

AYLIK POPÜLER BİLİM DERGİSİ

# BİLİM ve TEKNİK



# YENİ UFUKLAR

# RADYO ASTRONOMİ

HAZİRAN 2003 SAYISININ ÜCRETSİZ EKİDİR

HAZIRLAYAN : BÜLENT UYANIKER  
Max-Planck Radyo Astronomi Enstitüsü - Bonn, Almanya

GÖKYÜZÜNDEKİ YÜKSEK ENERJİ LABORATUVARI

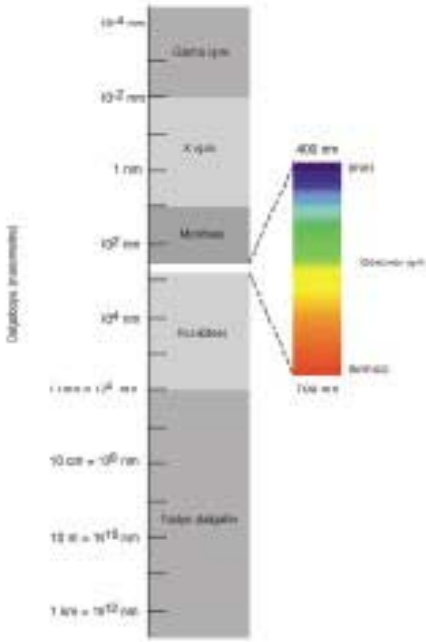
# RADYO DALGALARIYLA BİLİM

Heinrich Hertz 1886'da ilk kez radyo dalgalarını laboratuvarında ürettiğinde hiç kimse radyo ışınımının günlük yaşamda ya da evrenin araştırılmasında tutacağı yerin farkına varmamıştı. Radyo, televizyon yayınlarında ve telsiz haberleşmesindeki istenmeyen parazitin kozmik radyo ışınlarının keşfine yol açacağıniysa hiç kimse aklına bile getirmemişti. Oysa bugün biliyoruz ki, evrende gökyüzüyle ilgileniyor olabilecek tüm gelişmiş uygarlıklar, radyo teknolojisini eninde sonunda keşfedecekler. Çünkü evrendeki elektromanyetik tayfın büyük bir bölümü, radyo dalgaboyunda. Üstelik radyo teknolojisi yalnız haberleşmede vardığımız son gelişme değil, aynı zamanda da varabileceğimiz en son nokta. Çünkü, radyo dalgaları evrende ulaşılacak en yüksek hızda, ışık hızında yayılır! Radyo penceresi, tanıdık birçok gökcisminde yeni bir bakış açısı getirdi. Ama her şeyden önce de bilinmeyen kozmik ışınlar, atarcalar ve kuasarlar gibi birçok olay ve cismin keşfine yol açtı. Evrenin resmi bu buluşlarla zenginleşti; ancak, kolaylaşacağına daha da karmaşıklaştı. Gittikçe daha büyük ve daha duyarlı teleskopların yapılması ve yeni bakış açılarının bulunması, gelecekte beklenmedik bir sürü buluşa yol açacak. Ancak, unutulmaması gereken evreni her zaman sınırlı pencerelerden gözlediğimiz.

# RADYO SÖZLÜĞÜ

## Elektromanyetik Işınım Ne Demek?

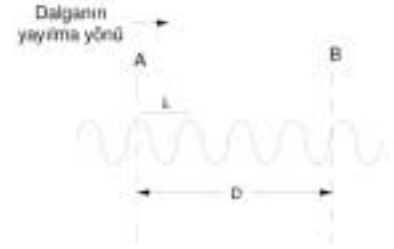
Bir kuvvetin etkisi altındaki bir bölgeyi anlatmak için fizikte "alan" deyi mi kullanılır. Bu kuvvet, o bölge içindeki maddelerin üzerine belirli bir etkide bulunur. Örneğin, Güneş'in dizgesindeki gezegenlerin üzerine etkileyen bir yerçekimsel alanı vardır ve böylelikle gezegenlerin devinimlerini etkiler.



Durağan elektrik yükleri de (örneğin bir elektron) elektrik alanları üretirler. Hareket eden bir elektrik yükü ise hem elektrik alanı, hem de manyetik alan üretir. Bu alanlardaki düzenli yinelenen değişimler elektromanyetik ışınımı oluşturur. Elektromanyetik ışınım, bir noktadan diğerine enerji taşır ve uzayda saniyede 299,792 km hızla yayılır. Bir ışık taneciğine foton deriz. Aslında bildiğimiz ışık, elektromanyetik ışınımın yalnızca bir türüdür. Bu ışınım diğer türleri arasında röntgen (X de denir), mikrodalga, kızıl ötesi, AM/FM radyo dalgaları, mor ötesi gibi ışıklar sayılabilir. Aslında ışınımın özellikleri dalgaboyuna bağlıdır. Gözümüz Güneş'in yaydığı ışığın dalgaboyuna uyum sağladığı için bu ışığı görebiliriz. Oysa, diğer dalga boyundaki ışıkları göremeyiz. Tüm ışıkların oluşturduğu yelpazeye elektromanyetik tayf deriz.

## Frekans ve Dalgaboyu Ne Demek?

Herhangi bir ışınımın frekansından söz ederken, o ışınımın saniyede hangi sıklıkta titreştiğini anlatmak isteriz. Dalga bir saniyede A noktasından B noktasına kadar ilerlemiş ve D kadar yol almış olsun. Bu durumda ışınımın frekansı D aralığında kalan dalga sayı-



sına eşit olur. Bu frekansa karşılık gelen ve şekilde  $\lambda$  ile gösterilen dalgaların genişliğine de dalgaboyu denir. Frekans 1/saniye yada Hz cinsinden, dalgaboyu da uzaklık birimleri cinsinden yazılır. Elektromanyetik tüm dalgalar aynı hızda, ışık hızında, yayılır. Bu arada frekansın dalga boyuyla ters orantılı (frekans= ışık hızı / dalga boyu;  $v=c/\lambda$ ) olduğunu da belirtelim.

## Radyo Işınımının Kaynağı Nedir?

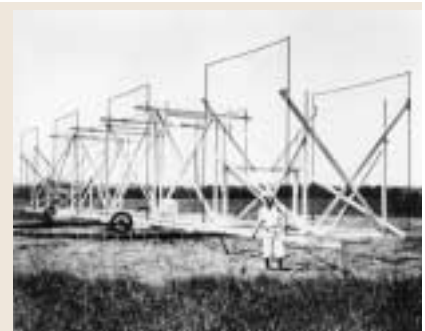
Gök cisimlerinin gaz bulutları ve uzak gökadalalar gibi önemli bir bölümü radyo ışınımı yayar. Bu cisimlerin birçoğunun doğası kesin olarak bilinmiyor. Ancak, kozmik cisimler topluluğundaki sınıflandırmalarını da bize gönderdikleri radyo ışınımı aracılığıyla yapabilmekteyiz. Cisimler farklı olduğu kadar, değişik frekanslardaki görünüşleri de farklıdır. Çünkü, radyo teleskopların çözünüm gücü her fre-

## Herşey Bir Rastlantıyla Başladı

Bell Laboratuvarı 1927 yılında ilk kıtalararası telsiz-telefon bağlantısını kurduğunda, 75 dolar karşılığında New York Londra arasında üç dakikalık görüşmeler yapılabilirdi! Ancak, kalite hışırtıdan dolayı çok düşüktü. Önceleri, bunun kullanılan düşük frekanstan (60 kHz) kaynaklandığı sanılıyordu ve bağlantının daha yüksek bir frekansa yapılmasına karar verildi (10-20 MHz). Yine de bağlantıda belirgin bir düzelme olmadı. Nereden geldiği belli olmayan bu parazitler, bağlantıda sorun olmaya devam ediyordu. Parazitlerin nedenini bulması için Karl Jansky adında bir mühendis görevlendirildi. Jansky, antenini 360 derece dönebilen yatay bir kasnağın üzerine kurdu ve frekansı 20,5 MHz'e ayarladı. 1932'de yazdığı ilk raporunda Jansky hışırtının büyük bir olasılıkla hava durumundan ve şimsek çakmasından kaynaklanabileceğini yazdı. Ancak, hava koşulları iyi

olduğu durumda bile ölçümlenen, sürekli var olan ve kaynağı bilinmeyen bir hışırtı daha vardı. Jansky araştırmalarını sürdürdü ve 1933 yılında gökadamız Samanyolu'nun merkezine yakın bir bölgeden yaygın radyo ışınması geldiğini ve hışırtıların bir kısmından bu ışınımın sorumlu olduğunu buldu. Radyo gökbilimi doğmuştu! Ancak, Jansky ne gözlediğini tam olarak bilmiyordu: 1935 yılında tüm Samanyolu'nu bu radyo ışınımının nedeni olarak görüyordu. Işınım mekanizmalarını doğal olarak bilmiyor ve radyo dalgalarının ya bir grup yıldızdan ya da uzayda bilinmedik bir şeyden gelebileceğini düşünüyordu. Samanyolu'nun radyo ışınımının 20 MHz dolayında yaklaşık en üst düzeyinde olduğunu ve bu frekansta değil yıldızlardan en ufak bir sinyal almak, Güneş'i bile gözlemeyeceğini de elbette bilmiyordu.

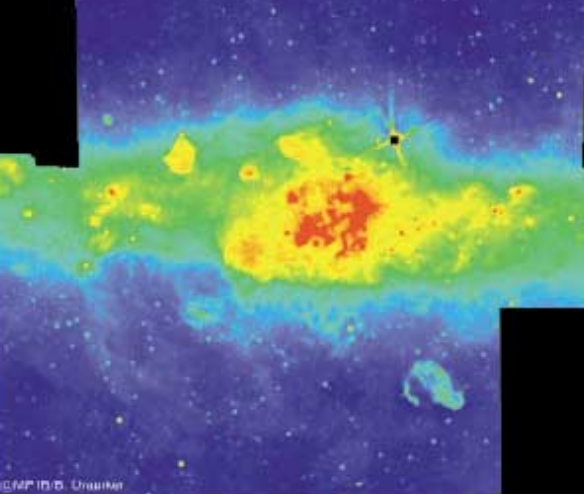
Jansky'nin bu buluşu uzunca bir süre geniş il-



Karl Jansky'nin döner bir kasnak üzerinde kurduğu radyo teleskopların atası ilk anten. Jansky radyo iletişiminde sorun olan parazitleri araştırmak amacıyla kurduğu bu antenle rastlantıyla ilk kez dünya dışından gelen radyo dalgalarını ölçtü.

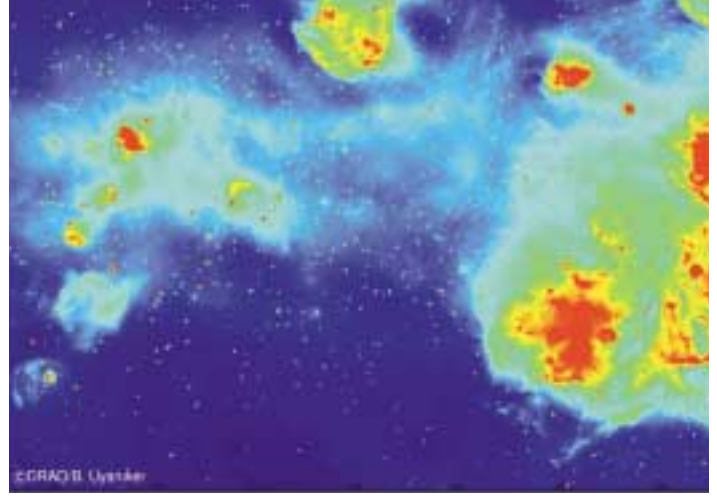
© NRAO/AUI/NSF

gi uyandırmadı. Uzayın bilinmeyen yerlerinden gelen radyo dalgalarına hakkında ilgi gösteren ilk kişi, bir radyofizikçi olan Grote Reber oldu. Re-



**Effelsberg 1400 MHz Gökyüzü Taraması**

Samanyolu'nun spiral kollarından Kuğu bölgesinden gelen radyo ışınımı. Gelişen teknoloji artık Samanyolu'nu daha detaylı incelememizi sağlıyor. 1400 MHz dalgaboyunda Effelsberg 100 metre teleskobuyla gözlenen bu bölge Samanyolu düzlemini ve bölgedeki supernova kalıntılarını gösteriyor. © MPIfR / B. Uyaniker



**Kanada 1,4 GHz Samanyolu Düzlemi Taraması**

Kuğu bölgesinin girişim teleskobuyla elde edilmiş haritası. Penticton DRAO teleskobuyla 1400 MHz de gözlenen bu bölge Samanyolu düzleminin ayrıntılarını gösteriyor. Nokta halinde görülen kaynaklar birer yıldız değil. Bunlar uzak gökadalalar ve kuasarlar. Haritanın üst-ortasında yer alan cisim bir supernova kalıntısı olan HB21. Sağdaki büyük bölge ısı ışınım yapan birçok cismin üstüste görüldüğü Samanyolu'nun Güneş'e en yakın kolu. © DRAO / B. Uyaniker

kansta farklıdır. Teleskoplar genel olarak yüksek frekanslarda daha keskin görüntüler elde eder; ancak, düşük frekanslardaki ışınım daha güçlüdür. Bir cismin değişik frekanslardaki ışınım karakteriyse, cismin doğasına ilişkin bilgi içerir. Değişik fiziksel olaylar, farklı frekanslardaki ışımaya imzasını bırakır ve belirli bir frekans aralığında gözlemlenebilir- tayf çizgileri olarak bilinen atom ve moleküllerin rezonans çizgileri gibi.

