

EVRENİN NERESİNDEYİZ?

Prof.Dr. M.Ali ALPAR*

Çağdaş astronominin temel sonucu, Dünyamızın evrenin merkezinde olmadığı yolunda. Gök yüzüne bakalım, ne var, neler görüyoruz sorusuna cevap arayan astronomi bilginlerinin kademe kademe gözlemlerle bu sonuca nasıl ulaştıklarına bir göz atalım.

Gök yüzüne çıplak gözle baktığımız zaman, bir sürü parlak nokta görüyoruz. Bunların çoğu yıldızlar, birkaç gezegen. Gezegenleri yıldızlardan nasıl ayırdederiz? Gezegenler kırışmaz. Yıldızlara baktığımızda ışıkları titreşir, kırışır. Bunun sebebi kolayca anlaşılabilir. Gök cisimlerinden gelen ışık atmosfere giriyor ve atmosferdeki hava hareketleri dolayısıyla andan ana değişen bir kırılma, saçılma ortamıyla karşı karşıya kalıyor. Yıldızlar çok uzak oldukları için nokta kaynaklardır; yani bir yıldızın ışığı tek bir yol, tek bir huzme ile gelir bize. Bu huzme atmosferden geçerken yolu üzerinde ne tür optik değişimler varsa, ona bağlı olarak hafif titreşimler görüyorsunuz. Oysa gezegenler kozmik ölçeklerde çok yakın cisimler. Dolayısıyla basit bir dürbünle bile tesbit edebileceğiniz gibi, bunların imajları nokta değil, birer disk ve oradan sizin gözünüze gelen ışık, diskten değişik noktalarından gelen birçok değişik yol izliyor. Her yol üzerinde atmosferdeki rastgele saçılmalar da birbirinden bağımsız ve farklı olduğuna göre, ortalama olarak bir kırışma görmüyorsunuz. Onun için gezegenlerin imajları sabit.

Başka bir şey daha var: Gök yüzüne her akşam bakarsanız, yıldızların oluşturdukları bir takım desenleri tanıyor sunuz. Bunlar değişmiyor. Bu görüntüyü bir fon olarak düşünürsek, gezegenlerin bu fona göre hareketini birkaç günlük gözlemlerle farkedebiliyoruz. Yıldızların da bir hareketi var ama, onların hareketini algılamak çok daha zor. Yıldızlar bizden çok uzak oldukları için birbirlerine göre açısal konumları çok yavaş değişiyor. Demek ki, Güneş sistemimizin üyeleri olan gezegenlerin özel bir görünümle ve rahatça izlenebilen bir hareketleri var. Çıplak gözle bile görülebilen birlerce yıldız var. Bunlar çok uzak mesafelerde oldukları için hareketlerini sezemiyoruz. Güzel bir yıldız kümesi örneği olarak Pleiades yıldız kümesine bakalım (Şekil 1). Bu takımın Türkçe ismi Ülker (Süreyya), veya 7 Kızlar veya 7 Kardeşler, gençyıldızlardan oluşmuş, açık küme denilen türden bir küme. Bu yıldızlar sadece birbirlerine tesadüfen yakın görünüyor değil, gerçekten bizden uzaklıkları yaklaşık aynı; çünkü kütle çekimiyle birbirlerine bağlı bir sistem oluşturuyorlar.

Yakın yıldızlar için ilk mesafe tayini yöntemi paralaks dediğimiz, haritacıların, topoğrafıların da kul-



Ülker (Pleiades) açık yıldız kümesi.

landığı mesafe tayini yöntemi. Başımızı biraz oynatırsak, yakındaki cisimlerin uzaktakilere göre açısal konumu değişir. 10 cm farklı bir noktadan bakınca açısal konumu 1° değişen bir cisim, bizden 10 cm/sin $1^\circ \approx 6$ m uzaktadır. Aynı prensiple, 6 ay arayla (yani Dünya'nın Güneş etrafındaki yörüngesinin iki zıt noktasından bakıldığında) açısal konumu 2θ kadar fark eden bir yakın yıldız, bizden yörünge yarıçapı θ kadar uzaktadır. Bu açısal konum farkına paralaks deniyor.

