



# Evrene Başka Bir Pencereden Bakış Radyo Gökbilim

1931'den önce, gökbilim, sadece geceleri gökyüzünde parlayan gök cisimlerinin gözlenmesi olarak tanımlanıyordu. Aslında, günümüzde de pek çok kişi gökbilimcilerin yalnızca bunu yaptığını düşünüyor: Akşamları, dürbünleriyle, büyük ya da küçük teleskoplarıyla hava kararınca kadar bekleyip, sonra da birtakım gök cisimlerine bakan gözlemciler...

Peki, 1931'de gökbilim alanında ne değişti? O yıl, gök cisimlerinin radyo frekansında da ışınım yaptıkları keşfedildi. Gerçi, bu tarihten önce, gördüğümüz ışığın dışında da ışımada olduğu biliniyordu; ancak, gök cisimlerinin bu frekanslarda ışınım yapabileceklerini kimse düşünmemişti.

Bilimde sık sık karşılaşılan bir olay vardır. Bir bilim adamı bir konu üzerinde araştırma yaparken, bu araştırma ister istemez başka bir keşfin gerçekleşmesine yol açabilir. İşte, uzayın derinlerinden gelen radyo dalgalarını keşfettiğinde, Karl G. Jansky (1905-1950) bir başka şey için uğraşıyordu. Jansky, Bell Telefon Laboratuvarları'nda radyo mühendisi olarak çalışıyordu. 1931 yılında,

telsiz telefonların anten tasarımları üzerine araştırma yapmak amacıyla, bildiklerimize hiç benzemeyen bir anten yaptı. Jansky, yaptığı çalışmalarla, fırtınalar sırasında ortaya çıkan istenmeyen girişimleri engellemenin bir yolunu bulmayı amaçlıyordu. Jansky'nin anteni, 14,6 metre dalga boyunu algılamak üzere yapılmıştı. Anten her 20 dakikada bir eksenini et-



rafında döndürülüyor, elde edilen veriler bir yazıcıyla kağıda aktarılıyordu.

Jansky, anteni sayesinde statik olarak adlandırılan radyo frekansındaki parazitlerin fırtınalardan kaynaklandığını kanıtladı. Bunun dışında, dikkatini çeken ancak bir anlam veremediği bir parazit daha vardı. Jansky bunu "kaynağı belli olmayan, sabit bir sss sesi" olarak tanımladı.

Jansky, ölçümlerini sürdürdü. Parazit, yaklaşık 24 saat süren periyotla dönüyordu. Gerçekte, kendisi bir gökbilimci değildi. Buna karşın, kaynağın Dünya'nın kendi çevresinde dönüş süresine denk gelen bir periyoda sahip oluşu, Jansky'nin dikkatini çekti; parazitin kaynağının Dünya dışında olduğunu düşündü.

Jansky, başta kaynağın Güneş olabileceğini düşünmüştü; ancak, sonra onun her gün aynı konumdan 4 dakika erken geçtiğini fark etti. Bunun nedeni şuydu: Dünya, Güneş'in çevresindeki bir turunu 365 günde tamamlar. Olayı Güneş'e değil, yıldızlara göre ele aldığımızda, Dünya Güneş'in çevresinde dolarken, bir

kere de kendi çevresinde fazladan dolanmış olur. Yani, yıldızlara göre, bir yıl, gün doğuşlarının ya da batışlarının sayısından bir gün kısadır. Yılda bir gün, günde yaklaşık 4 dakikaya karşılık gelir. Jansky, bunu bildiği için, kaynağın Güneş olamayacağını anladı. Araştırmaları sonucu, kaynağın Samanyolu'nun merkezinde olduğunu buldu ve 1933'te keşfini yayımladı.

Jansky'nin keşfinin ardından, 1937'de bir başka radyo mühendisi Grote Reber, bugünkü radyo teleskopların ilk örneği sayılabilecek bir radyo alıcısı yaptı. Reber, bu radyo teleskopuyla yıllarca gözlem yaptıktan sonra, 1944 yılında gökyüzünün radyo frekansında hazırlamış ilk haritalarını yayımladı. Reber, İkinci Dünya Savaşı sona erene dek, Dünya'daki tek radyo gökbilimcisiydi. Savaştan sonra, radyo gökbilim, büyük hızla gelişti ve Evren'i anlamamızda çok büyük role sahip oldu.

## Elektromanyetik Işınım

*Alan*, geçerli olduğu bölge içinde bulunan bir cismi etkileyebilecek kuvvetleri tanımlamada kullanılan bir fizik terimidir. Örnek vermek gerekirse, Güneş, gezegenleri kendine doğru çeken bir kütleçekim alanı oluşturur. Bu nedenle kuvvet alanı içinde, gezegenler yörüngede kalırlar.

Hareket etmeyen elektrik yükleri, elektrik alanı oluştururlar. Hareket eden elektrik yükleri, elektrik alanıyla birlikte bir de manyetik alan oluştururlar. Bu iki alanın, düzenli olarak meydana gelen (yani kendini tekrarlayan) değişimleri de elektromanyetik alanları oluşturur. Elektromanyetik ışınım, enerjiyi bir noktadan diğerine taşır. Yani, enerjinin bir tür taşınma biçimidir. Elektromanyetik ışınım, boşlukta, saniyede yaklaşık 300 bin kilometre (299 792 km) hızla ilerler. Bu hız ışık hızı olarak da bilinir. Işık da, elektromanyetik ışınımın bir biçimidir.



*Puerto Rico'daki 300 metre çaplı Arecibo Radyo Teleskopu. Bu teleskop, Dünya'nın en büyük çanağına sahiptir. Ancak, çanak yere sabit olduğundan hareket etmez.*

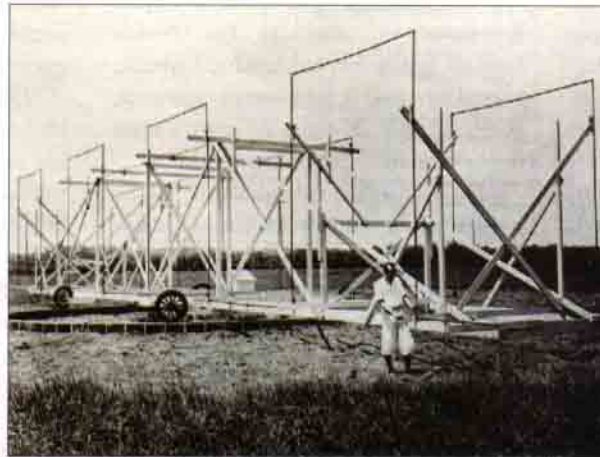
Elektromanyetik ışınımın diğer biçimlerine örnek olarak X-ışınlarını, morötesi ve kızılötesi ışınımı, mikrodalgaları, FM ve AM radyo ve TV yayın dalgalarını gösterebiliriz. Elektromanyetik dalgalar, frekanslarına ya da dalgalıboylarına göre sınıflandırılır. Frekans, alanın değişme hızıdır. Yani, alanın bir saniyede kaç kere değiştiğini bize söyler. Frekansın birimi Hertz (Hz)'dir ve adını, radyo dalgalarını keşfeden Heinrich Hertz'den (1857-1894) almıştır.