En bilindik örnek, yüksüz hidrojen atomunun tayf çizgisi. Hidrojen atomunun bir elektronu vardır ve bu elektron, atom çekirdeği çevresinde tıpkı bir gezegen gibi döner. Bu dönme sırasında elektronun kendi eksenini (spin) belirli bir yöne doğrulmuştur. Atomun titreşimleri sonucunda elektronun eksenini birden tamamıyla tersine döner. Bu koşut ve ters yönler farklı enerji düzeylerine karşılık gelir

ve elektronun bu geçişi sırasında 1420.4 MHz'de (21 cm dalgaboyunda) bir çizgi ışınması oluşur. Bu çizginin genişliği oldukça küçük, ancak ölçülebilecek kadar büyüktür.

Serbest elektronların protonların elektrik alanında yada manyetik alan içindeki hareketleriyse daha geniş bir frekans aralığında ışınım yapar ve birden fazla frekansta gözlemlenebilir (sürekli ışınım). Elektronlar ışığa göre belirgince daha düşük hızlardaysa, buna "ısı ışınım" denir. Söz konusu olan manyetik alan içindeki yüksek enerjili (relativistik) elektronlarsa, o zaman gözlenen "manyetik ışınım"dır (sinkrotron). Değişik frekans bağımlılıklarına (farklı elementlerin çizgileri gibi) karşı gelen ve bu nedenle bütününe "radyo tayfları" denen, ancak burada değinilmeyen başka mekanizmalar da var. Ancak, şimdilik akılda tutulması gereken, çizgi ve sürekli olarak adlan-

dırılan iki temel ışınımın varlığı ve farklı fiziksel olaylardan kaynaklandığı. (Jansky ve Reber'in ölçtükleri sürekli ışınım.) Çizgi ışınımı, moleküllerin doğası üzerine bilgi içerir. Bir bakıma çizgi gözlemleri, evrenin kimyasını okumakla eş değerli. Süreli ışınımaysa yüksek enerjili parçacıkların ivmelenmesi süreci ve manyetik alan araştırmalarını olanaklı kılar. Bir radyo kaynağından gelen ışınım, frekansa bağlı olarak akı yoğunluğu olarak ölçülür. Güneş, Dünya'ya yakınlığından dolayı gökyüzündeki en parlak radyo kaynağı. Gözlenen akı,  $10^{20}$  Watt  $m^{-2}$   $Hz^{-1}$ 'in pek az üzerinde. Güneş'ten sonraki en parlak kaynağın akısı  $10^{23}$  Watt  $m^{-2}$   $Hz^{-1}$ . Bir çok ilginç ve gökbilim için önemli cismin akısı  $10^{30}$  Watt  $m^{-2}$   $Hz^{-1}$ 'e ulaşamaz bile. Radyo gökbilimcileri Watt  $m^{-2}$   $Hz^{-1}$  gibi okunması zor bir akı birimini kısaltıp  $10^{26}$  Watt  $m^{-2}$   $Hz^{-1}$ 'e karşı gelen akıyı Karl

ber, 1937 yılında günümüz radyo teleskoplarının atası olan 9,5 metrelik parabol çanağını kendi olanaklarıyla evinin bahçesinde kurdu. Reber'e teleskobu 1300 dolara mal olmuştu—o zamanlar için hatırı sayılır bir harcama. 9 cm ve 33 cm dalga boyundaki ilk denemeler başarısızlıkla sonuçlandı. Çünkü Reber'in alıcısı bu dalga boylarındaki ışınımı yakalamak için çok ilkel. İki yıl sonra, beklenen başarı 1,9 metre dalga boyunda geldi. 1940 yılındaysa Reber, Samanyolu'nun ilk radyo haritasını yapmıştı.

Harita günümüzdeki ölçümlerle karşılaştırılmazdı; ancak, radyo ışınımının nedenlerini araştıran bilimcileri uyandıracak ilk adım böylece atılmış oldu. Gelgelelim, gökbilimciler radyo antenleri ve alıcılarından hiç mi hiç anlamıyorlardı. Gerekli bilgi ve donanımları olmadan, bu tür konularda çalışmalarını elbette beklenemezdi. Radyofizikçilerin durumu da pek farklı sayılmazdı; yeni bir bilim dalına öncülük eden bu fizikçiler de tam tersine gökbilim üzerine pek az şey biliyorlardı.



Grote Reber'in 9 metrelik radyo anteni NRAO'nun Green Bank yerleşkesinde yenilenmiş biçiminde sergilenmektedir. Bu anten çanak biçiminde yapılmış dünyanın ilk radyo teleskobudur.

© NRAO/AUI/NSF

Belki de şanslı oldukları nokta buydu. Radyo astronominin öncülerinden John Kraus, rastlantısal buluşların ancak doğru donanımla, doğru yerde,

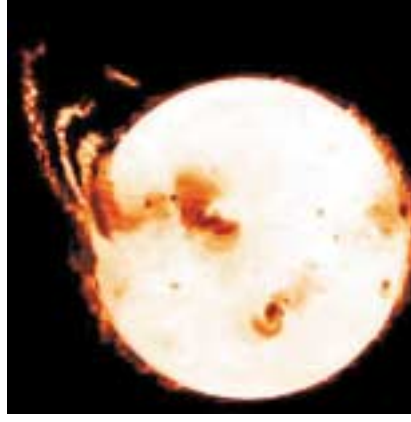
doğru deneyi, doğru zamanda yapmakla gerçekleştirilebileceğini söylüyordu. Tanınmış gökbilimci Hanbury Brown, buna "çok fazla bilmenin" buluşları engelleyeceğini ekliyor: "İnsan çok fazla 'bilirse' kendi alışılmış yolunda ilerlemeyi sürdürür ve dikkati 'yanlış' noktalara pek az kayar!" diyordu. Jansky ise o zamanların tanınmış fizikçisi Edward Appleton'a şöyle yazıyordu: "Benim eğer bu olayda bir hizmetim olmuşsa; bu, beni bilinmeyen parazitlerin gerçek kaynağının bulunması için gerekli olan uzun gözlemlere zorlayan, inatçı merakımın bir açıklama aramasındandır." İşte bu inatçı merak iyi bir bilimcinin en önemli özelliğidir. Radyo gökbiliminin tarihi bu tür görüşte şanslı rastlantılarla dolu olmasına dolu. Ancak, yalnız şans bu tür buluşlar için yeterli değil. Açık düşünebilmek ve başlangıçta anlamsız gözükken ipuçlarını izlemeye hazır olmak da gerekli.

#### **Radyo Penceresi Açılıyor**

İkinci dünya savaşının sonunda, özellikle savaş izleyen birkaç on yılda, radyo gökbilimi ev-

Jansky'nin anısına 1 Jansky (kısaca Jy) olarak birimlendirirler. Bu sayıları anlamlandırabilmek için bir örnek verelim. Ay'ın üzerinde bir astronot cep telefonu ile bizi aramış olsun. Ay'daki telefonunun yaydığı radyo ışınımı, Dünya yüzeyinde 1000 Jy'lik bir akı olarak ölçülür; yani gökyüzünde Güneş'ten sonraki en parlak radyo kaynağı kadar. Bu, aynı zamanda radyo gökbiliminin insan kaynaklı yapay ışımaya nasıl tehdit altında olduğunu da gösteriyor. Neyse ki, gökbilimi için kullanılan frekanslar, görelilik olarak korumaya altındadır ve cep telefonu gibi diğer araçların, örneğin haberleşme uydularının, evimizdeki radyo/tv'lerin, telsizlerin, bu aralıkta çalışması uluslararası yasalarla engellenmiş bulunuyor.

Bildik yıldızlar zayıf radyo kaynaklarıdır. Ölçümlenen radyo ışınması yıldızlardan değil yıldızlararası uzayı dolduran seyrek gazdan gelmektedir. Bu gaz, neredeyse bütünüyle hidrojen ve helyumdan oluşur ve sıcak yıldızların yakınında, on bin dereceye kadar ısıtıldığında plazma durumuna geçer. Yani elektronlar, atom çekirdeklerinden ayrılmıştır ve çekirdeklerin arasında serbestçe dolaşmaktadırlar. Elektronlar atom çekirdeklerine çok yakın geçtiklerinde, bir radyo ışınması salınır. Bu açıklama doğru olmakla birlikte, gözlenen radyo ışınmasının tamamını açıklamakta yetersiz kalıyor. Kiepenheuer radyo ışınmasının ilk doğru açıklamasını yapar: Samanyolu yalnızca sıcak plazmanın yavaş hareket eden parçacıklarıyla dolu bulunmuyor. Son derece yüksek hızlarda devinen başka parçacıklar da var. Bunlara sonradan "kozmetik ışınım" adı verilecektir. Bu parçacıkları ulaştıkları hıza ivmeltirmek için, Güneş'tekine benzer patlamalar, fışkırmalardan yeterli değil. Kozmik ışınımın başlıca nedeni, çok daha hızlı bir madde akıntısıdır.



Güneş'in 10 000 K sıcaklığındaki radyo görüntüsü. Bu sıcaklıkta Güneş'teki diğer oluşumlara oranla daha soğuk olan fışkırmalar görülebiliyor. Yukarıdaki resim 1992 yılının değişik zamanlarında Japonya'daki Nobeyama Güneşölçerileriyle alınmış fışkırmalar ölçümlerinin üst üste konulup, ardından SOHO uydusundan zayıf röntgen ışığında elde edilen Güneş diskinin üzerine yerleştirilmesiyle elde edilmiştir. Güneş diskinin üzerindeki karanlık bölgelere Güneş Lelekeleri adı verilir. © Nobeyama Heliograph

Olasılıklardan biri, süpernova olarak ışıyabilecek büyük kütleli yıldızların patlaması. Süpernova sözcük olarak büyük yeni yıldız anlamına gelir ve tarihsel nedenlerle bu olaya isim olmuştur. Burada yeni bir yıldızın oluşması söz konusu değil; tam tersine, bir yıldız büyük bir patlamayla yok olmakta ve ölümler de içerdiği tüm maddeyi yüksek hızlarda uzaya yaymakta. Bu olayı doğru tanımlayabilecek ad, bu nedenle, yıldız patlaması olmalı. Bu patlamalar, parçacıkları tıpkı yeryüzündeki sinkrotron parçacık hız-

landırıcıları gibi, yüksek hızlara ivmeltirir. Parçacıklar yıldızlararası ortamdaki manyetik alanla karşılaştıklarında sarmal bir yörüngede ilerlemeye ve yavaşlamaya zorlanırlar. Bu yavaşlama nedeniyle yitirilen enerji de elektromanyetik ışımaya olarak salınır. Bu ışımaların radyo penceresinden görülebilmesi için elektronların ışık hızından en fazla milyonda bir kadar az bir hıza ivmelenmiş olması gerekir.

landırıcıları gibi, yüksek hızlara ivmeltirir. Parçacıklar yıldızlararası ortamdaki manyetik alanla karşılaştıklarında sarmal bir yörüngede ilerlemeye ve yavaşlamaya zorlanırlar. Bu yavaşlama nedeniyle yitirilen enerji de elektromanyetik ışımaya olarak salınır. Bu ışımaların radyo penceresinden görülebilmesi için elektronların ışık hızından en fazla milyonda bir kadar az bir hıza ivmelenmiş olması gerekir.

## Güneş Radyo Işınımı Yayar

Güneş'teki radyo ışınmasının ölçülmesi ise ikinci dünya savaşı sırasında bir rastlantı sonucu oldu. Şubat 1942'de İngiliz hava savunmasının radarlarında kuvvetli parazitler görüldüğünde önce bir saldırı olduğu düşünülmüş ancak sonradan ışınımın Güneş'le birlikte gökyüzünde hareket ettiğinin farkına varılmıştı. Bu ışınımın Güneş lekelerinden kaynaklandığıysa çok daha sonra 1946 yılında anlaşılacaktı.