Bu vesileyle hemen astronomik mesafelerin ne kadar büyük olduğunu hatırlayalım. Dünyanın Güneş etrafındaki yörüngesinin ortalama yarıçapına 1 astronomi birimi deniyor. Bir astronomi birimi yaklaşık 150 milyon kilometre. Bize en yakın yıldızlar 1 açı saniyesi mertebesinde paralaks gösteriyorlar. O zaman bir uzaklık birimi tanımlayabiliriz, öyle ki bu uzaklığın bir astronomi birimine oranı yani paralaksı tam bir açı saniyesi olsun. Buna "parsek" deniyor (PARalaks ve SECond (saniye) kelimelerinden PARSEC). Bir açı saniyelik paralaks veren bu mesafe, bir parsek, 3×10^{18} cm'dir. Aynı mertebede bir diğer uzaklık birimi de ışık yılıdır. Işığın hızını biliyoruz, 300.000 km/s. Bu hızla ışık bir yılda 10^{18} cm gidiyor. Bu 10^{18} cm'lik uzaklığa bir "ışık yılı" diyoruz. Yani 10 trilyon km. Demek ki, bir parsek ≈ 3 ışık yılı. En yakın yıldız Proxima Centauri 1,3 parsek mesafede; demek ki, Proxima Centauri'nin ışığı bize 4 yılda geliyor.

Şimdi başka bir uzaklık ölçme yönteminden söz edeceğim. Onun için ilk önce fizikte hepimizin bildiği bir olayı hatırlayalım: Doppler Kayması. Bir ışık kaynağı bize yaklaşmaktaysa, ışığın rengi maviye kayar, dalga boyu kısalır. Tersine cisim bizden uzaklaşmaktaysa, renkler kırmızıya kayar yani dalga boyu uzar. Eğer gökteki bir cismin spektrumunu (tayfini) ele alırsak ve bu tayfi tanırsak, o zaman o çizgilerin laboratuvarından bildiğimiz dalga boylarına göre yaptıkları kaymaya bakarak, o cismin bize göre yaklaşma veya uzaklaşma hızını buluruz.

Doppler kaymasına dayalı hız tayini, karmaşık bir mesafe tayini yönteminde kullanılıyor. Paralaksla mesafesini tayin edemediğimiz biraz daha uzak yıldız-

* ODTÜ Fizik Bölümü Öğretim Üyesi.



Şekil-2:

Bir küresel küme.

ları düşünelim. Paralaks eninde sonunda bir açısız ayırıştırma usulüdür. 100 parsek kadar uzaklara gittiğimizde, paralaksız açı saniyesinin yüzde birine iniyor, bu da ölçülemeyecek kadar küçük bir açı. Bu uzaklıklarda yıldız kümeleri için geçerli bir mesafe tayini yöntemi var. Kümelere baktığımızda uzun süreli gözlemlerde, kümenin bütün elemanlarının, bütün yıldızlarını hep birlikte aynı yönde kaydıkları, yer değiştirdikleri gözlenir. Yıldızların her biri diyelim ki 10 yıl gözlemlendi, şu kadar açı saniyesi hareket ettiler. Bu açısız hareketlerini birer küçük vektörle gösterirsek bu vektörlerin aynı noktaya doğru işaret ettiğini görüyoruz. Tıpkı uzağa doğru giden demiryolu çizgileri gibi, bir perspektif özelliği bu. Aslında birbirine paralel olan hareketler bize bir nokta işaret ediyor. Dolayısıyla üç boyutlu uzayda kümenin hangi noktaya doğru hareket etmekte olduğunu buluyoruz. Bu ölçümlerden yıldızların yılda açı saniyesi birimiyle ne kadar yer değiştirdiklerini de biliyoruz. Öte yandan bakış açımıza paralel yani bize doğru veya bizden uzaklaşan radyal yöndeki hızlarını Doppler olayından ölçülebiliyoruz. Şimdi perspektif gözleminde kümenin hareket yönünü biliyoruz. Bu yönün bizim bakış yönümüze (radyal yön) yaptığı açığı α diyelim. Doppler olayı aracılığıyla km/sn olarak ölçtüğümüz radyal yöndeki hız bileşenini $\tan \alpha$ ile çarparsak, yine km/sn olarak kümenin gök küre üzerindeki, yani bakış yönümüze dik hız bileşenini buluyoruz, ki bu da ölçtüğümüz açısız hareket ile kümenin uzaklığının çarpımıdır. Böylece uzaklığı hesaplayabiliriz. Bu çok yararlı yöntem de kümelerin açısız hareketlerinin ölçülemediği uzaklıklarda geçersiz kalyor.