Elektromanyetik alanın değişimini ifade etmenin bir yolu da onun dalgalıboyunu vermektir. Dalgalıboyu dalgalar biçiminde yayılan elektromanyetik ışınımında, dalgaların tepe noktaları (ya da çukur noktaları) ara-

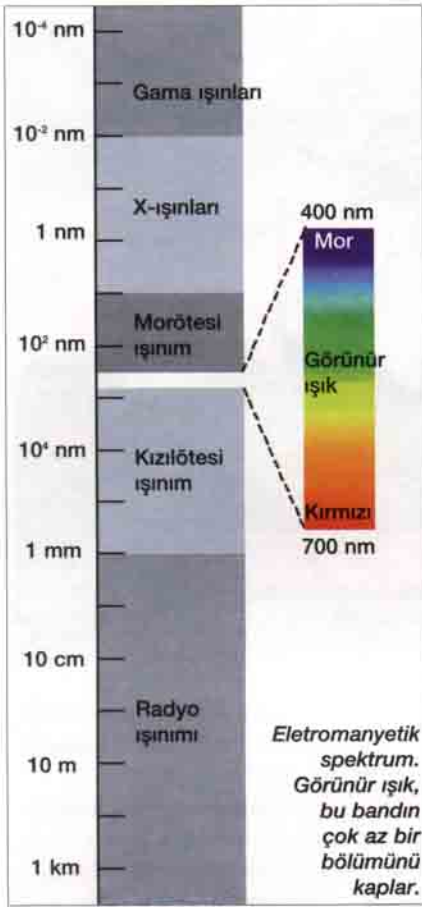
sındaki uzaklıktır. Dalgalıboyunun birimi, genellikle metre, ya da Angstrom'dur ( $\text{\AA}$ ,  $10^{-10}$  metre)

Frekansla dalgalıboyu ters orantılıdır, ikisinin çarpımı ışık hızını verir. Işık hızı sabit olduğuna ve bilindiğine göre, frekansı bilinen bir dalganın dalgalıboyunu; dalgalıboyu bilinen bir dalganın frekansını kolayca hesaplayabiliriz. Elektromanyetik ışınımın tüm çeşitleri (aynı ortamda olma koşuluyla) frekansla çok az değişmekle birlikte hemen hemen aynı hızla, yani ışık hızıyla hareket eder.

Elektromanyetik ışınım, oluşum biçimine göre ikiye ayrılır: *Isıl* (termal) ışınım ve *ısı olmayan* ışınım. Isıl ışınımına örnek olarak, sıcak bir cisimden kaynaklanan ısıtıcı ışınımı gösterebiliriz. Kızgın bir soba gibi sıcak bir cisme yaklaştığımızda, onun sıcak olduğunu, bize gönderdiği, genellikle kızılötesi dalgalıboylarındaki ısı ışınımı yoluyla hissedebiliriz. Aslında, Evren'de bilinen tüm cisimler, bir yandan dışarıdan ısı alırken, bir yandan da ısı olarak ışınım yaparlar. Bu cisimler böylece buldukları sıcaklığı koruyabilirler. Fizikçiler, bu ışınmaya, *karacisim ışınımı* adını verirler. Karacisim ışınımı, 0'dan sonsuza kadar, bütün frekanslarda yayılan bir dağılım gösterir. Herhangi bir sıcaklıkta, bu dağılım Planck formülüyle verilir.



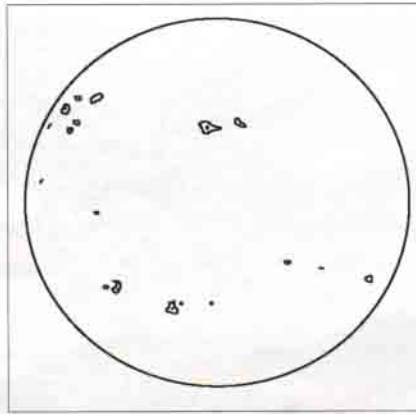
*Karl G. Jansky'nin 1931 yılında, telsiz telefonların anten tasarımları üzerine araştırma yapmak üzere geliştirdiği radyo alıcısı. Bu anten sayesinde, gök cisimlerinin de radyo dalgalıboyunu ısıma yaptıkları keşfedildi.*



Işımanın en çok olduğu dalgaboyu, Wien yasası ile ( $\lambda_{max} = k/\lambda$ ) kolayca hesaplanabilir. Karacismin sıcaklığı arttıkça, tepe noktası yüksek frekanslara (kısa dalgaboylarına) doğru kayar.

Cisimler, sıcaklıklarına göre, farklı dalgaboylarında ışınım yaparlar. Sıcaklık birkaç bin dereceye çıktığında, bu ışınımın bir kısmı da görünür ışığın dalgaboyundadır. Katı cisimlerde, moleküller ve atomlar sürekli titreşirler. Bir gazda ise moleküller çok daha hareketlidir; tek başlarına etrafta dolaşır birbirleriyle çarpışırlar. Moleküllerin ve atomların titreşme hızı, onların sıcaklığına bağlıdır. Madde ne kadar sıcaksa, moleküller o kadar hızlı titreşir ve hareket ederler. Elektromanyetik ışımaysa, bu atom ve moleküllerdeki elektrik yüklerinin (elektron ve iyonların) ivmelenmesi, yani hızlarını ya da hareket yönünü değiştirmesi sonucunda ortaya çıkar.

Elektromanyetik ışınımın, *foton* adı verilen "paketler" biçiminde oluştuğu biliniyor. Her paketin enerjisi, yukarıda sözünü ettiğimiz titreşimlere, yani frekansa (ya da dalgaboyuna) bağlıdır. Titreşim yani fre-



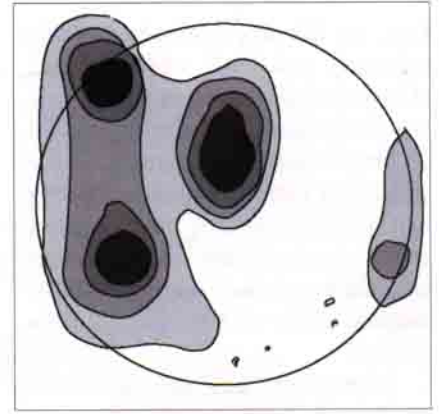
Güneş fırtınaları, 1-60 metre (300-5 MHz) arasında değişen dalgaboylarında ışınım yaparlar. Çok güçlü fırtınaların etkisi, Dünya'dan bile hissedilmektedir. Yukarıda görünür (solda) ve radyo (sağda) frekanslarındaki aktiviteler karşılaştırılmaktadır.

kans ne kadar yüksekse, elektromanyetik ışınımın taşıdığı enerji de o ölçüde yüksek olur.

Evren'de, hiçbir cisim mutlak sıfır denilen sıcaklıkta veya onun altında bir sıcaklıkta olamaz. Mutlak sıfır, sıfır Kelvin (0 K) ya da  $-273,16^\circ\text{C}$ 'dir. Her cisim, mutlak sıfırın üzerinde bir sıcaklığa sahip olduğundan elektromanyetik enerji üretir. Sıcaklığa bağlı olarak, bu enerji artar ya da azalır. Sıcaklık arttıkça, enerjinin frekanslara dağılımı değişir ve yüksek enerjili paketlerin (fotonların) sayısı artar. Kuramsal olarak, Evren'deki tüm cisimlerden çıkan elektromanyetik enerji ölçülebilir.

Isıl olmayan ışınımı oluşturan mekanizma ise, yüklü parçacıkların manyetik alanla karşılaşmasıdır. Yüklü bir parçacık, manyetik alana girdiğinde, manyetik alan onu manyetik kuvvet çizgileri boyunca dairesel ya da spiral hareketler yapmaya zorlar. Bu hareketler sırasında, parçacık ivmelendiği için, ışımaya başlar. Kuasarlar ve atarcalar, bu türden önemli ışınım kaynaklarıdır. Üstelik, yaptıkları radyo ışınımının yanında, görünür ışık, X-ışını ve gama ışını frekanslarında da ışınım yaparlar.