Gerçekten de, lekeleri olmadan Güneş, bize çok yakın olmasına karşın, diğer yıldızlar gibi zayıf bir radyo kaynağı. Radyo ışınımı, Güneş atmosferindeki sıcak gazların ivmelenmesinden doğar. Kimi zaman da büyük Güneş lekelerinde patlamalar oluşur ve bu da manyetik boşalma yoluyla enerji açığa çıkarır. Çağdaş radyo teleskoplar bu patlamalarda manyetik alanın nasıl değiştiğini günlük olarak izlemektedir.

renin araştırılmasında vazgeçilmez bir yöntem olarak büyük bir sıçramayı yerini aldı. İlk radyo gökbilimciler, savaş sırasında radarların geliştirilmesinde çalışan radyo mühendisleri ve fizikçilerdi. İngiltere, Avustralya, Fransa, Hollanda, Amerika ve Kanada, radyo astronominin önemli merkezleri oldular. Özellikle savaşın ardıkdan radarlar kullanılarak, uzayın derinliklerinde araştırma amaçlı ilk ölçümler yapılmaya başlandı. 1946'da Arthur Covington Kanada'da Güneş'ten gelen radyo dalgalarını 10,7 cm'de düzenli olarak izlemeye başladı. Güneş'ten gelen radyo ışınımı, 11 yıllık Güneş lekeleri çevrimiyle uyuyordu ve dahası, bu lekelerin oluştuğu etkin bölgelerde Güneş 1 milyon dereceden daha sıcak olmalıydı. Hollandalı bilimciler, J.H. Oort'un öncülüğünde 7,5 metre çapındaki Alman Würzburg radarlarını kullanarak Samanyolu'nun yapısını incelemeye başladılar.

Cambridge'de yine Würzburg radarları kullanılarak Martin Ryle öncülüğünde parlak radyo



İkinci dünya savaşından sonra bilimsel amaçlı olarak kullanılan Würzburg radarlarından biri. Savaş sırasında bu radarlardan binlerce üretilmişti.

kaynaklarının koordinatlarını belirlemek için çalışmalara başlandı ve ilk kez bir yıldız patlamasının kalıntısı Cas A (Cassiopeia-Kraliçe takımı yıldızının en parlak üyesi) radyoda ölçüldü. Ayrıca, daha önce optikte varlığı bilinmeyen parlak radyo kaynağı Cyg A (Cygnus-Kuşu takımı yıldızının

en parlak üyesi) gözlemlendi. Sonradan, Cyg A'nın optik dalgaboyunda çok zayıf uzak bir gökada olduğu anlaşılacaktı. Savaş sırasında İngiliz radarları sık sık ufka yöneltilir ve V2 uçan bombaların erken uyarısı için kullanılırdı. Daha o zamanlar göktaşı yağmurlarından radar yankıları geldiği biliniyordu. Havada sürtünmeden dolayı yanan göktaşları, çevredeki gazları iyonlaştırıyor ve radar dalgaları bu gazlardan yansıyor. Bu düşünceden yola çıkan Bernard Lovell, kozmik ışınımın yankılarını gözlemek üzere yola koyuldu. Lovell kozmik ışınım yankıları bulamadı; ama fazlasıyla göktaşı yağmuru buldu ve Manchester uzun yıllar göktaşı araştırmalarının merkezi oldu. 1952/53 yıllarında çeşitli gruplarca yapılan ölçümler, gökadamız Samanyolu'nun merkezini yanlış bildiğini ortaya çıkardı ve Uluslararası Astronomi Birliği 1955 yılında Samanyolu'nun merkezini yay (Sagittarius) takımı yıldız yönünde olduğunu ilan etti.

Bu hızlı gelişimin nedenlerinden biri de, op-

# RADYO TELESKOPLARI



Yapımı son zamanlarda bitirilen Amerika'daki Green Bank 100 metre teleskopu, alıcısının yerleştirildiği eksen dışı koluyla çanaktan yansıyan radyo dalgalarını daha az engelleyerek teleskobun duyarlılığını artırmayı hedefliyor. Teleskop NRAO enstitüsü tarafından işletiliyor. © NRAO/AUI/NSF

Bir radyo teleskopun alıcısı, evimizdeki sıradan bir radyoyla hemen hemen aynı işi görür: Önce dinlemek istediğimiz frekanstaki kanal açılır, gelen yayın yakalanır ve duyabileceğimiz kadar kuvvetlendirilir. Radyo teleskopun tek farkı, kozmik cisimlerden gelen yayının çok zayıf olması. Bu da gelen yayının yüz milyon kattan daha fazla kuvvetlendirilmesini gerektirir. Bu nedenle, radyo teleskop alıcıları daha duyarlı yapılmak zorunda ve ileri radyo ve bilgisayar teknolojileri gerektirmekte. Radyo teleskoplar elektronik ve bilgisayar alanlarındaki gereksinimlerinden dolayı bu alanlara da önemli katkılarda bulundular. Elbette antenin büyüklüğü, yani dalgaları toplayan alanın büyüklüğü önemli. Bu nedenle, radyo çanakları olabildiğince büyük yapılmaya çalışılır. Şu sırada dünyanın bütünüyle hareketli en büyük antenleri Almanya Max Planck Enstitüsü'nün 1971 yılından beri işlettiği ve sürekli güncellemelerle hâlâ dünyanın en gelişmiş teleskopları arasında yer alan 100 metrelik Effelsberg teleskopu ve Amerikan Ulusal Radyo Gözlemevi tarafından yapılmış yıllarda bitirilen yine 100 metrelik Green Bank teleskopu. (Daha başka amaçlar için yapılan Porto Riko'daki 300 metrelik Arecibo teleskopu hareketli değil ve yalnızca Dünya döndükçe tepesinden geçen gökyüzünün bir bölümünü gözleyebi-

li.) Ancak antenin büyüklüğünün fiziksel bir sınırı var; 100 metrenin üzerinde bir çaptaki antenler, yerçekiminden dolayı kendi ağırlıkları altında bükülüyor ve parabol şekillerini koruyamıyorlar. Kaldı ki, 100 metrelik çanaklarda bile yüzlerce duyarga aracılığıyla antenin parabol şekli sürekli sabit tutulmaya çalışılıyor.

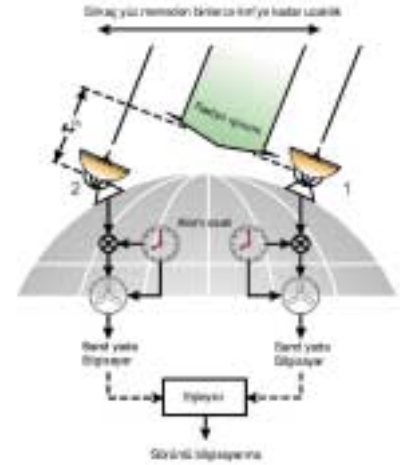
Şimdiki durumlarıyla radyo teleskopların ulaştığı çözünüm gücü, insan gözününkünün üzerinde. Örneğin, 100 metrelik bir çanak 6 milimetre dalga boyunda gökyüzünde açılacak olarak birbirinden 20 yay saniyesi (1 yay saniyesi 1 derecelik açının 3600'de birine karşılık gelir) uzakta iki cismi birbirinden ayırabilir. Karşılaştırma olarak, Jansky'nin anteni yanyana konmuş 60 tane Güneş'i birbirinden ayıramazdı. Jansky'den bu yana çok yol alındı; yine de 20 yay saniyelik çözünüm gücü, optik teleskoplarınkinin oldukça altındadır. Bununla beraber küçük, ancak birden fazla radyo anteninin eşgüdümüyle çalıştırılmasıyla oluşturulan girişim teleskoplarının çözünümü, antenlerinin birbirinden uzaklığıyla doğru orantılı olarak yay saniyesinin kesirlerine kadar inebilir.



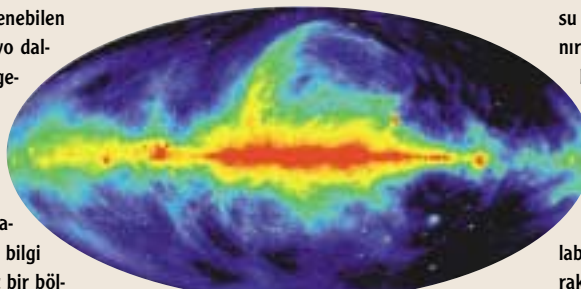
Effelsberg 100 metre radyo teleskopu. Almanya'da Bonn yakınlarında bulunan bu 3200 tonluk dünyanın hareketli en büyük teleskopu Max-Planck Enstitüsü tarafından işletilmektedir. © MPIFR

## Girişim Teleskopları

Optik teleskoplar, atmosfer içindeki minik parçacıkların düzensiz hareketlerinden dolayı 0,5 yay saniyesinden daha fazla çözünümüne ulaşamazlar. Optik bir teleskopu ne kadar büyük yaparsak yapalım, bu çözünümün üzerine çıkamayız. Radyo dalgalarıysa, görünür ışık gibi atmosferden etkilenmez. Bu nedenle radyo teleskoplarının çözünüm gücü atmosfere bağlı olmaz; ancak radyo anteninin çapı ve gözlem yapılan dalga boyuyla sınırlanır. Radyo dalgaları optik ışıktan daha uzun olduğu için de radyo antenleri optik teleskopların ışığı toplayan aynalarından çok daha büyük yapılmak zorundadır. Ancak, mekanik nedenlerle 100 metrenin üzerinde çanağı olan radyo teleskoplar yapılamamakta. Günümüzde çalışan hareketli en büyük teleskoplar



tik ışınının dışında, Dünya'dan gözlenebilen elektromanyetik tayfı incelemek için radyo dalgalarından başka yol olmayıştı. Tayfın geri kalan bütün bölgelerinden gelen ışınmsa havaküre (atmosfer) tarafından yutulmakta. Tayfın tamamına yakınının incelenmesi, ancak uzay uçuşlarının başlamasıyla mümkün oldu; böylece tayfın gama, X, mor ve kızılötesi bölgelerinde de bilgi alınabildi. Ancak şimdiye kadar tayfın hiç bir bölgesi evren üzerine bildiklerimizi radyodaki kadar genişletemedi. Yeni açılan bu radyo penceresinden evrendeki birçok yeni, çarpıcı, başdöndürücü ve kimi hiç bilinmedik fiziksel olay gözlerimizin önüne serildi. Radyo penceresi kabaca 15 MHz ile 600 GHz (20 m ile 0.5 mm) arasında tanımlanır; ancak bu sınırlar coğrafya ve hava koşullarına göre değişiklik gösterir. Örneğin radyo penceresi, deniz düzeyindeki bir teleskop için, iyonküre (iyonosfer) bağlı olarak, yaklaşık 15



Samanyolu'nun 408 MHz frekansında görünüşü. Bu resim dünyanın en büyük teleskoplarıyla (Effelsberg, Parkes ve Jodrell Bank) yaklaşık 15 yıllık bir çaba sonucu elde edilmiştir. Radyo ışınının daha fazla olduğu bölgeler kırmızı ve daha az olduğu bölgeler koyu mavidir. Resmi yatay olarak soldan sağa ikiye bölünmüş bölge Samanyolu'nun düzlemidir. © MPIFR / C.G.T. Haslam

MHz'den başlayıp, havaküredeki diğer kimyasal elementler tarafından, özellikle oksijen (O<sub>2</sub>) ve

su buharı (H<sub>2</sub>O), yaklaşık 100 GHz dolayında sınırlanır. Daha yüksek frekanslarda gözlem yapabilmek için, radyo teleskopların da tıpkı optik kardeşleri gibi yüksek dağlara yerleştirilmesi gerekir. 15 MHz -100 GHz (20 metre ile 3 milimetre) aralığındaysa böyle bir zorunluluk yoktur. Dağdaki bir radyo teleskopla 0,5 milimetre dalgaboyuna kadar ölçüm yapılabilir. 0,1 milimetre ve altındaki ölçümler yaparak radyo penceresini biraz daha genişletmek içinse, teleskopun bir uçağa yerleştirilmesi gerekir. Radyo ve optik pencerelerin kaba bir karşılaştırmasını yapacak olursak radyo ölçümlerinin neden daha geniş olanaklar sunduğu kolayca anlaşılabilir. Optik pencere, metrenin milyonda 0,3'ü ile 0,8'i arasındadır; yani radyo penceresi optikten çok çok daha geniş bir aralığı kapsar (optik pencereden yaklaşık bir milyon kat daha geniş). Radyo penceresinden görünen değişik panoramanın sırrı da bu.

# P NASIL ÇALIŞIR?

1972'de yapılan Effelsberg ve son yıllarda yapılan Green Bank teleskopu. Her iki teleskop da 100 metre çapında. Ancak, teleskopların çapına ve dolayısıyla çözünüm gücüne yerçekiminin getirdiği bu sınırı aşmanın bir yolu var: Çok büyük bir tek anten yerine, eşgüdümlü çalışan birden çok küçük çaplı anten! Girişim ya da sentez teleskopu olarak bilinen bu teleskoplar, ışığın girişimi ilkesine dayanıyor. Birbirinden uzakta duran iki teleskopun algıladığı sinyal birleştirildiğinde, elde edilen çözünüm gücü teleskopların birbirlerine olan uzaklığı çapında bir antenin çözünüm gücüne eş oluyor.