Daha da uzak yıldızların uzaklıklarını ölçmek için fiziksel özelliklerini kullanıyoruz. Yıldızların ışıklarını alırken doğrudan doğruya ölçtüğümüz şey, cm^2 ye gelen enerji akısı. Bu akı mesafenin karesiyle küçülüyor. Eğer, yıldızın mutlak olarak uzayın dört bir yönüne saniyede ne kadar enerji verdiğini bilirsek, aldığımız akıyla karşılaştırırsak mesafeyi buluruz. Yaht da, tersine olarak, mesafelerini ölçtüğümüz yıl-



Şekil-3:

Bize en yakın galaksilerden komşumuz Andromeda.

dızların akılarını $4\pi d^2$ ile çarparak buradan ışımaya şiddetlerini bulabiliriz. Yakın yıldızların mesafelerini biliyoruz, akılarını biliyoruz. Dolayısıyla onların ne kadar enerji yaydıklarını hesaplayabiliyoruz, görüyoruz ki büyük bir düzenlilik var, her yıldız bambaşka bir şey yapmıyor. Yakın yıldızlarla uzak yıldızlar arasında fiziksel benzerlikler var. Bunları sınıflandırabiliriz. Dolayısıyla spektrum (taf) gözlemlerine dayanarak hangi tipten olduğunu bildiğimiz uzak bir yıldızın eğer spektrumuyla enerji üretimi arasında fiziksel bir bağıntı varsa ışımaya şiddetini bulabileceğiz. Gerçekten de belli sıcaklık veren yıldızların belli değerlerde bir mutlak enerji üretimleri var. Mesafelerini ve dolayısıyla mutlak enerji üretimlerini bildiğimiz yakın yıldızlara dayanarak yıldızların spektrumlarından çıkarılan sıcaklıkları ile ışımaya şiddetleri arasındaki ilişkiyi oluşturuyoruz. Ondan sonra uzak ve mesafesini bilmediğimiz bir yıldızla bakıyoruz. Onun spektrumunu alıyoruz, o spektrum ölçümünden bu yıldızın ne tip bir yıldız olduğunu anlıyoruz. Öyleyse enerji üretimi şu kadar olmalı diyoruz; gözlediğimiz akıyla karşılaştırıyor ve mesafeyi buluyoruz.

Bizi daha da büyük uzaklıklara götüren ve astronomide gerçekten bir devrim yaratan uzaklık ölçüm yöntemi birtakım değişen yıldızların özelliklerine dayanıyor. Bazı yıldızları sürekli olarak gözlediğimizde, bakıyoruz ki bunlar sistematik olarak bir sönüyor, bir parlıyor ve bu değişkenlik periyodik, yani hep aynı zaman aralığıyla tekrarlanıyor. Bu değişkenlik periyodu ile yıldızın mutlak ışımaya şiddeti arasında bir ilişki var. Daha önceden bilinen uzaklık ölçüm yöntemleriyle uzaklıkları bilinen ya da uzaklığı bilinen bir küme içinde bulunan yıldızlar alınıyor. Uzaklıkları bilindiğine göre ışımaya şiddetlerini biliyoruz ve değişme periyoduyla mutlak ışımaya şiddetini karşılaştırdığımız zaman arada sistematik bir ilişki olduğunu görüyoruz. Bu ilişkiyi de kalibre ettiğiniz zaman, aynı tür yıldızlardan başka yerlerde bulsanız, periyotlarını ölçtüğünüzde kalibre ettiğiniz ışımaya şiddetini okuyorsunuz, size gelen akıyla karşılaştırarak mesafeyi buluyorsunuz. Bu yöntem