Isıl olmayan ışınımın bir başka kaynağı da maser'lerdir. (Maser: Microwave-Amplified Stimulated Emission of Radiation, uyarılmış ışınım yoluyla mikrodalga genliğinin yükseltilmesi.) Normalde, yıldızlararası ortamda bulunan hidrojen molekülü ( $\text{H}_2$ ), karbon monoksit ( $\text{CO}$ ), su ( $\text{H}_2\text{O}$ ), hidroksil radikali ( $\text{OH}$ ), silisyum monoksit ( $\text{SiO}$ ), metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) gibi çeşitli moleküllerin saptanması pek kolay değildir. An-



cak, bu moleküllerin oluşturduğu bulutlar, gökadalara gibi yoğun ışınım bölgelerine girdiklerinde, güçlü maser kaynağı olurlar.

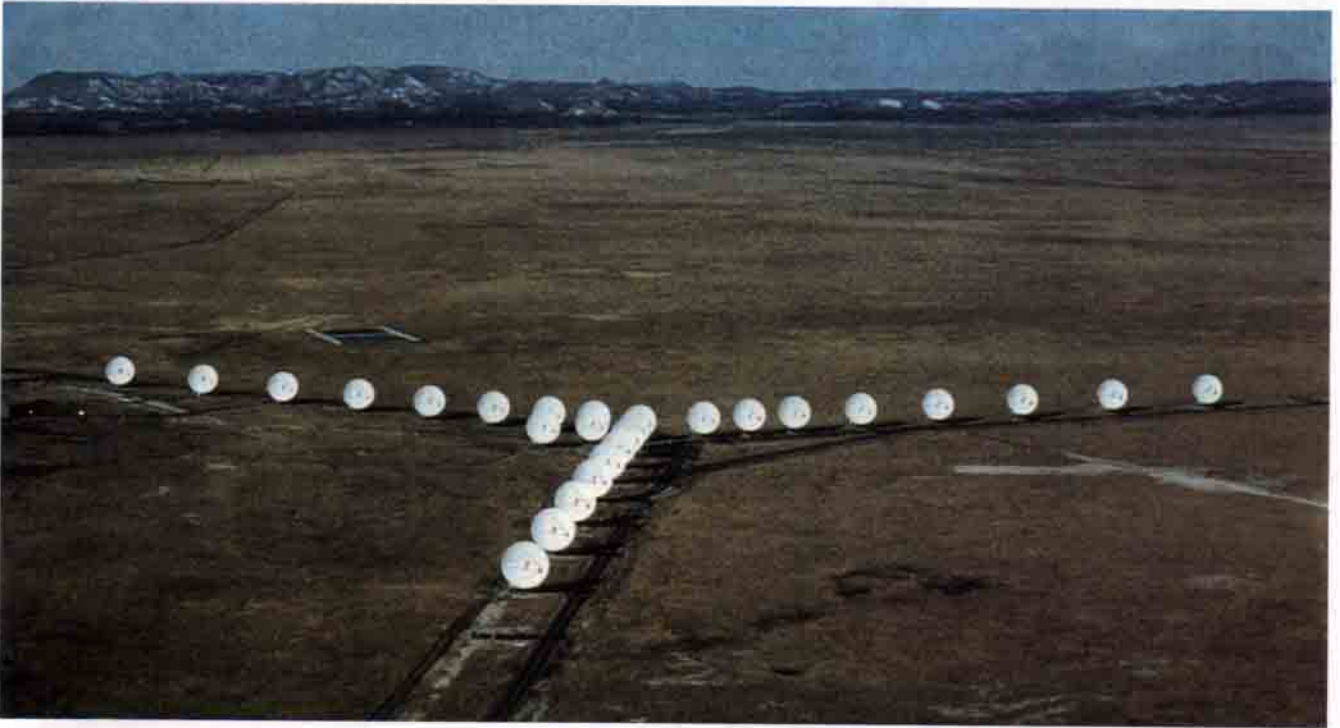
## Evrendeki Radyo Kaynakları

Göze çarpan, yani yeri belirlenebilen elektromanyetik ışınım kaynağına, *belirgin* (discrete) veya *nokta kaynak* adı verilir. Belirgin kaynaklara, verilebilecek örnekler şunlardır: Güneş ve öteki yıldızlar ya da yıldız kümeleri, atarcalar, kuasarlar. Bu kaynaklar, çok yerel (nokta kaynak) olabilirken, daha geniş alanlardan (bulutsu gibi) ışınım yapan bölgeler de olabilir.

Nokta kaynaklar, bir teleskopun ayırt etme gücünün ayrıntıları vermekte yetersiz kaldığı kaynaklardır. Yıldızlar, nokta kaynaklara gösterilebilecek en iyi örneklerdir. Güçlü bir teleskopla baktığımızda bile, yıldız ancak bir nokta ışık kaynağı olarak görürüz.

Gökyüzünde bir alan kaplayan elektromanyetik ışınım kaynaklarına ise yaygın (extended) kaynaklar adı verilir. Bu kaynaklara, Samanyolu'nu, molekül bulutlarını, ya da ışınımın daha yoğun olduğu ve Yay A (Sagittarius A) olarak adlandırılan gökda merkezini örnek gösterebiliriz.

Gözlediğimiz cisim dışında başka kaynaklardan gelen ve algılayıcılarımızın algıladığı ışınım ise arka plan (fon) ışınımı denir. Arka plan ışınımı, genellikle geniş kaynaklardan ya da pek çok nokta kaynağın neden olduğu yaygın görünen ışınım sonucu or-



*New Mexico'daki VLA interferometresi. Bu sistem, dev bir Y biçiminde, her doğrultuda 9'ar teleskop olmak üzere toplam 27 teleskoptan oluşmaktadır. Fotoğrafta, sistem, teleskoplar birbirine en yakın olduğu biçimiyle (600 m çapında) görülüyor. Teleskoplar, birbirinden uzaklaştırıldıklarında, interferometrenin çapı 37 kilometreyi bulabiliyor.*

taya çıkar. Örnek verecek olursak, Samanyolu'nun içerisindeki bir yıldızı inceleyen bir gökbilimci için, Samanyolu, yaygın bir kaynak olmaksansa, arka plan ışınması kaynağı olarak kabul edilebilir. Eğer bu ışımamın kaynağı, gözlediğimiz cisimden daha yakında yer alıyorsa, bu durumda ışımaya ön plan ışınması adı verilir. Örneğin, uzaktaki bir gökadayı gözleyen bir gökbilimci için Samanyolu'nun ışınımını ön plan ışınması kaynağı olarak kabul edilebilir.

Gözle görülebilen binlerce yıldız, aynı zamanda birer radyo ışınması

kaynağıdır. Yıldızların nasıl elektromanyetik ışımaya yaptıklarını anlamak için onları sınıflarına göre ayrı ayrı incelemek gerekir.

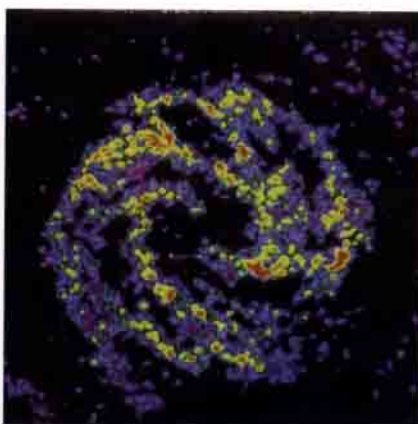
Değişken yıldızlar, yaydıkları ışımamızı zaman içerisinde değiştiren yıldızlardır. (Değişken yıldızlarla ilgili ayrıntılı bilgiyi, dergimizin 364. sayısında bulabilirsiniz). Bu yıldızlar, parlaklıklarını, görebildiğimiz frekanslarda değiştirdikleri kadar, radyo frekanslarında da değiştirirler.

