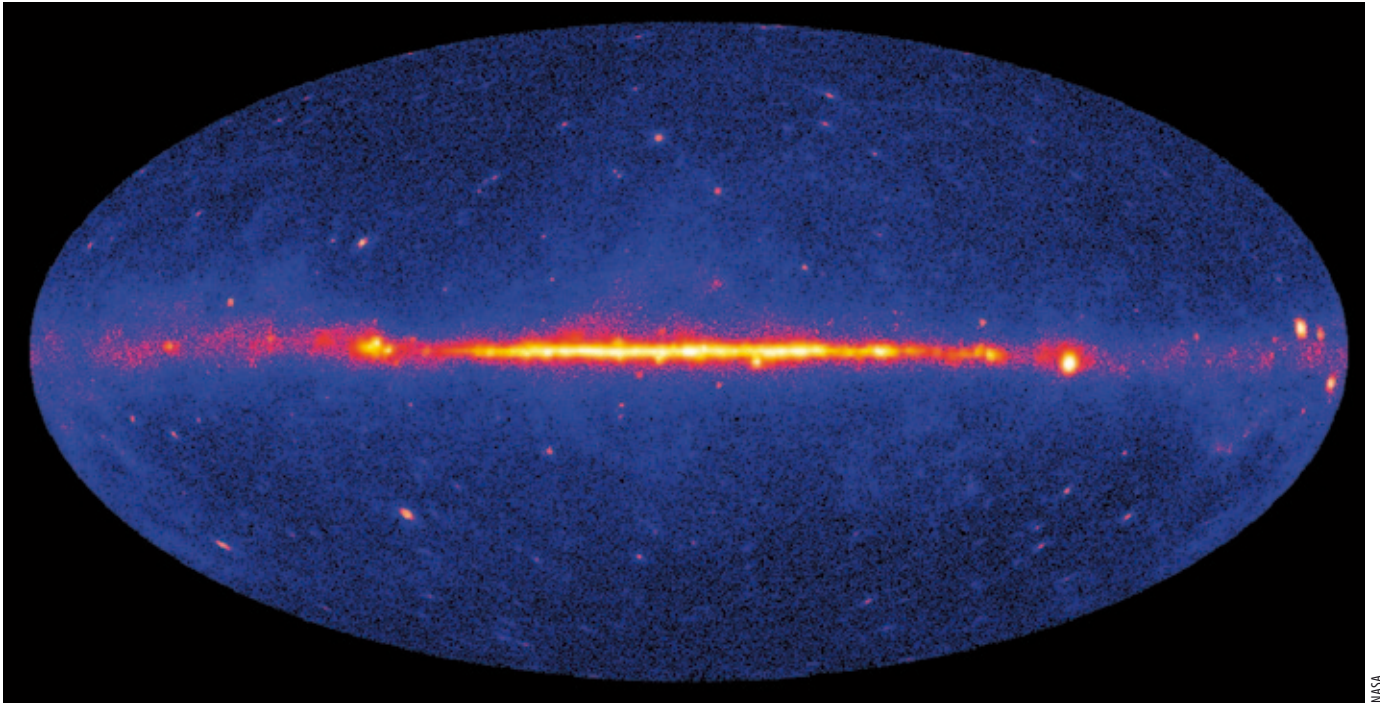
Yumuşak X ışınları gibi sert X ışınları da (20-100 keV) çok enerjili patlamaların, egzotik gökcisimlerinin ışınması sonucu ortaya çıkıyor. Bunları yansıtıcı ve kırıcı çok zor olduğu için kodlanmış maske tekniği denilen bir yöntemle görüntüleri alınabiliyor. Maske çoğunlukla bir metalin üzerine işlenmiş bir desendir, boş ve dolu kısımlardan oluşur. Boşluk kısımlara denk gelen X ve gama ışınları algılayıcının yüzeyine düşer (algılayıcı yüzeyinde maskenin gölgesi oluşur). Gölgenin şekli gelen fotonların yönüne bağlıdır. Çeşitli matematiksel dönüşümler yardımıyla gölgeyi kullanarak her kaynağın pozisyonu ve parlaklığı bulunabilir.

Yüksek enerjili ışınların gözlenmesinde kullanılan algılayıcılar da biraz değişiyor. Görüntüleme için kullanılan teleskoplarda genelde CdTe ya da CdZnTe tipi yarı iletken kristaller kullanılır. Bu kristallerin üzerine düşen fotonlar elektron-deşik çiftleri (electron-hole pair) yaratır. Yüksek gerilim uygulanarak toplanan sinyal, gelen fotonun enerjisi ile doğru orantılı olur. SWIFT üzerindeki BAT ve INTEGRAL uydusu üzerindeki tüm algılayıcılar bu tip algılayıcı ve maske sistemi kullanan sistemlerdir. Enerji arttıkça kullanılan maskenin ve algılayıcının da kalınlığının artırılması gerekir. Yoksa yüksek enerjili fotonlar etkileşmeden algılayıcının içinden geçebilir.