Elbette birbirine bu kadar uzak teleskopların verilerini birleştirmek istediğimizde teleskoplar arasındaki iletişimi artık bilindik yöntemlerle örneğin kabloyla sağlamak imkansızlaşır. Bunun yerine her teleskoptan gelen veri bilgisayar disklerine yazılıp sonra belirli merkezlerde eşlenerek gözlenen cisimlerin haritaları elde edilir. Bu eşlemenin çok dikkatli ve hassas yapılması gerektiğinden, her teleskop gözlem zamanını atom saatleri yardımıyla belirler. Çünkü birbirinden birkaç metre bile uzakta duran antenlere radyo dalgaları farklı yollar katettiği için farklı zamanlarda ulaşır. Eğer teleskoplar aynı yerde birbirinden en fazla 30-40 kilometre uzaklıktaysa, bu tür teleskoplara yalnızca "girişim" teleskopu deriz.

Doğu-batı eksenine yerleştirilmiş bu tür teleskoplara örnek, Kanada'da Herzberg Enstitüsü, Dominyon Radyo Astrofizik Gözlemevi'nin Penticton teleskopu ve Amerikan Ulusal Radyo Gözlemevi'nin Socorro'daki Y biçiminde dizilmiş 25 metrelik 27 tane anteninden oluşmuş VLA (Very Large Array) teleskopu sayılabilir.

Örneğin, VLA teleskobuyla 10 kilometre öteden bir bozuk paranın üzerindeki yazıların okunabileceği bir çözüme ulaşılmış durumda. Bu çözünürlük dünyadaki bütün optik teleskopların gücünün üzerinde. Üstelik, elde edilen görüntü de daha keskin! Optik pencerede, hava hareketleri çözünürlüğe bir sınır getirir; radyodaysa bu engel bulunmaz. Dahası, dünyanın değişik yerlerindeki antenler de aynı yöntemle birarada çalıştırılabilir.

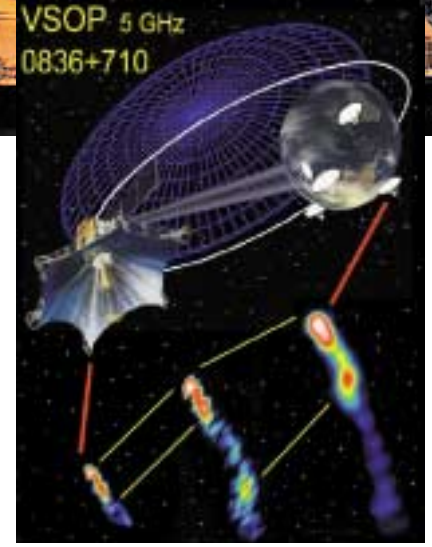
Avrupa'da ve Amerika'daki, birbirinden binlerce kilometre uzak antenlerin eşgüdümüyle oluşturulan geniş tabanlı girişim teleskopu VLBI

Avustralya'daki ATCA girişim teleskopu güney yarıküreden gökyüzü araştırmalarına katılıyor. © CSRIO

(Very Long Baseline Interferometer) ile, yay saniyesinin binde birine kadar ulaşan bir çözünüm elde edilmekte. Bu inanılmaz çözünüm Dünya'dan Ay üzerindeki bir futbol topunu izlemeye eşdeğer. Kıtalararası girişim teleskopları bir anlamda kozmik bir mikroskop gibi uzak gökadalardan kalpleri göz atmamızı da sağlamakta.

Küçük de olsa bir anteni bir uduya koyup havakürenin üst katlarına çıkarıp yedeki antenlerle beraber çalıştırarak oluşturulan uzay tabanlı girişim teleskopu (VLBI Space Observatory Programme) ise, çözünümü daha da ilerilere götürmekte. Yukarıda sözünü ettiğimiz girişim teleskopu esasına dayanarak yapılan VSOP, dünyadan daha büyük bir radyo teleskop gibi çalışmakta ve genellikle çok yüksek çözünüm gücüne gereksinim olan kuasar gözlemleri için kullanılmakta.

Çözünüm daha yüksek frekanslarda gözlem yapılarak da artırılabilir. Elbette çözünümün yanında teleskopun hangi fiziksel bilgileri sağladığı da önemli. Tipik bir radyo haritasında kabuk biçimli yapılarıyla yıldız patlaması kalıntıları (süpernova kalıntısı) ve yıldızlararası hidrojen ve molekül bulutları (çizgi frekanslarında), atarcılar (pulsar) ve uzak bebek gökadalardan (kuasar) görülür. Örneğin kuasarlarda gözlerken daha fazla çözünüm gerekir ve girişim teleskopu kullanmak daha yararlıdır. Süpernova kalıntıları ya da hidrojen bulutları söz konusu olduğunda, ya da gökyüzünde büyük bölgelerden gelen ışınımı ölçmek istediğimizde, tek çanaklı antenleri tercih ederiz. Çünkü bu antenler, daha hızlı ölçüm yapılabilir. Girişim teleskoplarıysa büyük ışınım bölgelerine duyarlıdır. Kimi zaman da her iki teles-



Resimde uzay tabanlı girişim teleskopu görülüyor. Dünya yörüngesine yerleştirilen HALCA (Highly Advanced Laboratory for Communication and Astronomy) uydusu, yeryüzündeki diğer antenlerle girişim teleskopu esasına dayanarak Dünya'nın çapından daha büyük sanal bir teleskop oluşturuyor. Resimde ayrıca bu yöntemle elde edilmiş 0836+710 kodlu bir kuasarnın ölçümleri yer alıyor. Ölçümlerden en sağdaki yeryüzündeki bir girişim teleskopuyla (VLBI) elde edilmiş ve uzay tabanlı teleskop verileriyle karşılaştırılması bakımından ilginç.

koptan gelen verileri birleştirmek gerekir. Böylece hem küçük, hem de büyük ölçekli yapılar hakkında bilgi edinmiş oluruz. Bir noktayı hemen anımsatalım. Samanyolu'nun yıldızları, radyo gökyüzünün alışıldık konukları arasında yer almaz, çünkü radyoda çok sönüktürler. Örneğin, eğer Güneş bize bir kaç ışık yılı uzakta olsaydı hiç bir radyo teleskop tarafından gözlenemezdi!

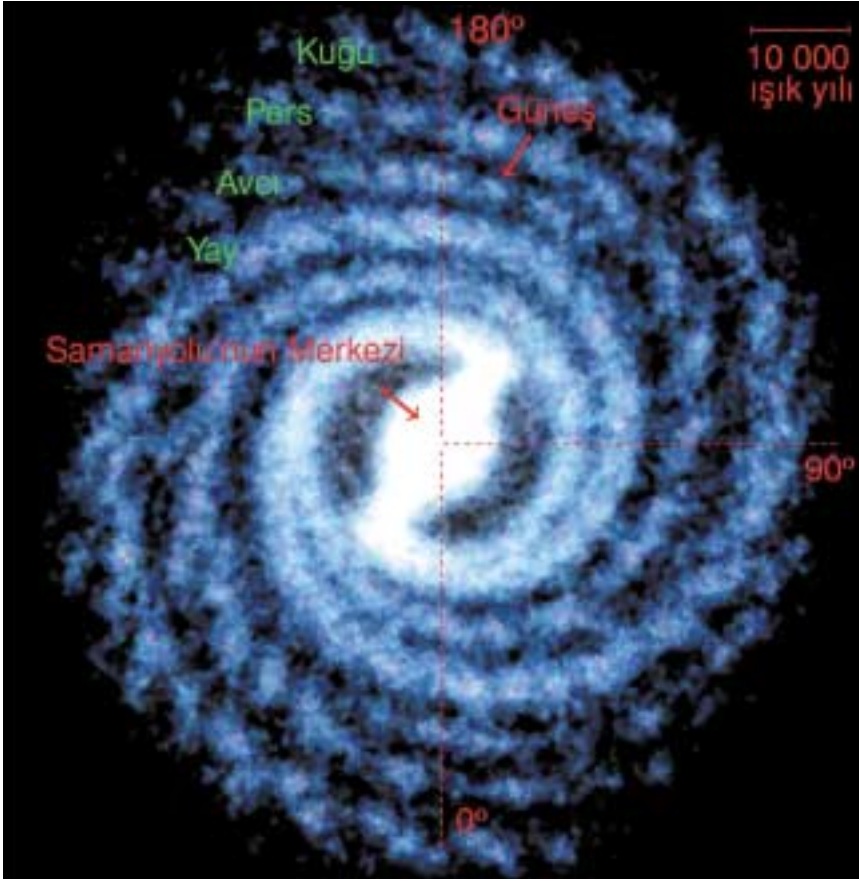


Amerika New Mexico'daki Çok Büyük Dizge (VLA) teleskopu 25 metrelik 27 tane antenden oluşmakta. Teleskop antenlerin değişik uzaklıklara yerleştirilmesiyle farklı çözünüm elde ederek birden çok değişik biçimde kullanılabilir. © NRAO/AUI/NSF



Herzberg Enstitüsü tarafından işletilen Kanada, Penticton'daki DRAO teleskopu. Yedi tane 9 metrelik antenden oluşan bu girişim teleskopu doğu-batı eksenine yerleştirilmiş girişim teleskoplarına bir örnek. Penticton DRAO teleskopu Samanyolu düzlemindeki manyetik alanların, süpernova kalıntılarının ve hidrojen bulutlarının ölçülmesinde kullanılıyor. © DRAO/ A. Gray

# GÖKYÜZÜNÜN GİZLİ RESMİ

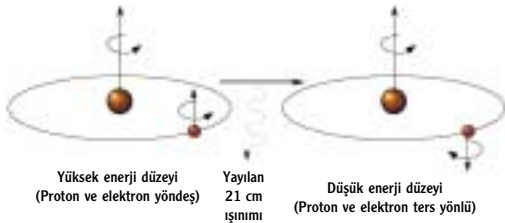


Hidrojenin 21 cm çizgisinden elde edilen verilerle oluşturulmuş Samanyolu modeli. Çizimde Samanyolu'nun dört önemli sarmal kolu Yay, Avcı, Perseus (Kahraman) ve Kuğu belirtilmiş. Güneş, yerel kol da denen Avcı sarmalında yer alıyor. Bu gözlemler sonucu Samanyolu'nun merkezinin gerçek yeri ve şekli ortaya çıkmış ve gökadamızın sarmal bir yapısı olduğu anlaşılmış bulunuyor. Samanyolu'ndaki cisimlerin koordinatları, bu şekildeki gibi saat yönünün tersine ilerleyerek derece cinsinden ölçülüyor.

## 21 cm'de Hidrojenin Çizgi Işıması

Hidrojen atomunun çizgi ışımada daha önce söz etmiştik. Bu çizginin evren için çok özel bir anlamı var. Çünkü, hidrojen evrende en bol bulunan madde ve bu çizginin aracılığıyla Samanyolu ve diğer gökadalardan yapı taşları hakkında bilgi edinmek şansı, radyo gökbiliminin doğmasıyla ortaya çıktı. 1945'te varlığı kuramsal olarak van de Hulst tarafından ileri sürülen hidrojen çizgisinin, 1951'de Amerika, Hollanda ve Avustralya'da neredeyse eşzamanlı gözlenmesinden bu yana Sa-

manyolu hakkında birçok yeni bilgi edinildi. Radyo dalgaları görünür ışığın tersine gaz ve toz bulutları emilmediğinden, gökadamızın derinliklerine bakılmaya başlandı ve Samanyolu'nun yüz bin ışık yılı çapında sarmal bir gökada olduğu ortaya çıktı. Üstelik, Samanyolu içindeki bulutlar da Samanyolu ekseninde dönüyordu ve bu cisimlerin uzaklıkları 21 cm çizgi gözlemlerinden Doppler etkisi yardımıyla elde edilebiliyordu. Çünkü bizden uzaklaşan hidrojen bulutlarının ışım frekanslarında bir azalma görülüyordu.



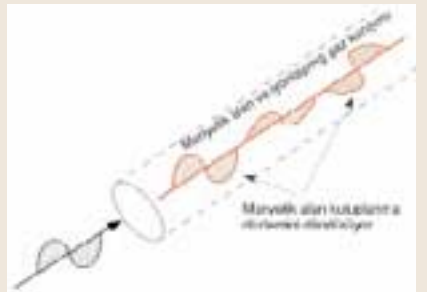
Hidrojen çizgi ışımada elektronun protonla aynı yönde olan eksenini değiştirmesi sonucu oluşuyor. Böylece hidrojen atomu yüksek enerji konumundan düşük enerji konumuna geçiyor ve aradaki enerji farkı ışınım olarak yalnızca 21 santimetre dalga boyunda yayılıyor.