Atarcalar (pulsarlar), kütlesi belli sınırlar arasında kalan yıldızların ölümlü sonucu ortaya çıkan nötron yıl-

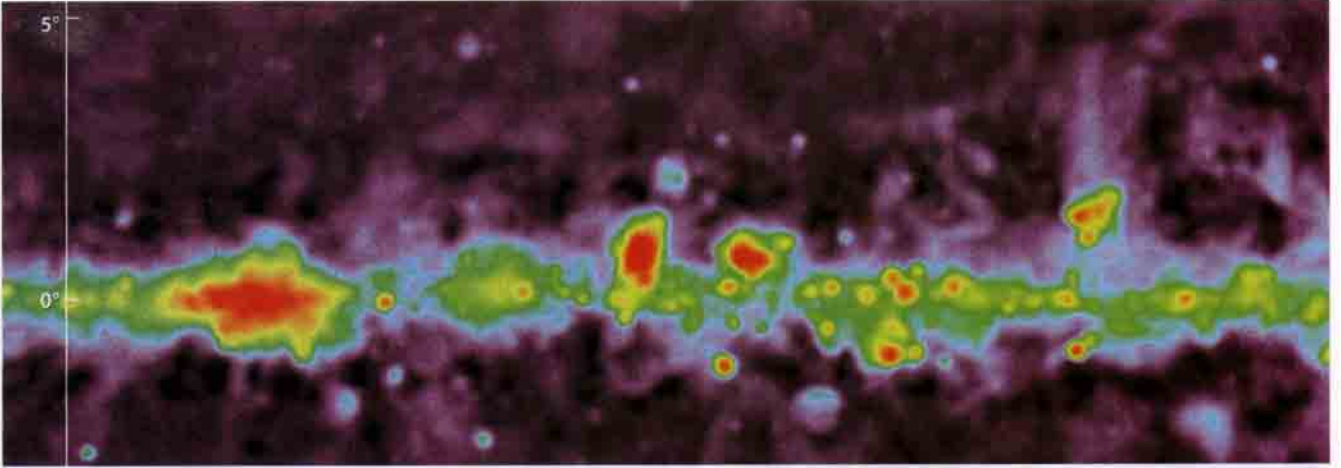
dızlardır. Zıt elektrikle yüklü parçacıklar olan proton ve elektronlar çökme sonucu oluşan yoğun basınçta yıldız içinde sıkışıp birleşerek nötronlara dönüşmüştür. Bunlar o kadar yoğundur ki yoğunlukları suyun yoğunluğunun ( $1 \text{ g/cm}^3$ )  $10^{14}$  (100 trilyon) katı olabilir. Bu yıldızlar, manyetik kutuplarından dışarı yayılan çok güçlü radyo ışınması yaparlar. Eğer bir nötron yıldızının eksenine etrafında dönüşü sırasında, manyetik kutuptan çıkan ışımamızı Dünya'dan geçiyorsa, biz onu atmalar (puls'lar) olarak görürüz. Bu nedenle bu yıldızlara atarca adı verilir. Atarcaların pek azı görünür ya da X-ışını frekansında ışımamızı yaparken, büyük çoğunluğu (1000 kadarı) radyo frekansında ışımamızı yapar.

Dünya'da etkisi en güçlü olan radyo kaynağı kendi yıldızımız Güneş'tir. Güneş patlamaları, çok güçlü radyo ışınımına yol açar. Bu ışınımın, Dünya üzerinde belirgin etkileri olmaktadır.

Samanyolu dışındaki gökadarlar radyo ışınımını bakımından genellikle ikiye ayrılır: *Normal gökadarlar*, *etkin gökadarlar*. Normal gökadarların, çok güçlü kaynaklar oldukları söylenemez. Gökadamız Samanyolu'nun da içinde yer aldığı, Yerel Küme'nin



*M83 olarak adlandırılan bu sarmal gökada, Erboğa Takımyıldızı'nda yer almaktadır ve bizden 12 milyon ışık yılı uzaktadır. Soldaki görüntü, görünür ışığın dalga boyunda alınmıştır. Sarmal kollarda oluşmuş yıldızlar mavi renkleriyle bu kolları aydınlatmaktadır. Soldaki görüntü ise, aynı gökadamın, nötr hidrojenin yaymakta olduğu 21 cm dalgaboyunda alınmıştır. Kırmızı renk, ışınımın en yoğun olduğu bölgeleri göstermektedir.*



Samanyolu'nun bu görüntüsü, Avustralya'da 64 metrelik Parkes Radyo Teleskopu'yla yapılan çalışmalar sonucu oluşturuldu. 12 cm dalgaboyunda yapılan gözlemler sonucunda pek çok süpernova kalıntısı keşfedildi.

en büyük gökadası olan Andromeda'nın radyo dalgaboyunda yaymakta olduğu güç,  $10^{32}$  watt'tır. Buna karşın, güçlü bir kaynak olan Kuğu A (Cygnus A) gökadası  $10^{38}$  watt güç yaymaktadır (Andromeda gökadasının 1 milyon katı).

Aktif gökadalara, radyo gökadalara, kuasarlar, blasarlar ve Seyfert Gökadaları olarak kendi içlerinde çeşitlere ayrılırlar. Radyo gökadalara, çok güçlü radyo dalgaları yayarlar. Bir kuasar, (Quasar: Quasi-stellar radio source, yıldız görünümü radyo kaynağı) tek başına, bir gökadanın bir milyon kez

güçlü radyo ışınımı yayabilir. Kuasarlar, ölçülebilen en uzak cisimlerdir. Onlardan kaynaklanan ısıtım, neredeyse evrenin yaşına (15 milyar yıl) denk bir sürede bize ulaşır. Blasarlar, merkezleri çok parlak gökadalardır. Seyfert Gökadaları ise, tayflarında belirgin emisyon çizgileri (belirli dalga boylarında yoğunlaşan ısıtım) olan gökadalardır.

Yıldızların aksine, gezegenler ve uydularından kaynaklanan radyo ışınımı (aslında Jüpiter ve Satürn'ü bunun dışında tutabiliriz) daha çok siyah cisim ısımasıyla sınırlıdır. Bu

gökcisimlerinin yaydıkları ısıtımın dalgaboyunun ölçülmesi, bize onların yüzey ve değişik iç katmanlarının sıcaklıklarını hesaplamamıza olanak tanır. Radyo gökbilim çalışmalarında en çok üzerinde durulan gezegen, kuşkusuz Jüpiter'dir. Jüpiter'in kütlesi, Dünya'nınkinin 318 katı; manyetik alanı da yaklaşık 30 katıdır. Manyetik alan, Güneş'ten gelen elektrik yüklü parçacıkları yakalar ve yakalanan bu parçacıklar manyetik kutuptan atmosfere girer. Bu hareketler sırasında, ısılmayan, güçlü radyo ışınımı yaparlar. Buna, *Jüpi-*

## Radyo Penceresinden Evren

Renan Pekünlü

Doç.Dr. Ege Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü

Evrene ilişkin bilgilerimizi çeşitli gökcisimlerinin bize gönderdiği fotonlardan derliyoruz. Bu fotonlar erkelerine (enerjilerine) göre, gama, X - ışını, moröte, görsel, kırmızıöte, radyo fotonları olarak adlandırılır. Algıladığımız ışınımın yeşinliği, yeşinliğinin zamanla değişimi, uçuşması (polarizasyonu), sıcaklığı, frekansı, frekansının zamanla değişimi hem kaynağın hem de gözlemciyle kaynak arasındaki yıldızlararası veya gökadalaraarası ortamın içinde bulunduğu fiziksel koşullara ilişkin bilgiler sunar.