Bazen amaç görüntülemekten çok tayf analizi ve zamansal analiz olabilir. Bu durumda teleskop kullanmak yerine basit bir sınırlayıcı ile algılayıcımızın görüş alanını düşürebiliriz. Mesela RXTE uydusu

Küçük açı yansıtıcı teleskop düzeni ve Chandra X ışını uydusu tarafından alınmış Cas A süpernova patlaması görüntüsü. Değişik renklerle patlamada üretilen değişik elementlere karşılık geliyor.





NASA

sunun üzerindeki algılayıcıların üzerlerindeki alüminyum sınırlayıcılar, uzayda sadece 1 derecelik açı içindeki bölgeden gelen ışımının algılayıcının yüzeyine düşmesini sağlar. Yüksek enerji kaynakları sayıca az olduğundan, bu bir derecelik alanda genelde sadece bir kaynak bulunur. Alanları çok geniş olabilen bu algılayıcılar, sıkıştırılmış gaz (RXTE üzerindeki PCA) ve Sodyum İyodür (NaI, RXTE üzerindeki HEXTE) tipi kristallerle çalışır. Sıkıştırılmış gaz üzerine foton geldiğinde elektron-iyon çiftleri yaratır ve yüksek gerilim altında toplanan akım, gelen fotonun enerjisi ile doğru orantılı olur. NaI tipi kristaller ise daha yüksek enerjilerde çalışabilir. Bu kristallerin üzerine gelen fotonlar içerideki atomları uyarır. Uyarılan atomlar temel seviyelerine geri dönerken görünür bölgede ışır. Bu ışımının miktarı kristale düşen fotonun enerjisi ile doğru orantılıdır.

**Gama Işımları:** Fotonların enerjisi yükseldikçe ortamla etkileşimleri de farklılaşır. 200 keV'un üzerinde, fotonlar madde içindeki elektronlarla çarpışarak yönlerini değiştirir. Buna Compton çarpışması denir. Compton çarpışması sırasında tüm enerjiler ve etkileşime giren fotonun algılayıcı içindeki yönü bilinirse, momentum ve enerjinin korunumu yasalarını kullanarak, fotonun uzayda hangi pozisyondan geldiği bulunabilir. Bu mekanizma ile çalışan teleskoplara Compton teleskobu denir. Performansları sınırlıdır ve en son CGRO uydusu üzerindeki Comptel algılayıcısında kullanılmışlardır.

Çok yüksek enerjilere çıktığımızda da etkileşim tipinde değişiklik olur. Çok yüksek enerjili fo-

tonlar madde içinde elektron-pozitron (elektronun karşı parçacığı) çiftleri yaratır. Parçacık algılayıcıları ile hem elektronu hem de pozitronu takip etmek mümkündür. Gelen ilk foton tüm enerjisini tüketene kadar birçok elektron-pozitron çifti yaratır. Tüm parçacıkların hareketlerini takip ederek, gelen ilk fotonun yönünü bulmak mümkündür. Bu tip teleskoplara takip (tracking) teleskobu da denir. En etkileyici örneği geçen sene yörüngeye fırlatılan FERMI uydusundaki LAT teleskobudur.

## Sonuç

Evreni anlama çabamız yeni teleskoplar ve yeni algılayıcılar üreten bilim insanlarını teknolojinin en uç noktalarına götürüyor. Bilimsel ilerleme için algılayıcı ve teleskop teknolojisinde gereken gelişmeler yeni yaklaşımların, yeni malzemelerin ve yeni teknolojilerin önünü açıyor. Galileo'nun ilkel teleskobu ile gökyüzüne bakmasının 400. yılında uzay gözlem teknolojisinin altın çağını yaşıyoruz. Geleceğin dev uyduları, X ışınlarında International X-ray Observatory ve görünür-kızılötesi bölgede de Hubble'ın takipçisi James Webb Space Telescope ile bizlere özellikle evrenin bebeklik dönemi ile ilgili çok önemli bilgiler verecek.

### Kaynaklar

<http://astrophysics.gsfc.nasa.gov/balloon/>  
<http://cosmicray.umd.edu/cream/>  
<http://rscience.gsfc.nasa.gov/srrov.html>  
<http://astrophysics.gsfc.nasa.gov/cai/>  
 E. Kalemci, "Astronominin Vahşi Batısı,

Bu görüntü, tüm gökyüzünü gama-ışını dalgaboyunda tarayan Fermi uydusundaki LAT teleskobuyla, geçtiğimiz yıl yapılan ve üç ay süren gözlemler sonucunda oluşturuldu. Görünür ışıktan 50 milyon kat daha yüksek enerji taşıyan gama ışını kaynakları görüntüde parlak görünen bölgelerde yoğunlaşıyor. Yatay olarak uzanan parlak kuşak Samanyolu düzlemi.

Gama Işımlarında Uzay ve INTEGRAL", Bilim ve Teknik, Sayı 475, 2007.  
<http://fermi.gsfc.nasa.gov/>  
<http://ixo.gsfc.nasa.gov/>  
<http://www.jwst.nasa.gov/>