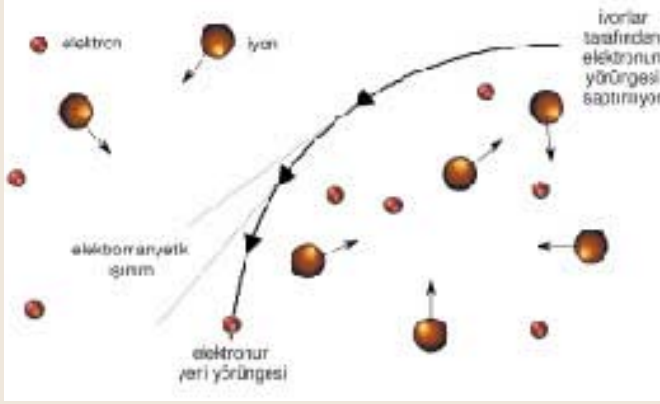
Evrende görülebilir maddenin yaklaşık yüzde 80'i hidrojen. Büyük patlama kuramına göre hidrojen, evrenin ilk anlarında oluştu ve evren genişleyip soğudukça birkaç milyon ışık yılı büyüklüğünde bulutlar halinde bir araya toplandı. Ardından birkaç yüz bin ışık yılı büyüklüğünde parçalara ayrıldı ve günümüzdeki, Samanyolu da dahil, gökadalardan oluşmasına yol açtı. Hidrojenin gökadalardan içindeki parçalanması sürdü ve gaz bulutlarının çarpışması sonucu yıldızlar oluştu. Saman-

## Faraday Dönmesi

Bir ışınım, ya da ışık, daha çok belirli bir yönde salınırsa o ışınım kutuplanmış demektir. Kutuplanmış ışık, eğer içinde iyonlaşmış gaz bulunan bir manyetik alandan geçerse, salınım düzlemi manyetik alanın şiddeti ve serbest elektronların miktarıyla doğru orantılı olarak dönmeye başlar. Bu etki, en çok radyo dalgalarında belirgin olarak ölçülebiliyor. Işığın bu salınım yönlerinin ölçülmesi sonucu, manyetik alanların varlığı anlaşılabilir. İlginçtir ki, ışığın salındığı tüm yönlerin ölçülmesi anlamına gelen toplam radyo ışınımı ölçümleri kutuplanma ölçümleri gibi manyetik alana duyarlı değil. Bir anlamda radyo dalgasının tüm salınım yönlerini toplarsak manyetik alan bilgisini kaybediyoruz. Yalnızca salınımın tek tek bileşenlerini ölçtüğümüzde manyetik alanların varlığını anlayabiliyoruz.



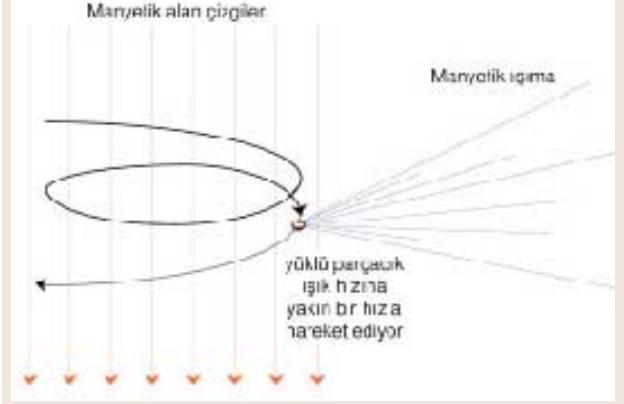
## Isıl ışıma nasıl oluşuyor?



Yıldızlar tarafından ısıtılan atomlar, elektronlarını kaybederek iyonlaşıyor. Bunun sonucu, yıldızlararası ortamda serbest olarak dolaşan bir elektron denizi oluşuyor.

Bu serbest elektronların yörüngelerinin iyonlar tarafından saptırılması sonucu elektromanyetik ışınım oluşuyor. Bu biçimde oluşan ışımamın temelinde ısı yoluyla atomların iyonlaşması yattığı için bu tür ışımaya "Isıl frenleme ışımamı" yada Bremsstrahlung adı veriliyor. Bu tür bir ışıma görüldüğünde bunun sıcak bir bölgeden geldiği anlaşılıyor.

## Manyetik ışımamın oluşması



Yıldızlararası ortam, tıpkı bir mıknatıs gibi manyetik alan içeriyor. Eğer elektronlar bu alanın içine ışık hızına yakın bir hızla girerlerse manyetik alanın etkisiyle sarmal yörüngeler çizmeye başlıyor ve manyetik ışınım salınıyor. Bu yeryüzündeki parçacık hızlandırıcılarından (synchrotron) bildiğimiz bir etki. Bu nedenle manyetik yada sinkrotron ışımamı olarak adlandırılıyor. Bu tür bir ışınım ölçüldüğünde ışınımın manyetik alan bölgelerinden geldiği anlaşılıyor. Süpernova kalıntıları, manyetik ışınımın ölçüldüğü cisimlere bir örnek olarak verilebilir.

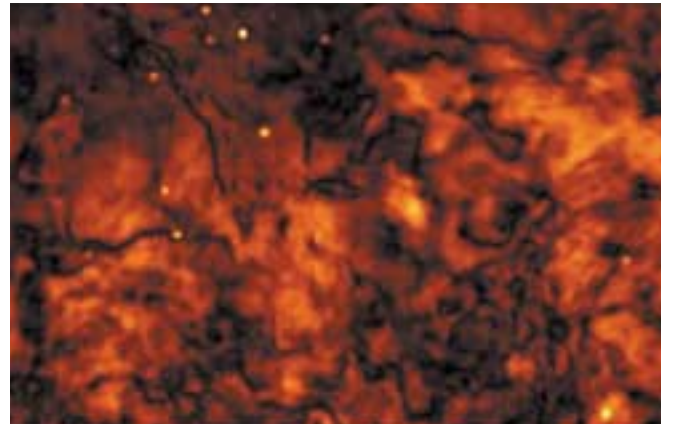
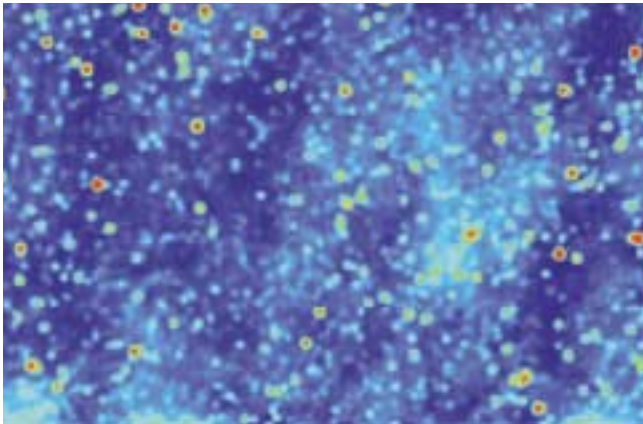
yolu'nda, diğer gökadalarda olduğu gibi yıldızların arası, sürekli devinim ve evrime karşın yine de belirli bir kütleyle ulaşmadığı için yıldızlaşamamış hidrojen bulutlarıyla dolu. Bu bulutların incelenmesi, Samanyolu'nun yapısının anlaşılması için büyük önem taşımakta. Samanyolu, düşündüğümüzden çok daha enerjik ve hareketli. Yandaki resimde Samanyolu düzleminin dışarı doğru fışkırtmasına çıkıp bir mantar şeklini alan bir hidrojen bulutu (üstte) yer almakta. Görüntü, hidrojenin 21 cm çizgi ışımamında DRAO teleskobuyla elde edilmiş. Hemen altındaki resimse, bir atom bombası denemesi sırasında çekilmiş. Aradaki benzerlik çok şaşırtıcı. Ancak, iki olay arasında çok önemli bir fark var. 500 tane Güneş'in enerjisine sahip bu hidrojen bulutunun enerjisi, atom bombasınınkinden çok daha fazla!

### Samanyolu'nda Manyetik Alan

Işık, elektromanyetik bir dalga olduğundan

yayıma yönüne dik bir şekilde salınır. Bu salınım eğer belirli bir yönde ise, ışık kutuplanmıştır. Eğer kutuplanma bir düzlemlle sınırlıysa, ışık doğrusal kutuplanmış olur. Gözümüz, ışığın kutuplanmasına neredeyse duyuarsız; çünkü Güneş'ten gelen "doğal ışık" kutupsuzdur. Örneğin, polaroid fotoğraf filmi, ışığın kutuplanması temeline göre çalışır. Arı gibi bazı canlıların kutuplanmış ışığa duyarlı olduğu biliniyor. Uzaydan gelen kutuplanmış ışımamsa, içinden geçtiği ortamı "hatırlar" ve radyo dalgaboyunda yıldızlararası ortam hakkında bilgi taşır. Relativistik (ışık hızına çok yakın) hızlarda manyetik alan içinde hareket eden elektronların oluşturduğu manyetik ışıma, (synchrotron) böylece yıldızlararası ortam, yıldız patlaması kalıntıları, atarcalar ve kuvvetli şoklar hakkında bilgi içeriyor.

Dünya ve Güneş gibi cisimler de birer mıknatıs gibi davranırlar; ancak Samanyolu'ndaki manyetik alan, alışageldiğimiz, sıradan mıknatıslardan farklı işler. Bu alan, gökcisimlerinin dönmesi ve gökadalarda içindeki gazların akışkan (hidrodinamik) hareketleriyle ilişkili. Gaz yoğunluğundaki değişimler ve düzensizliklerden dolayı, elektrik alan son derece karmaşık ve bu elektrik akımların doğrudan gözlemleri ancak radyo dalgaboyunda doğrusal kutuplanma ölçümleriyle yapılabiliyor. Ancak, bu ölçümler gözlemsel gökbilimin teknik olarak en çok zorlandığı alanlar arasında. Günümüz teknolojisine koşut olarak gelişen radyo alıcıları sayesinde teknik zorluklar aşılmaya başlandı ve son yıllarda yapılan kutuplanma gözlemleri yıldızlararası ortama yeni bir pencere açtı. Bu gözlemlerde, gökyüzünün herhangi bir bölgesine çevrilen radyo anteni, eş zamanlı olarak gelen sürekli ışınım akısını yönlendirmesine (kutuplanmasına) göre ayırır ve kaydeder. Ölçülen toplam akı, ısı ve manyetik ışımamın toplamı. Toplam ışınımın kutuplanmış bileşeni ise, manyetik alan ve Faraday dönmesi bilgisini içeriyor.



Samanyolu'nun 1400 MHz de Effelsberg teleskobuyla yapılmış toplam ışınım (üstte) ve kutuplanma gözlemleri. İki harita da Samanyolu'nda aynı bölgeyi, aynı dalgaboyunda gösteriyor olmasına karşın, birbirinden çok farklı özelliklere sahip. Bu farkın nedeni, alışageldiğimiz toplam radyo ışınımının Faraday dönmesine uğramaması. Radyo ışınımının kutuplanmış bileşeni ise Faraday dönmesinden etkilenir. Bu resim Samanyolu'ndaki manyetik alanın nasıl çalkantılı olduğunu gösteriyor. Kutuplanma gözlemleri çağdaş anlamda son yıllarda yapılmaya başlandı. Çünkü bu ölçümler, gözlemsel gökbilimin en zor alanlarından biri. Ancak, şimdilik yıldızlararası manyetik alanları doğrudan ölçülebilen en etkin yöntem, kutuplanma ölçümleri. © MPIfR / B. Uyaniker



Kraliçe A: bize 11 bin ışık yılı uzakta ve yaklaşık 300 yıl önce patlayan bir yıldızdan ardakalan madde. Süpernova kalıntısının bu radyo resmi VLA teleskobuyla üç ayrı frekansta (1,4, 5,0 ve 8,4 GHz) gözlemlerinden oluşuyor. © NRAO/AUI/NSF