Radyo penceresinden algıladığımız fotonlar, üretim süreçlerine bağlı olarak bizi ortamın sıcaklığı, elektron yoğunluğu, manyetik alan yeşinliği, relativistik parçacıkların erke ve sayılan konusunda bilgilendirir. Yer, gezegenlerin çoğu, özellikle Jüpiter, Güneş, yıldızlar, yıldızlararası ortamdaki moleküller, gökadalardan çoğu radyo dalgaları üretir.

Örneğin, Yer çok yeşin radyo dalgaları üreticisidir. Yer'in manyetik uçakları (kutupları) yakınında manyetik alan kuvvet çizgileri boyunca yönlendirilmiş olan elektrik alanları buradaki elektronları ivmelendirir. Bu elektronlar 2 - 10 keV er-

kelere dek yükseltirler. Daha sonra bu elektronlar lazerin mikrodalga bölgesindeki dengi olan mazer süreciyle radyo dalgaları salarlar. Bu tür radyo dalgalarına Auroral Kilometric Radiation (AKR) denir. Bu ışınımın frekansı, iyonosferin kesiklilik frekansından daha düşük olduğundan Yer konuşlu radyo teleskoplarla algılanamaz. AKR'nin varlığı ancak 1970'li yıllarda uydu gözlemleriyle anlaşıldı. Işınımın "parlaklık sıcaklığı"  $10^{10}$  K denlidir. Bunun anlamı şudur : eğer evrende sıcaklığı  $10^{10}$  K olan bir gökcisim bulunsaydı, bu gökcisimin bize ilgili frekansta (kilometrik dalgaboyunda) göndereceği ışınımın yeşinliği AKR yeşinliğinde olacaktı. Ancak evrende bugün bu denli sıcak cisimler yok! Işınımın parlaklık sıcaklığı, o bölgedeki elektron dağılımının "normalden" saptığına işaret eder.

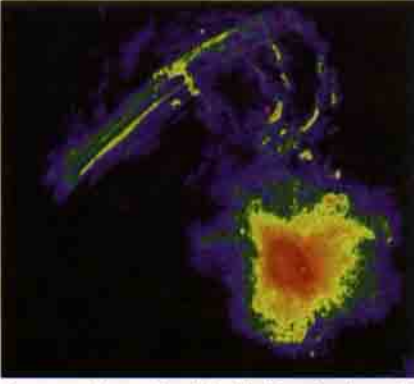
Jüpiter de desimetrik ve dekametrik bölgelerde güçlü radyo üreticisidir. Bu ışınım da doğal süreçlerle üretilmiş ışınımlardır. Özellikle dekametrik radyo dalgaları (DAM) AKR gibi son derece yeşindir. DAM ışınımının salınma zamanıyla Jüpiter'in en içteki uydusu olan Io'nun konumu arasında bir ilişki vardır. Diğer bir deyişle, Io Jüpiter'in DAM ışınımını uyartmaktadır. Bu ışınım da elektronların manyetik alan içindeki devinimlerinden kaynaklanmaktadır.

Güneş de radyo dalgaları konusunda oldukça "cömerttir". Hem durgunken hem de "flare" adı verilen erke boşalmaları sırasında çok geniş bir frekans aralığında radyo dalgaları salar. Bunların içinde en ilginç olanı milisaniye süreyle pat-

lamalı erke gönderen "milisecond spike burst" adı verilen türdür. Bu tür ışınımın parlaklık sıcaklığı  $10^{10}$  K'den çok fazladır. Bu değer yine, elektron dağılımının ilgili bölgede "normalden" saptığına işaret eder. Bu tür dağılımlara "ters topluluk" denir. Lazer'in ve radyo teleskopların odak noktasındaki mazer'in çalışma ilkesinde de böyle bir topluluğun varlığı yatar.

Evrende flare yıldızları olarak adlandırılan yıldızlar vardır. Bu yıldızların zaman zaman durgun durumlarındaki erkelerinin bin katı erkeyi saldıklarına tanık oluyoruz. Bu erke, manyetik alan içindeki dağılımları "normalden" saptmış olan elektronlarca salınır.

Devasa boyutlardaki karanlık molekül bulutları yeni oluşmakta olan yıldızların kozmik doğumudur. İki atomludan 13 atomluya dek 60 molekülün varlığını bu moleküllerin salmış olduğu radyo dalgalarıyla öğreniyoruz. Bunlardan bazılarıyla günlük yaşamımızdan tanışıyoruz: alkol, eter, su, amonyak, karbon monoksit ve asetilen. Görell olarak son zamanların bulgusu olan yıldızlararası moleküller karbon kökenli, diğer bir deyişle, organik moleküllerdir. Bu moleküller Yer'deki tüm yaşam biçimlerimize karşımıza çıkmaktadır. Ancak, bundan 20 yıl önce, Yer'deki yaşamın başlayabilmesi için gerekli olan moleküllerin uzay koşullarında da varolabileceğini kimse öngöremezdi. Ünlü radyo gökbilimcilerden Verschuur'un dediği gibi, "Bu moleküllerde karbon (C), hidrojen (H), azot (N) ve oksijen (O) atomlarının baskın bileşenler olarak bulunması



*Samanyolu merkezinin VLA tarafından elde edilen radyo dalgaboyundaki görüntüleri. Kırmızı renk, en güçlü radyo yayımını, sarıdan maviye değişen renklerle gittikçe zayıflayan radyo yayımını göstermektedir. Soldaki görüntü, gerçekte 250 ışık yıl çapındaki bölgeyi göstermekle birlikte, gökyüzünde dolunay kadar alanı kaplamaktadır. Sağdaki görüntü ise yine Samanyolu merkezinde 30 ışık yıl çapındaki bir bölgeyi göstermektedir.*

ter'in dekametrik ışıması denir. Sattürn de benzeri şekilde, ancak daha zayıf ışıma yapar.

## Radyo Teleskoplar

Grote Reber'in 1937'de yaptığı ilk çanak antenle oluşturduğu Samanyolu haritasından sonra, bilim adamları radyo gökbiliminin önemini kavramaya başladılar. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra, radyo teleskoplar tüm Dünya'ya yayıldı. Bugün, radyo gözlemlerine, neredeyse optik gözlemleri kadar sık rastlanıyor.

Reber'in oluşturduğu ilk radyo teleskop gibi, günümüzün radyo teleskopları da geniş bir parabolik çanak ve bu çanağın odağına yerleştirilmiş bir antenden oluşur. Sistem, optik teleskoplardakine benzer bir biçimde çalışır. Amaç, olabildiğince çok ışınım toplamak ve bunu algılayıcıya yönlendirmektir. Çanağın çapı (daha doğrusu yüzey alanı) ne denli büyük olursa, o ölçüde ışınım toplanmış olur. Çanağın odağındaki antenle alınan sinyaller, bir kontrol merkezine gönderilir; burada yükselttilerek, kaydedilir ve incelenir.

gerçekten çarpıcı bir durum! Çünkü, bu atomlar yaşamın ABC sidir. Kısacası bu dört 'harf' (C, N, O, H) ve fosfor (P) gibisinden, noktalama işaretleri görevi gören bir atom yardımıyla 'sözcükler' (moleküller) ve sözcüklerin yanyana dizilmesiyle 'tümceler' (protein veya DNA molekülleri) oluşturulabilir. En önemlisi de bu tümcelerle bir 'kitap' (tüm canlı türleri) veya bu kitabın bölümleri yazılabilir".

Kaynağından çıkıp yıldızlararası ortamda yayılan radyo dalgaları yıldızlararası ortamda yayılırken bu ortamdaki plazma ve manyetik alanın etkileriyle hem "kişilik yansıması" uğrar hem de değişik frekanstaki sinyaller yere değişik zamanlarda ulaşırlar. Örneğin atarcaların (pulsarların) yüksek frekansta gönderdiği sinyaller düşük frekanstakilere göre yere daha önce ulaşırlar. Eğer diğer dalgaboylarındaki gözlemler bize o kaynak doğrultusundaki elektron yoğunluğunu verirse, biz de sinyal gecikme zamanlarından atarcanın bize olan uzaklığını bulabiliriz. Yıldızlararası ortamdaki manyetize olmuş plazma da radyo sinyalini sağ ve sol dairessel uçlaşmış bileşenlerine ayırır; sinyallerin "kişilik yansıması" budur. Bu iki gözlemsel bilgi bize kaynakla gözlemci arasındaki manyetik alanın yeğinliğine ilişkin bilgi sunar. Böylece, parçalı da olsa gökadamızın manyetik haritasını çıkarabiliriz.

VLA ve VLBI gibisinden açılal çözümlenme güçleri "inanılmaz" boyutlara çıkmış olan radyo teleskop dizileriyle birçok radyo kaynağının haritasını çıkarabiliriz. Bunlar içinden en çarpıcı ola-

nı radyo gökadalandır. Radyo gökadalalarının haritalarında ortak olan yan, özekte (merkezde) sikkik bir cisim; bu cisimden iki yöne doğru akan maddenin jetleri ve jetlerin ucunda, özekteki cisimden 100 - 150 ışık yıl ötede iki şişim (lobe).

Değişik kıtalardaki radyo teleskoplar yer bilim alanında kıtaların kaymasının ölçümlerinde kullanılmaktadır. İlke son derece basittir. Gökyüzünde doğrusal ve açılal uzaklığı bilinen radyo kaynaklarından birisi Güneş'tir. Güneş'in açılal boyutu iki radyo teleskopla son derece duyarlı bir biçimde ölçülebilir. Bu teleskoplar arasındaki uzaklıkla Güneş'in açılal boyutu arasında bir bağıntı vardır. Eğer iki teleskoptan birini Avrupa diğerini Amerika kıtasında seçersek ve aralarındaki uzaklığı da sağlıklı bir biçimde belirlersek belli bir zamanda Güneş'in radyo görüntüsünün açılal boyutunu bulabiliriz. Bir yıl sonraki ölçümlerimiz bize (Güneş'in radyo boyutlarının değişmediğini varsayarsak) Avrupa ve Amerika kıtalarının birbirinden ne denli uzaklaştığını söyler. VLBI ağıyla yapılan böyle bir çalışma, İsveç ile Massachusetts eyaletinin birbirinden yılda 1,7 cm uzaklaştıklarını ortaya çıkarmıştır.

Son olarak şunu söyleyebiliriz: "evrende yalnız mıyız?" sorusu sıkça sorulan bir sorudur. Bilimsel kanıtların henüz olmadığı bu alanda yanıtlar da kuşkusuz spekülalif düzeydedir. Yıldızlararası uzaklıkların ürkütücü boyutları ve teknolojik kısıtlamalar bu tür yolculukları en azından bugün için olanaksız kıyor. 15. yüzyılın deniz aşırı gezginlerine benzer yıldızlararası gezginleri gün-

Başlangıçta, elde edilen görüntüler pek de doyurucu değildi. Çünkü, yapılan teleskopların ayırt etme gücü, iyi görüntüler elde etmek için yetersiz kalıyordu. Özellikle de uzun dalgaboylarında alınan görüntüler çok bulanık oluyordu. Bu nedenle, o sıralar gökbilimciler, radyo teleskoplarının ancak bulanık, belirsiz görüntüler sağlayabileceğini düşündüler. Çok büyük, çapı 30 metreyi aşan çanaklar yapıldı; ancak, bu teleskopların hiçbirisi optik teleskopların elde ettiği kalitede görüntü almak için yeterli olmuyordu.

Daha sonra, bu sorun, çok akıllıca bir yöntemle çözüldü. Görünür ışığın aksine, radyo dalgaları, elektrik kablolarıyla taşınabiliyordu. Bu, bir ya da daha fazla radyo teleskopun birbirine bağlanabileceği anlamına geliyordu. Bu sisteme, *interferometre* adı verildi. Bu teknik sayesinde, birbirinden kilometrelerce uzağa yerleştirilen radyo teleskoplarla alınan sinyaller, uzaklığa uygun düzenlemelerden sonra bir araya getirilerek, gözlenen cismin çok daha keskin bir görüntüsü oluşturulabiliyordu. Elde edilen sonuçlar çok etkileyiciydi. Teleskopların ayırt etme gücü, iki teleskop arasındaki uzaklık kadar bir çapa sahip

müzde destekleyecek bir sponsor bulamayacağımızdan yerötesi canlılara ilişkin bilgilenmeyi uzaktan iletişimle sağlayacağız. Bu konunun başlıca sorusu, "nereye hangi frekanslarda 'bakacağız'?" sorusudur.

Evren'de en bol niceliklerde karşılaşılan element nötr hidrojen. Nötr hidrojen 21 cm (1420 MHz) dalgaboylarında radyo salıcısıdır. Radyo teleskop teknolojisine ulaşmış olan bir uygarlık evrenin en bol ışınım bileşenlerinden biri olan 21 cm fotonlarını algılayabilecek düzeye gelmiş demektir. Eğer biz - Yer'deki uygarlık - bu dalgaboyunu "taşıyıcı" olarak seçer ve özeksel frekansı 21 cm olan dar bir frekans bandına kodlanmış sinyaller yüklersek, seçtiğimiz hedeflerden birinde de bu kodlu sinyal çözecek bir uygarlık varsa iletişime başlayabiliriz. SETI programının özünde de bu varsayımlar yatmaktadır. Ancak bugüne dek SETI'den "İşte oradalar!" çığığı yükselmedi. Bu sessizlik, kuşkusuz, "evren, Yer'deki insanoğlu için yaratılmıştır" gibisinden bir insanözekli (antroposentrik) felsefeyi beslememelidir.

Özet olarak, Evren'e radyo penceresinden bakmak gerçekten heyecan verici. Bu pencere bize değişik gök cisimlerinin ayrıntılı görüntülerinin yanısıra element bolluklarına, elektron dağılımlarına, manyetik alan etkilerine dek bilgiler sunmaktadır. Eğer frekans ve bakılacak yöre konusunda yanlış düşünmüyorsak, aynı pencere bizim olası diğer uygarlıklarla iletişimimizi sağlayacak.

bir teleskopunkine denk oluyordu. Interferometre tekniği, 1940'ların sonlarında keşfedildi. Artık, gökbilimciler, radyo frekansında ışına yayan gök cisimlerinin ayrıntılı görüntülerini elde edebiliyorlardı. Optik teleskopların sağladığından daha iyi sonuçlar elde etmek için, birbirinden binlerce kilometre uzakta yer alan radyo teleskoplar, birbirine bağlanabiliyordu. Böyle bir sistem kullanılarak elde edilebilecek en yüksek ayırtma gücü, iki teleskopun, yer kürenin iki zıt ucuna yerleştirilmesiyle gerçekleşirdi. Bu durumda, radyo dalgaboyunda, 0,00001 ark saniyelik (ortalama bir optik teleskopun görebileceğininin 100 000 katı) bir hassasiyet elde edilebilirdi. Çeşitli ülkelerdeki radyoteleskopların bir anda aynı gök cisimini gözleyerek gerçekleştirdikleri interferometre ağına, *Çok Uzun Erimli Girişim Ağı* (Very Long Baseline Interferometer, VLBI) denir.