### Evrenin Kimyası Radyo Dalgalarından Okunuyor

Samanyolu'ndaki soğuk gaz, yıldızların hammaddesi. 21 cm çizgisinde gözlenen hidrojen bulutları yaklaşık 100 kelvin sıcaklığında (0 kelvin -273 santigrad dereceye karşılık gelir) kararlı yapılar ve yıldız oluşumuna elverişli değiller. Yıldızların oluşabilmesi için 20 kelvinden daha düşük sıcaklıklar gerekir. Bu düşük sıcaklıktaysa, artık hidrojen atomuna rastlanmaz; hidrojen molekül halindedir ve radyo dalgası yaymaz. Ancak, bu hidrojen molekülü bulutlarının içinde başka moleküller de olur ve hidrojen molekülleriyle çarpışarak enerji kazanıp, çizgi ışınması yayırlar. Böyle bir molekül olan hidroksil (OH) 1963 yılında 18 cm dalga boyunda gözlemlendi ve bunu amonyak ( $\text{NH}_3$ , 1,3 cm de), formaldehid ( $\text{H}_2\text{CO}$ , 6,2 cm de), su buharı ve karbonmonoksit ( $\text{CO}$ , 2,6 mm de) ölçümleri izledi. Karbonmonoksit bulutlarının özellikle Samanyolu'nun merkezine doğru daha yoğunlaşması, Samanyolu'nun merkezinde bir karadeliğin varlığına yönelik kuşkuları artırdı. Yıldızlararası ortamda kompleks organik moleküller de gözlemlendi ve hatta formik asit ( $\text{HCOOCH}_3$ , 18cm de) ve alkolün ( $\text{CH}_3\text{OH}$ , 36 cm de) varlığı ortaya çıktı. Bu moleküller, yalnızca soğuk ve çok yoğun bulutlarda var olabilirler ve aynı zamanda eşsiz birer ısıölçer (termometre) ve basınçölçer (manometre) gibi, buldukları ortamın özelliklerini yansıtır. Bu tür soğuk bulutlarda 60'ın üzerinde molekül değişik frekanslarda gözlemlenmiş bulunuyor. Bu bulutlar, yıldızların doğum yerleri. Bu moleküllerin enerji düzeylerindeki çatlama (Zeeman çatlama) elde edilen manyetik alan bilgisi, yıldız oluşumunun habercisi. Yıldızlararası kalın toz perdesi, ne yazık ki bu bölgeleri optik teleskoplarla incelememizi engelliyor. Oluşum evresi radyoda gözlenirken, yıldız oluşur oluşmaz artık radyo penceresinden görülmez olur. Ancak, optik penceresinde yeni bir yıldız belirir! Yıldız eğer büyük kütleliyse (Güneş'in 4 katı ya da daha büyük) birkaç milyon yıl sonra ömrünü tamamlar ve bir patlamayla yeniden radyo penceresine döner. Samanyolu'nda son 300 yıldır yıldız patlaması görülmemiş olmakla birlikte, 50 yılda bir yıldızın Samanyolu'nun herhangi bir yerinde patladığı düşünülüyor. Diğer gökada-

lardaysa birçok yıldız patlaması gözlenmiş. Bunlardan belki de en ilginç 1987 yılında Büyük Macellan Bulutu'ndaki (güney yarıküreden görülebilen, Samanyolu'nu da içeren yerel grubun bize en yakın üyesi) patlama. Çünkü patlamanın detayları ve kalıntının evrimi günbegün izlenebildi.

### Bir Yıldız Patlıyor (Süpernova)

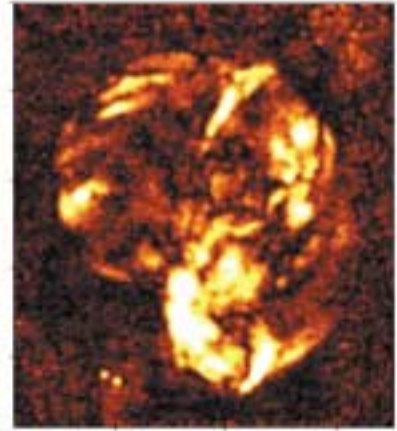
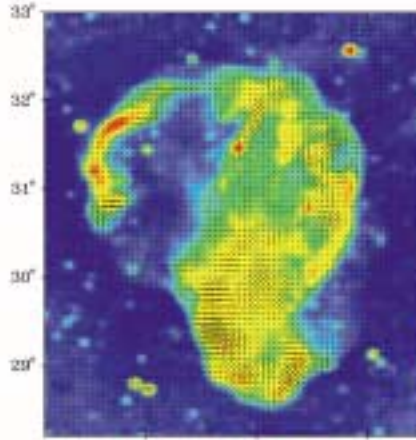
Bir yıldız patlamasından sonra yıldızın kalıntıları yaklaşık saniyede 10 000 km hızla yıldızlararası ortama saçılır ve patlamanın yarattığı şokla beraber çevresindeki gaz ve manyetik alanı, tıpkı bir kar küreme makinesi gibi küreyerek ilerler. Giderek daha fazla madde şok dalgasının önünde birikir ve burada gittikçe daha fazla yüklü parçacık imelenerek radyo dalgası yaymaya başlar. Yaklaşık yüz yıl kadar sonra, patlamanın hızı kesilmeye başlar ve ortalama yüzbin yıl sonra da bu görkemli gösteri sona erer. Patlamanın ürettiği parçacıklar dağılıp uzaydaki kozmik ışınımaya karışır ve yıldızdan ardakalan gaz da yavaş yavaş Samanyolu bulutlarına karışıp gider. Radyo penceresi, şimdiye kadar birkaç yüz patlamanın kalıntısına tanıklık etmemizi sağladı.

Bu patlamalar gökadalara enerji sağlar, yıldızlararası gazı ısıtır, kozmik ışınlar üretir, yıldız

oluşumunu tetikler ve yıldızların içlerindeki ağır elementlerin evrene saçılmasını sağlar. Bu ağır elementler sonradan Dünya benzeri gezegenlerin oluşmasında önemli bir yer tutacaktır. Bedenimizdeki demirin de böyle bir patlamayla oluştuğu düşünülürse, bizim de yıldız tozundan oluştuğumuz rahatlıkla söylenebilir. Bu patlamaların araştırılması bir bakıma kozmik madde çevriminin incelenmesidir.

Radyo gökyüzünde Güneş'ten sonra en parlak cisim, bir yıldız patlaması kalıntısı (Güneş bize yakınlığından dolayı görünür ışıktan da en parlak cisimdir). Bu cisim Kraliçe (Cassiopeia) takımyıldızındaki en parlak radyo kaynağı olduğundan Cas A olarak adlandırılıyor (Radyoda, optikteki benzer bir şekilde, cisimler buldukları takımyıldızlara göre adlandırılır. Takımyıldızın içindeki radyo kaynaklarına, birbirinden ayırmak için, en parlğından başlayarak A, B, C gibi birer de harf eklenir.) Yaklaşık 10 000 ışık yılı uzaktaki bu cisim, optik dalgaboyundaya çok zayıf; çünkü, görünür ışık cismin önündeki toz bulutlarının yutulmakta. Ancak, radyo dalgaları bu bulutların arasından etkilenmeden geçtiğinden, radyoda resimdeki gibi etkileyici görüntüler elde ediliyor. Radyoda Cas A'nın patlama sonucu çevreye saçılmış gaz halkası ve şok dalgasının oluşturduğu iplikli filamentler açıkça görünür. Bu filamentlerin patlamanın merkezinden uzaklaşma hızı ölçülerek, patlamanın 1667 yılında olduğu bulundu. Bir yıldızın kalıntısı, patladıktan yaklaşık 350 yıl sonra kozmik havai fişeklerin nasıl imlendiğinin en güzel örneklerinden birini sunuyor.

Yıldız patlaması kalıntıları kuvvetli manyetik alan kaynaklarıdır. Resimde görülen ve Kuğu Halkası (Cygnus Loop) olarak bilinen kalıntı da 11 cm dalgaboyunda Effelsberg teleskobuyla yapılan kutuplanma ölçümleri, manyetik alanın cisim üzerinde nasıl dağıldığını gösteriyor. Solda, toplam radyo ışınması ve sağda, aynı bölgeden elde edilen kutuplanma ölçümleri görülüyor. Sol resimdeki vektörler elektrik alanın doğrultusunu gösteriyor. Nokta halinde görülen kaynaklar arka planda yer alan kuasarlar.

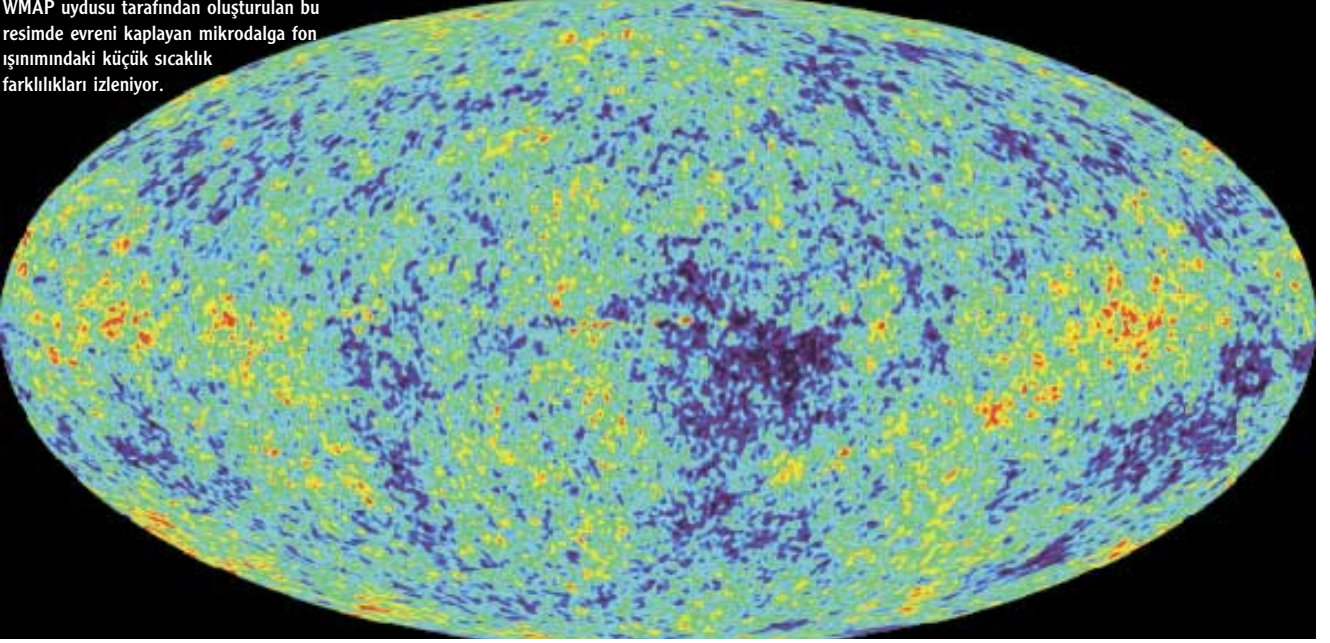


Kuğu Halkası: Samanyolu'ndaki en ilginç süpernova kalıntılarından biri. Bize yaklaşık 1200 ışık yılı uzakta. Effelsberg teleskobuyla elde edilen resim 11 cm dalgaboyunda toplam radyo ışınımı (solda) ve kutuplanma gözlemlerini gösteriyor. © MPIFR/B. Uyaniker



# RADYO DALGALARI

WMAP uydusu tarafından oluşturulan bu resimde evreni kaplayan mikrodalga fon ışımındaki küçük sıcaklık farklılıkları izleniyor.



Evrenbilim (kozmozoloji) evrenin oluşumu ve yapısını inceler. Ancak evren, günlük yaşamda düşündüğümüzden çok daha büyük ve biz evrenin sayısız gezegenlerinden birindeki minik birer noktadan başka bir şey değildir. Bizi kendimizce önemli yapan, şimdilik, başka dünyaları tanımamamız. Yine de, evreni anlama yolundaki çabalarımız sürmekte; üstelik bu alanda epey de yol almış sayılırız. Evren, günümüzdeki bilgimize göre yaklaşık 15-20 milyar yaşında. Bu tahmin yıldızların yaşına ve evrendeki genel genişlemenin gözlenmesine dayanıyor. Bu genişlemenin tersine hesaplanması bizi yaklaşık 14 milyar yıl önce tüm maddelerin birarada olduğu zamana götürüyor. Unutmayalım ki, atalarımız 12 bin yıl önce mağaralarda yaşıyor ve buz çağına sona ermesini sabırsızlıkla bekliyorlardı. Kozmik ölçekte 12 bin yıl, Dünya'nın 5 milyar yaşında olduğu düşünülürse, çok kısa bir süre. Bilim adını verdiğimiz "gerçeğin" yöntemsel araştırılması, yaklaşık 400 yıl önce geliştirildi. Kozmik bağlamda insanlık, hâlâ beşyüzünden çıkamamış sayılabilir. Eğer evrenin başlangıcından bu yana geçen süreyi bir kozmik yıl olarak adlandıırırsak beşyüz dünya yılı bir kozmik saniyeye karşılık gelir!