New Mexico'da inşa edilen ve 1980 yılında faaliyete geçen interferometre, gösterilebilecek en iyi örneklerden birisidir. VLA (Very Large Array, Çok Büyük Dizi) olarak adlandırılan bu sistem, dev bir Y biçimindedir, her doğrultuda 9'ar teleskop ol-



**Hindistan'daki Büyük Metredalga Radyo Teleskopu, herbiri 45 metre çapında toplam 30 çanak antenden oluşan bir sistemdir. Bu sistem, gökadalara ve yıldız kümelerini oluşturan devasa hidrojen bulutlarının incelenmesinde kullanılıyor.**

mak üzere toplam 27 teleskoptan oluşuyor ve çapı 35 kilometreyi bulabilen bir alanı kaplıyor. Raylar üzerine yerleştirilmiş teleskoplar, birbirlerine istenildiği kadar yaklaştırılıp uzaklaştırılabilir. Böylece, gereksinime uygun çözünürlüklere ulaşılabilir.

VLA, her yıl yaklaşık 600 gökbilimci tarafından, çeşitli projelerde

kullanılıyor. VLA, şu anda yeryüzündeki en güçlü ve en üretken interferometredir. Bu teleskopun radyo frekanslarında elde ettiği görüntüler, yeryüzündeki en büyük optik teleskopların görünür dalgaboyunda elde ettikleri görüntülerle karşılaştırılabilecek kalitededir. Hatta, gökbilimciler, 0,7-1,3 cm dalgaboylarında elde edilen ayırma gücünün, Hubble'ın ayırma gücüne rakip olabileceğini belirtiyorlar.

## 21. Yüzyılda Radyo Gökbilim

Kuyruklu yıldızların moleküler içeriği üzerinde yapılacak araştırmalar, Güneş Sistemi'nin oluşumu ve belki de Dünya'daki yaşamın kaynağı hakkında bilgiler sağlayacak. Gezegenler; özellikle Jüpiter'in uydusu Io'nun volkanik özellikleri gibi, yapılar incelenecek. Arcebo'da kurulmakta olan yeni radar sistemi, gezegen yüzeylerinin haritalanmasında önemli rol oynayacak.

Radyo gökbilimciler, bildiğimiz, normal yıldızlar yanında, teleskoplarını pek sıradan olmayan yıldızlara çevirmeyi çok severler. Bu yıldızların

## Türkiye'de Radyo Gökbilim

Mehmet Emin Özel

Prof.Dr., Marmara Araştırma Merkezi-Uzay Teknolojileri Grubu

Radyo Gökbilim, optik teleskopların aksine, elektrik, makine mühendisliği, haberleşme ve soğutma teknolojileri gibi karmaşık teknolojilerin bir araya getirilmesini gerektirdiği için ülkemizde gelişme olanağı bulamamıştı. Radyo teleskopların görece boyutları ve işletme masrafları da diğer bir engel oluşturuyordu.

Radyoda molekül spektroskopisi çalışmalarını, molekül ışınma çizgilerinin önemli bir bölümünün milimetre ve milimetre altı dalgaboylarında olması nedeni ile bir bölümü küçük çaplı radyo teleskoplarla (1-2 m) gerçekleştirilebilen çalışmalardır. Teleskopun ayırtma gücünü veren (dalgaboyu/çap) oranı 2 metrelik bir radyo teleskop için insan gücü ayırtma kabiliyetine veya 10 cm'de çalışan 50-100 m'lik bir radyo teleskopa (yaklaşık 1 yay dakikası, yani 1/60 derece) yakındır.

TÜBİTAK, 1991 yılında DPT önerisi ile kurulan Uzay Bilim ve Teknolojileri Komitesi (UBİTEK)'in onaylanan çalışma programı çerçevesinde radyo gökbilim çalışmalarını Türkiye'de başlatmak karar almıştır. Önce 14 m çapında

büyükçe bir radyo teleskop projesi için ihaleye çıkmış, ancak maliyetinin yüksekliği nedeniyle (4,5 milyon dolar) bu ihale iptal edilmiştir. Bunun yerine, 1995 yılında, Ukrayna Bilimler Akademisi Radyo Astronomi Enstitüsü'nce önerilen 2 m'lik bir milimetrik teleskop, kısmen BM tarafından finanse edilerek toplam 38 000 Dolara satın alınmış (Benzeri bir teleskopun batı kaynaklı temini için bedel 1 milyon doların üzerindedir) ve Mayıs 1995'te Gebze'de kurulmuştur. Bu dalga boylarında, atmosferdeki su buharı soğurması nedeni ile Gebze en iyi seçim olmakla birlikte başlangıçtaki yoğun lojistik desteği gereği gibi nedenlerle çalışmalara burada başlamıştır. 2 metrelik Marmara Radyo Teleskopu, (MRT-2) olarak isimlendirilen teleskopun kalibrasyon çalışmaları (1995-1996) sonrasında, ülkemizdeki ilk radyo astronomi konulu bilimsel gözlemlere başlanmıştır. Bu gözlemler 1997 Ağustosuna kadar devam etmiştir. Bu tarihte MAM'daki elektrik kesilmelerinin, teleskop gücünü sağlayan sistemi ve ona bağlı sürekli güç kaynağını (UPS) da beklenmedik şekilde bozarak devreden çıkardı. Bu olay sırasında teleskopun alıcı devrelerinde ciddi bir arıza meydana geldi. Halen alıcının tamiri için gerekli kaynağın temini için çalışmalar sürdürülmektedir. Bu dönemde MAM Uzay Teknolojileri Bölümü koordinasyo-



nunda yapılan ülkemizdeki bu ilk radyo gökbilimsel gözlemler TÜBİTAK Tez Destek Programı'nca (TDP) desteklenen 3 tez çalışmasının ve 1 bilimsel makalenin konusu olmuştur. Bu çalışmaların konuları,

1. MRT-2'nin kalibrasyonu ve 100 GHz'de (3mm) Güneş Gözlemleri (Öğrenci ve öğretim üyesi ODTÜ-Fizik Bölümü'nden)
2. 100 GHz'de Ay ve Gezegenlerin Gözlemleri (Öğrenci ve öğretim üyesi AÜ Fen Fakültesi Astronomi Bölümü'nden)
3. 101 ve 110 GHz'de Atmosferik Ozon Çizgisi Gözlemleri (Öğrenci ve öğretim üyesi AÜ Fen Fakültesi Astronomi Bölümü'nden) olmuştur. Bunlar arasında ozon gözlemlerini hedef alan çalışmanın sonuçları TÜBİTAK Turkish Journal of Physics'de yayımlanması kabul edilmiş olup 1998 içinde yayınlanacaktır. Diğer çalışmalar da makale olarak hazırlanmaktadır.

Halen TÜBİTAK'ın Gebze'deki Marmara Araştırma Merkezi'nde bulunan MRT-2 Radyo Teleskopu, MAM'ın temel bilim çalışmalarından bütünü ile vazgeçmesi kararı üzerine, kendisine sahip çıkacak bir üniversite veya kuruluş beklemektedir. Tamiri için gerekli olan 15 000 Dolar'lık kaynağın bulunması sonrasında, MRT-2'nin ya kendisine sahip çıkacak bir üniversiteye veya Antalya'daki Ulusal Gözlemevi arazisinde bir yere taşınarak TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi Enstitüsü (TUGE) bünyesinde işletilmesi uygun çözümler olarak değerlendirilmektedir.

incelenmesindeki yeni gelişmelerde, New Mexico'daki VLA'nın rolü büyük olacak.

Yeni kuşak, milimetre ve daha küçük dalgaboylarında çalışacak radyo teleskoplar, yıldızlararası madde- nin kimyasını inceleyecek. Kimyasal elementlerin evrimi ve organik moleküllerin incelenmesi, Evren'in yapılı- lanması ve yaşamın kaynağı hakkında önemli bilgiler elde etmemize yardımcı olacak.

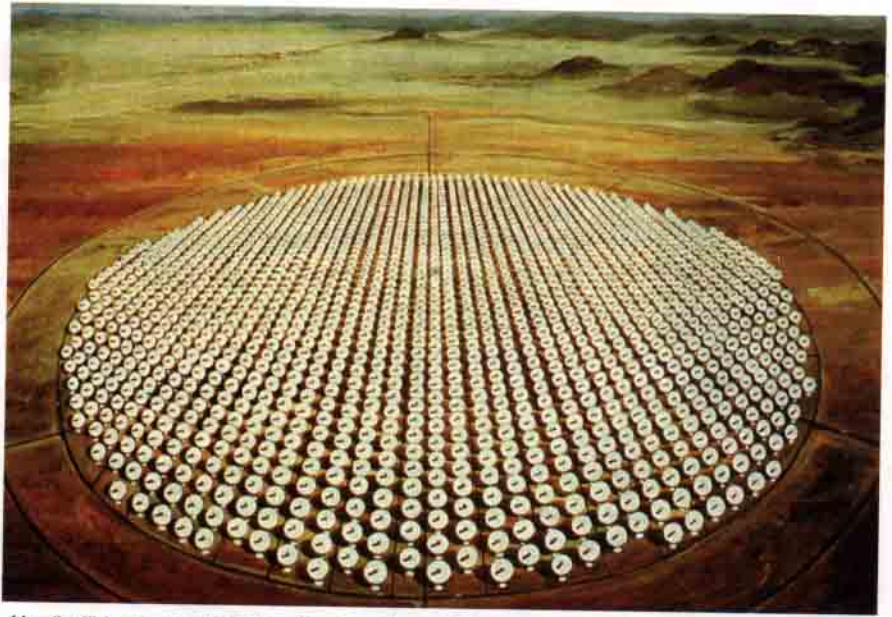
Katı hal üzerine çalışan fizikçiler için, atarcalar, yaklaşık 10 km çaplı yoğun birer kristal olarak, doğal birer laboratuvar görevi görüyor. Bu çok yoğun cisimler, süperiletkenlik, süperakışkanlık ve bir takım çok yoğun kütleçekim etkilerini incelemek için de çok uygun cisimlerdir. Güneş Sistemi dışındaki gezegenlerin varlığı, ilk olarak, Arecibo'daki atarca gözlemleri sonucunda ortaya çıktı.

Araştırmalar, etkin gökadalardan çekirdeklerinde yer alan olaylar üzerinde yoğunlaşacaklar. Moleküler spektroskopik teknikleriyle bu bölgelerde bulunan gaz ve tozun incelenmesi, aktivitenin kaynağının anlaşılmasını sağlayabilir. Çok uzaktaki radyo gökadalardan ve kuasarlarla aramızda bulunan gaz bulutlarının incelenmesi, Evrenin yapısının daha iyi anlaşılmasında büyük role sahip olacak.

## Dünya Dışı Yaşam Araştırmaları

Radyo gökbilim deyince, belki pek çok insanın (özellikle de Carl Sagan'ın Mesaj'ını okumuş ya da filmi- ni izlemiş olanların) aklına, Evren'de yalnız olup olmadığımız sorusu geliyordur. Bu, gerek bilim adamları, gerek filozoflar, ya da normal insanlar tarafından çok tartışılan bir soru. Ancak, soru bilimsel olarak ele alındığında ortaya çıkan cevap neredeyse kesin: Hayır, yalnız değiliz!

İnsanlığın bugünkü teknolojiyle böyle bir soruyu hemen yanıtlayabil- mek için yapabileceği pek fazla bir şey yok. Yapabileceğimiz tek şey, güçlü radyo teleskoplarla, Dünya'ya gelebilecek olası bir radyo sinyalini duymaya çalışmak. 1960'ların başlan- dır bu yana, Dünya dışı bir uygar- lıktan gelebilecek sinyalleri araştır-



*Henüz fikir aşamasında olan Cyclops Projesi. Bu proje, eğer gerçekleşirse, Dünya dışı uygarlıkların araştırılmasındaki en büyük proje olacak. Cyclops Projesi için oluşturulacak radyo alıcıları, 16 km çapında bir alan kaplayacak ve 1000-2500 antenden oluşacak.*

mak için, çeşitli projeler yürütülüyor. Bilim adamları, Dünya dışı bir uygarlığın haberleşme için radyo frekansını kullanmalarının daha büyük olasılık olacağını belirtiyorlar. Çünkü, bu frekanslarda çok uzağa sinyal göndermek için, diğer frekanslara oranla çok daha az enerji gerekiyor. Ayrıca, yıldızlararası ortam, radyo dalgalarına geçirgendir. Aslında, bu iş tam anlamıyla samanlıkta iğne aramaya benziyor. Sadece Samanyolu'nda bile, çevresinde gezegenler bulunması olası milyarlarca yıldız var.

Dünya dışı canlıları radyo frekansında arama fikrini ilk ortaya atan Frank Drake adlı bir gökbilimciydi. Drake, 1960 yılında 30 metrelik radyo teleskopunu yakınımızdaki birkaç Güneş benzeri yıldızla çevirdi. Buralarda bulunabilecek akıllı canlıların, bilimsel nedenlerle nötr hidrojenin yaydığı dalgaboyunu (21 cm) kullanabileceklerini düşündü. Drake, hiçbir sinyal almadı; ancak, onun bu araştırması, SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence, Dünya dışı akıllı canlıları araştırma) disiplininin doğmasını sağladı ve bir dizi başka projelerin oluşturulmasına ön ayak oldu.

1960'larda, Sovyetler birkaç gelişmiş uygarlığın güçlü sinyaller göndereceğini umarak, antenlerini gökyüzünde hemen hemen her yöne çevirdiler. 1970'lerde, pek çok Amerikalı gökbilimciyle birlikte, NASA da Ka-

liforniya'daki Ames Araştırma Merkezi'nde Dünya-dışı akıllı canlıları aramaya başladı. 1984 yılında kurulan SETI Enstitüsü, sayısı 1000'e varan yakınımızdaki Güneş benzeri yıldızları dinlemeye koyuldu. Bunun yanında, SETI programını destekleyen en etkin gruplardan biri de Carl Sagan'ın ölümünden önce başında bulunduğu, Planetary Society'dir.

NASA, yeni yeni yürütmeye başladığı Kökenler Programı'yla, Dünya dışı yaşam olayına daha farklı ve olumlu bir açıdan yaklaşıyor. Bu programın amacı, gezegenlerin oluşumunu ve ne kadar sıklıkta bulunduğunu inceleyerek yaşamın gelişmesi olası gezegen sistemlerini bulmak. Bu araştırma, SETI programlarındaki en akıllıca yöntem olarak görünüyor. Bugüne değin, bu aranan akıllı canlılardan bir sinyal alınamadı; ancak, ilerleyen teknoloji ve araştırma teknikleri sayesinde belki yakın bir gelecekte, varlıklarına dair bir sinyal alırız. Mars'ta yaşamın izleri, Ay'da su bulunması gibi keşifler hep bu yoldaki araştırmaların sürdürülmesi gereğinin göstergesidir.

*Yazma katkılarından dolayı Prof.Dr. Mehmet Emin Özel'e ve Doç.Dr. Renan Pekünlü'ye teşekkür ederiz.*

Alp Akoğlu

Kaynaklar

Miller, D. F., Basics of Radio Astronomy, Jet Propulsion Laboratory (JPL), 1997

Kellermann, K., "Radio Astronomy in the 21st Century" Sky & Telescope, Şubat 1997

Roth, J., "Will The Sun Set on Radio Astronomy?" Sky & Telescope, Nisan 1997

Duncan, R., "A New Look at The Milky Way" Sky & Telescope, Eylül 1997