Çağdaş gökbilim, evrenin içeriğini araştırmaya daha yeni başlamış sayıla-

bilir. Uzak gökadalardan varlığını ancak 60'lı yıllarda öğrendik. Başlangıcı büyük patlamaya dayanan ve genişleyen bir evren fikri düşünce dünyamızda çok yenidir. Evrendeki cisimlerin çeşitliliği hakkındaki bilgimiz ancak 50'li yıllarda radyo penceresinin etkin kullanılmaya başlanması ve diğer dalgaboyundaki ölçümlerle birleştirilmesiyle gelişmeye başladı. İnsan bilincinin içinde yaşadığı dünyayı algılama yeteneği düşünüldüğünde, ya iyimserlikle yeterince araştırma ve teknik gelişme sonucu evreni bütünüyle anlayabileceğimize ya da evrenin yeterince karmaşık, gizemli ve anlaşılmasız olduğuna karar verebiliriz. Yine de bu, evren hakkında meraklı sorular sormamızı engellemez. Eğer ikinci yolu seçmiş olsaydık insanlık günümüzdeki

Penzias (sağda) ve Wilson, mikrodalga fon ışımını keşfettikleri antenin önünde



teknik düzeyinde olmazdı. Bir anlamda merak ve araştırma istemi insanın evrimini de etkilemekte; bu istem evrenin birer parçası olan bizlerin içinde bir itici güç olarak her zaman var olmuştur.

Evrenin genişlediğini kırmızıya kayma ölçümlerinden biliyoruz. Bizden uzaklaşan cisimlerin ışığı kırmızıya doğru kayıyor. Bunu söylerken elbette bütün kırmızı cisimlerin bizden uzaklaştığını söylemiyoruz. Cismin ışığı elektromanyetik tayfın içinde çok az, ancak ölçülebilir miktarda kırmızıya doğru kayıyor. Uzaklıkları değişik yöntemlerle ölçülebilen uzak gökadalardan bizden ne kadar uzaktalarsa o kadar da büyük bir hızla bizden uzaklaşıyorlar. Burada genişleme kavramına da bir açıklık getirmek gerekir. Genişlemeyle anlatılmak istenen, gökadalardan birbirlerinden uzaklaştıkları değil, gökadalardan arasındaki uzayın genişlemesi. Evrendeki, gökadalardan gibi, büyük yapıları cisimlerin anlaşılmasında radyo dalgaları önemli katkıda bulunur. Örneğin evrenin ilk aşamalarında oluşan radyo kaynaklarıyla bugünkü kaynaklar arasındaki farkı öğrenmek istersek, hemen radyo dalgalarına başvururuz. Çünkü cisimler ne kadar uzaksa, o kadar önce oluşmuş demektir ve evrenin ilk aşamalarında oluşan cisimlerin çoğu en büyük optik teles-

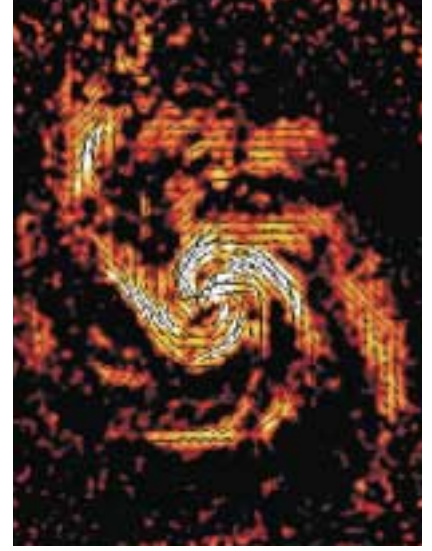
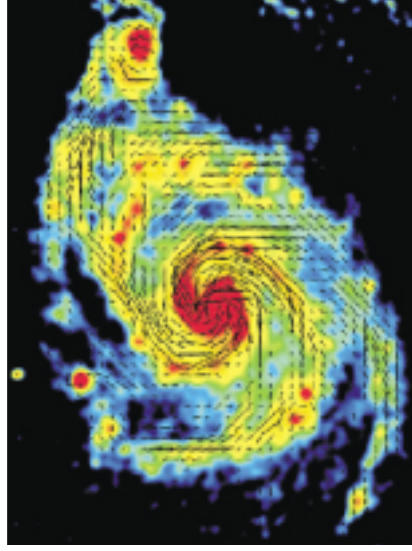
koplarla bile gözlenemezler. Radyo bilimcileri, bir anlamda evrenin derinliklerindeki cisimleri, yani evrenin başlangıcını incelemekte daha iyi koşullara sahipler. Örneğin, 60'lı yıllarda uzak kuasar ve gökadalara biraz önce sorduğumuz soruya yanıt ararken bulundu.

Radyonun uzak cisimleri gözlemekteki bu ayrıcalığından yola çıkarak birçok araştırma başlatıldı ve uzak radyo kaynakları taranmaya başlandı. Bu kaynakların birçoğunun, nokta gibi minicik (bu nedenle nokta kaynaklar deniyor) ve birbirine benzer görüntüleri, bunların aynı sınıf cisimler olduğu düşüncesini kuvvetlendirdi ve bunların gökyüzündeki dağılımı incelenmeye başlandı. Burada sorulan soru şu: Eğer evren belirli bir zamanda genişlemeye başlamışsa, başlangıçta (yani uzaklarda) daha az radyo kaynağı olmalı; yok eğer başlangıcı olmayan, durağan bir evren söz konusuysa, birim hacimdeki radyo kaynaklarının sayısında bir değişme olmayacağından, uzaktaki ve yakındaki kaynakların sayısı aynı olacaktır. Bu çalışmaların sonucu, genişleyen evren kuramını desteklemekte.

## Mikrodalga Fon Işıması

Evrenbilim tartışmalarını sonuca götürücü nitelikte etkileyen bir başka gözlemse, yine radyo gökbiliminin doğum yeri Bell laboratuvarında, 1963 yılında radyofizikçi Arno Penzias ve Robert Wilson tarafından yapıldı. Evrenin her yerinden 2,7 kelvin sıcaklığına karşılık gelen, düzenli radyo dalgaları geliyordu! Işığın evrenin başlangıcından gelen bir mikrodalga fırında yaşıyorduk!

Mikrodalga fon ışımalarının bulunması, bilimsel gelişme sürecinin öğretici bir örneği. Öykü 40'lı yıllarda fizikçi George Gamow'un değişik elementlerin nasıl oluştuğunu açıklamaya çalışmasıyla başlar. Gamow'un varsayımını günlük dilde özetlersek, evren dev bir ateş topundan oluşmuştu ve deyim yerindeyse bu ateşte bir elementler çorbası pişmekteydi. Yaklaşık



Girdap gökadasının 6 cm radyo ışınımında görünümü. Solda toplam radyo ışınması sağdaysa kutuplanma ölçümleri görünüyor. Bu tür gözlemler Samanyolu gibi gökadalara manyetik alanlarını anlamamıza yardımcı oluyor. © MPIfR / A. Fletcher, R. Beck

yirmi yıl sonra Princeton Üniversitesi'nden Robert Dicke ve arkadaşlarıyla başka bir soruya yanıt arıyorlardı: acaba evren sıcak bir dönemi de olan ve bir daralıp bir genişleyen bir yer miydi? Bu sırada Penzias ve Wilson, uydu aracılığıyla Atlantik'in öbür yakasına televizyon yayını aktarmak için kullanılacak, çok düşük gürültülü ve çok duyarlı, bu nedenle de gökbilimi için son derece uygun bir radyo anteni geliştirmekle uğraşıyorlardı. Amaçları, eğer anten düşündükleri kadar etkin çalışırsa, Samanyolu'nun yüksek enlemlerindeki radyo ışımalarını ölçmekti. Bu tür tek bir kaynaktan değil de, birden çok kaynaktan gelen ve birbirine karışmış, yaygın ve üstelik çok zayıf radyo ışımalarını ölçmek gerçekten çok zor bir işti, çünkü bu ışınım, antenin kendi gürültüsüne karışır ve yüksek bir anten performansı gerektirir. Bu nedenle antenin diğer özelliklerinin yanısıra, kendi gürültüsünün çok iyi bilinmesi gerekir. Penzias ve Wilson bu nedenle antenin gürültüsüne katkıda bulunabilecek tüm etmenleri bir bir gözden geçirirler. Ancak tüm denemelerinde 2,7 kelvinlik bir karacisim ışımalarına denk gelen bir gürültü gelmeye devam ediyordu. Bu gürültünün nedenini anlayabilmek için tüm anteni söküp en ince ayrıntısına kadar incelediler. Kuş pisliğinden

başka dikkate değer bir şey göremediler. Gürültüyü "anten yüzeyinin güvercinlerce dielektrik (yalıtkan) bir maddeyle kaplanması" olarak açıkladılar. Bu güvercinleri uzaklaştırmak pek kolay değildi. Başka bir yere götürülseler bile geri geliyorlardı. Çünkü bir zamanlar posta güverciniydiler! Ancak güvercinler yokken de antendeki 2,7 kelvinlik gürültü ortadan kalkmamıştı. Jansky'nin deneyimi elbette biliniyordu ve insan yapısı aletlerden kaynaklanabilecek gürültülerin dışında uzaydan, Samanyolu'ndan hatta başka gökadalardan gelebilecek radyo dalgaları bir bir tarandı. Anten ne yöne çevrilirse çevrilsin, baktığı yönde bir cisim olsun olmasın 2,7 kelvin ışınması görülüyordu. Işıma Samanyolu'ndan gelmiyordu, hava koşullarından bağımsızdı ve günün herhangi bir saatinde gözlenebiliyordu. Penzias ve Wilson evrendeki cisimlerin arasında boşluktan başka birşey olmadığını düşündüklerinden, bu 2,7 kelvin ışımalarının nedenini de anlayamıyorlardı. Gamow'un elementlerinin oluşabilmesi için gerekli sıcak bir evreni de, Dicke'nin evrenin sıcak dönemleri üzerine bir ipucu aradığını da bilmiyorlardı. Bu arada Sovyet fizikçiler A. G. Do-voshkevich ve I.D. Novikov, evrenin erken dönemlerinde bir radyo ışınması salınması gerektiği varsayımını öne at-

tilar. Bu çalışmadan uzunca bir süre kimsenin haberi olmadı. James Peebles ise büyük patlamadan geriye 10 kelvin dolayında bir radyo ışıması kalması gerektiğini ileri sürdü. Ortaya garip bir durum çıktı: Penzias ve Wilson bir radyo ışıması bulmuşlar ancak nedenini bir türlü anlayamamaktalar; Dicke ise böyle bir ışımayı bulabilmek için, çoktan bulunduğunu bilmeden, çalışmakta ve bazı kuramcılara bunlardan bağımsız evren modelleri yapmakta. Herkesin aynı şeyden söz ettiğiyse çok sonra ortaya çıkacaktı.

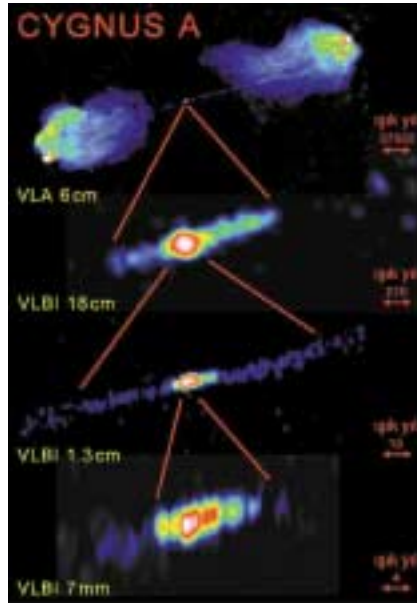
Günümüzde, her yönde eşit olarak gözlenen, 2,7 kelvin fon ışımasının evrenin oluşumuna yol açan büyük patlamanın yankıları olduğu düşünülmemekte. Bu ışıma büyük bir olasılıkla evren 3000 kelvine kadar soğuduğunda önceleri optik ışık olarak yola çıkmış ve kırmızıya kayma etkisiyle radyo penceresine kaymış olduğundan, (fon ışımasının kırmızıya kayması çok büyüktür, dolayısıyla oluşma yeri bize çok uzak olmalıdır) günümüzde ancak zayıf bir radyo ışıması olarak ölçülebilmekte. Penzias ve Wilson'ın 1978 yılında Nobel ödülü alacakları bu gözlemler günümüzde büyük patlama ve genişleyen evren kuramlarının en önemli dayanak noktalarından biri.

## Gökadalar

Tüm gelişmelere karşın Samanyolu'nun yapısı bütünüyle anlaşılabilmiş değil. Bir bakıma ağaçlardan ormanı göremediğimiz söylenebilir. Bu nedenle, Samanyolu benzeri diğer gökadalaların gözlemleri yeni bir görüş açısı sağlayabilir. Radyo ışıması öncelikle gökada kollarındaki yıldız oluşum bölgelerinden gelmekte. Buralarda, yıldızlar patlamadığı zamanlarda bile kozmik ışınlar üretilmekte. Birçok gökadada geniş ölçekli manyetik alanlar olduğunu gösteren kutuplanmış radyo ışınımı gözlemlendi. Bu gökadalaların merkezinde olduğu ileri sürülen, kaostan düzen oluşmasını sağlayan, büyük dinamiklerin varlığını destekleyen önemli bir bulgu. Bu dinamiklerin gökadalaların evrimini nasıl etkilediğiyse hala bilinmeyen güncel bir araştırma konusu.

Manyetik alanların açıkça görüldüğü gökadalara en güzel örneklerden biri, aynı zamanda bizim gökadamız

Samanyolu'na olan benzerliği nedeniyle, Girdap (yada M51) gökadası. Yandaki resimde Effelsberg ve VLA verilerinin birleştirilmesiyle elde edilmiş 6cm radyo ışınımı (solda) ve yine aynı dalgaboyunda kutuplanma ışınımı (sağda) görülmekte. Girdap gökadası bizden 37 milyon ışık yılı uzakta ve kendisinden daha küçük bir gökadayla (resimde sol üstte) kütleçekimsel etkileşim içinde. Her iki resimde de çizgilerle belirtilmiş vektörler manyetik alanın büyüklüğünü ve doğrultusunu gösteriyor. Bu ve benzeri ölçümler, bir bakıma Samanyolu gibi



sarmal gökadalardaki manyetik alanının yapısı hakkında bilgi vermekte: Manyetik alan büyük ölçekte gökadanın en yoğun gazlarının bulunduğu sarmal kolları izlemekte. Uzak gökadalardaki radyo ışınımı ve manyetik alanı ölçerek aynı zamanda kendi gökadamızı daha iyi anlamaya çalışıyoruz. Elbette bu gökadalalar çok uzak olduklarından, ayrıntılar değil, ancak büyük ölçekli yapılar hakkında bilgi edinebiliyoruz. İçinde yaşadığımız Samanyolu'ndaysa daha ayrıntılı ölçümler yapabiliyor olmamıza karşın, yukarıdaki resimde görünen genel yapıyı gözden geçiriyoruz. Bu nedenle Samanyolu ve uzak gökadalaların manyetik alan ölçümleri birbirlerini bütünler nitelikte.

Radyo ışıması yapan gökadalalar (gökada kümelerinden sonra) evrende bildiğimiz en büyük cisimler ve çok büyük enerjilere sahipler. Öyle ki, bazı radyo gökadalalar, içlerindeki bu bü-

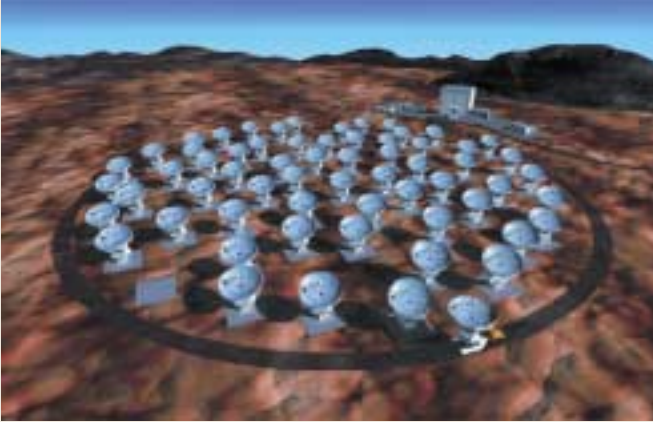
yük enerjinin etkisiyle çift radyo kaynakları gibi görünür. Çift radyo kaynaklarının gözlenmesine, gökada oldukları bilinmeden, daha 60'lı yıllarda başlanmıştı. Bu cisimler çok uzak oldukları için detaylı görüntüleri elde edilememiş, ancak çift kaynaklar olarak kataloglanmışlardı. Günümüzdeki gözlemlerle bu birbirine yakın, ancak iki ayrı cisimmiş gibi görünen bu kaynakların aslında radyoda çok sönük ve küçük görünen gökadalardan birbirine zıt yönlere fıskıran maddenin ışıması olduğunu göstermekte. Bu tür gökadalara en iyi örneklerden biri, Kuğu takımı yıldızının en kuvvetli radyo kaynağı Cygnus A. Radyo gökadalaların gözlenmesi, içlerindeki enerjinin nereden geldiğini anlamamız açısından önemli. Bir zamanlar bu tür fıskırmalar gösteren gökadalaların patladıkları düşünülürdü; öyle ki, bu cisimlerin 50'li yıllarda Walter Baade ve Rudolf Minkowski'yi birbirine düşürdüğü ve bu iki ünlü gökbilimcinin Cygnus A'nın çarpışan iki gökada olup olmadığı üzerine bir şişe viskisine iddiaya tuttuştuğları hâlâ anlatılır. Günümüzdeki anlayışta, radyo gökadalaların enerjisinin başka bir nedeni olduğunu söylüyor: Milyonlarca kilometre uzağa fıskırtılan sıcak madde, büyük bir olasılıkla gökadanın merkezindeki çok enerjik bir cisimden etkileniyor ve birçok gözlemsel veri bu cismin bir karadelik olduğuna işaret ediyor. Yandaki resim yaklaşık 500 milyon ışık yılı uzaktaki Cygnus A gökadasının VLA ve VLBI teleskoplarıyla değişik dalgaboylarında elde edilmiş haritalarını gösteriyor. En üstteki resimde merkezdeki gökada ve her iki yana doğru ilerleyen, birbirinden yaklaşık 300 bin ışık yılı uzaklaşmış fıskırmalar açıkça görülüyor. İki fıskırmanın arasında görünen minik lekenin aslında dev bir sarmal gökada olduğu optik teleskoplarla yapılan ölçümlerden biliniyor. Altındaki resimlerdeyse çözünümü daha yüksek, sekiz teleskoptan elde edilen, VLBI verileri gökadanın merkezini daha ayrıntılı görmemizi sağlıyor.

Bülent Uyaniker

Max-Planck-Institut für Radioastronomie,  
Bonn, Almanya

ve  
Herzberg Institute, Dominion Radio  
Astrophysical Observatory, Penticton, Kanada

# Geleceğe Adımlar: Yeni Kuşak Teleskoplar



ALMA teleskobu için önerilen tasarımlardan biri. Bu tasarıya göre milimetre dalgaboyunda çalışacak, hareketli 64 tane 12 metre çapında anten çember biçimindeki bir alan içine yerleştiriyor. © ALMA



SKA teleskobu için önerilen tasarımlardan biri küresel radyo antenleri aracılığıyla teleskobun radyo dalgalarını topladığı alanın artırılmasını hedefliyor. © SKA

## **ALMA Projesi:**

ALMA (Atacama Large Milimetre Array–Atacama büyük milimetre dizgesi) 64 tane 12m çapındaki teleskoptan oluşan uluslararası bir proje olarak, milimetre dalgaboyunda çalışacak gelecekteki en güçlü teleskoplardan biri olarak kabul edilmekte. Yaklaşık 2011 yılında tamamlanması düşünülen bu büyük girişim teleskopunun, Şilî'deki Ant dağlarında San Pedro de Atacama adlı kasabaya yakın bir bölgeye yerleştirilmesi planlanıyor. Tıpkı VLA gibi raylar üzerinde taşınacak olan antenler, birbirinden 14 km uzaklığa kadar dağıtılacak, gerektiğinde birbirine 150 m kadar yakınlaştırılabilir. ALMA, eşlendirici bilgisayarsa saniyede 16 milyardan bir milyon kez daha fazla işlem yapabilecek kapasitede olacak.

Teleskobun 5000 metre yükseklikteki bir dağa yerleştirilmesinin nedeniyse, milimetre dalgaboyunda radyo dalgalarının havadaki nem tarafından emilmesi: Çünkü teleskop 70 ile 900 GHz frekans aralığında çalışacak. Yukarıda ALMA pro-

jesi için önerilen temsili bir resim görülüyor. Kuzey Amerika ve Avrupa'nın ortaklaşa yürüttüğü ALMA projesi gerçekleştiğinde, evrenin en erken dönemlerinde oluşmuş en uzak gökadalardan gözlenmesi, evrende ışığın ilk yayılmaya başladığı dönemden sinyaller ölçülmesi gibi hedefler ulaşılmaz olmaktan çıkacak. ALMA ayrıca, Samanyolu ve yakın gökadalarda gaz ve tozların içine gömülü yıldız oluşum bölgelerini izleyecek ve gezegen oluşumu araştırmalarında kullanılacak. Bu iki temel araştırma alanının dışında teleskobun gökbilim araştırmalarının hemen her dalına katkıda bulunması bekleniyor.

## **Bir kilometrekarelik teleskop: SKA**

Geçtiğimiz yıllarda radyo bilimciler arasında en çok tartışılan konulardan biri de ALMA gibi büyük milimetre dizgelerinden sonra, gökbilimde atılacak bir sonraki en mantıklı adımın ne olacağı yönünde. Genel eğilim, santimetre ve metre dalgaboyunda çalışan günümüzdeki teleskopların

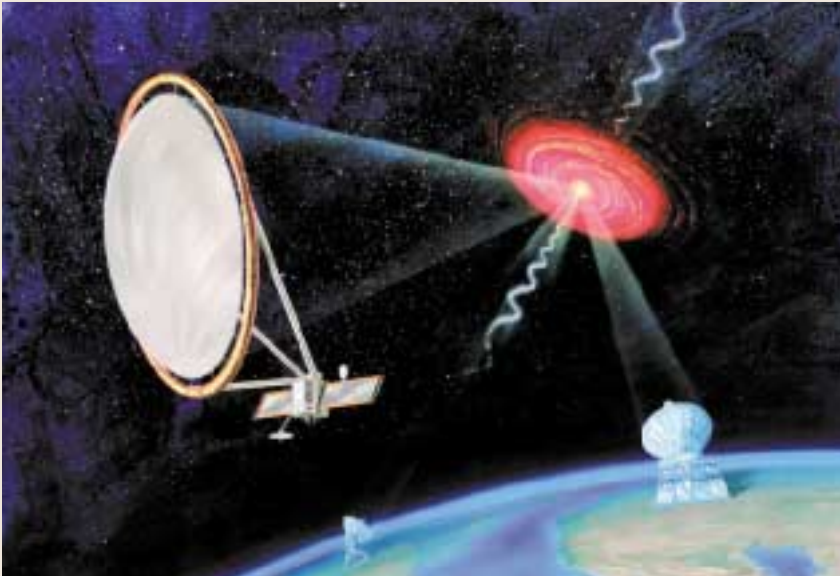
duyarlılığını en az yüz kat daha artırmak olarak belirlenmiş durumda.

Ancak böyle bir teleskobun VLA teleskobundan 100 kat daha fazla anten alanı olması gerek! Teleskop da zaten adını buradan alıyor (Square Kilometer Array). Yine bir girişim teleskobu olacak ve 0,15 ile 20 GHz frekans aralığında çalışacak olan SKA teleskobunun 21. yüzyıl gökbiliminde bir devrim yapması bekleniyor. SKA, evrende oluşan ilk gökadalardan haritalarını çıkaracak, evrenin oluştuğu dönemdeki hidrojen bulutlarını gözleyecek ve manyetik alan araştırmalarına katkıda bulunacak ve bir anlamda ALMA'nın santimetre dalgaboyunda tamamlayıcısı olacak. Teleskop, ayrıca büyük kütleli kara deliklerden gelen kütleçekimi dalgalarını ölçebilecek, gama ışını kaynaklarını radyoda izleyecek, evrende yeni gezegenler arayacak ve SETI olarak bilinen dünya dışı uygarlık arama çalışmalarına katkıda bulunacak. SKA için yapılan önerilerden biri de bir kilometrekarelik alanı dolduran küresel antenlerden oluşmuş dizge.

## **Gelişkin Uzay Radyo Girişim Teleskobu (ARISE-Advanced Radio Interferometry between Space and Earth)**

ARISE bir yada iki tane 25 metrelik antenin Dünya yörüngesine yerleştirilip yerdeki teleskoplarla beraber girişim teleskobu olarak kullanılmasını hedefliyor. Bu şekildeki bir düzenekle, bir yay saniyesinin yüzünde birine kadar inebilecek bir çözünümlü elde edilebilecek. Bu kadar yüksek bir çözünümlü gücü de rahatlıkla karadeliklerin ve gökadalardan merkezlerinin ayrıntılı gözlemlerine olanak verecek. Ayrıca alıcıların yapımında da yeni tasarımlara yer verilecek. ARISE ile yapılacak ölçümler, Hubble uzay teleskobundan 5000 kat daha hassas ve ayrıntılı olacak.

ARISE'nin diğer bir özelliği de antenin yapılışı. ARISE'de bildiğimiz metal çanak yerine yansıtma gücü yüksek şişirilebilir bir çanak kullanılacak. Çanak Dünya'daki gibi yerçekiminden etkilenmeyeceğinden, şeklinde de bir bozulma olmayacak. Bu yöntemle teleskoba yapılacak harcama önemli ölçüde düşecek.



Şişme anteniyle Dünya yörüngesine oturtulacak ve yeryüzündeki diğer teleskoplarla çok büyük bir girişim teleskobu oluşturacak ARISE varsayımsal bir karadeligi gözlerken. © ARISE