Klemola galaksiler grubu.

spektrum ölçümlerinden bağımsız, zaman içinde değişme gibi basit bir gözleme dayanan bir yöntem olduğundan, değişken bir yıldız uygulamak için o yıldızı algılayabilmeniz yeterli. Çok uzaklara kadar geçerli bu mesafe ölçme yöntemi 1912'de Henrietta Leavitt adında bir hanım gökbilimci tarafından bulunmuş ve 1918'de Harlow Shapley adında bir başka büyük astronom tarafından kalibre edilmiş. Bu bir kere yapıldığı zaman küresel kümeler dediğimiz kalabalık yıldız kümeleri (Şekil 2) içinde bulunan değişken yıldızların bu yöntemle periyotlarına bakılarak mesafeleri tayin ediliyor. Kümenin içerisinde çok sayıda yıldız olduğu için, bunlar arasında uygun türden değişken yıldız bulunması imkânı var. Bu kümeler bizden çok uzakta, bize olan mesafeleri kendi boyutlarına göre çok büyük, dolayısıyla bir kümenin içerisindeki tüm yıldızlar iyi bir yaklaşımla bizden yaklaşık aynı mesafede. Dolayısıyla içindeki değişken yıldızların mesafelerini ölçtüğümüzde, kümenin bizden mesafesini ölçüyoruz. Böylece her birinde onbinlerce, yüzbinlerce yıldız bulunan küresel kümelerin bizden mesafeleri ölçülmüş oluyor. Bu kümelerin varlığı 18. yy.'dan beri biliniyordu, ama bizden uzaklıkları bilinmiyordu. Birçok küresel kümenin uzaklıkları bulununca, bu kümelerin üç boyutlu uzaydaki dağılımları anlaşıldı. Bu dağılım belli bir merkez etrafında simetrik, küresel bir dağılım. Fakat bu dağılımın merkezi olan yer Güneş değil. Güneş, küresel kümelerin dağılım merkezinden yaklaşık 10.000 parsek uzaklıkta. Burası aynı zamanda Güneş sisteminin de içinde bulunduğu on milyar kadar yıldızdan oluşan, dönen ve tabak gibi yassı bir yıldız sisteminin, Samanyolu'nun da merkezi. Bu tür büyük yıldız sistemlerine "galaksi" deniyor.

Bize en yakın galaksilerden biri Andromeda (Şekil 3). Bu spiral (sarmal) yapıda bir galaksi 1920'lerde Andromeda'nın mesafesi yine değişken yıldızlar kullanılarak tespit edildi. 670.000 parsek uzaklıkta olduğu ölçüldü. Başka nispeten yakın sistemlere bakalım. Meselâ Magellan Bulutları. Büyük Magellan Bulutu 55.000 parsek, Küçük Magellan Bulutu 63.000 parsek. Bunlara benzer 20 kadar Samanyolu komşu galaksi var. Bunlar bir "mahallî grup" oluşturuyorlar. Her birinde milyarlarca yıldız bulunan 20 kadar galaksi birbirinin etrafında dönüyorlar. Bu

galaksiler arasındaki mesafeler de 50-600.000 parsek arasında. Evrende bunun gibi başka pek çok galaksi grubu var (Şekil 4).

1920'lerde ölçülen bu uzaklıklarla evrenle ilgili görüşlerimiz çok büyük bir değişikliğe uğradı. Hem evrenin boyutlarının hem de görelî konumumuzun anlaşılmasında Hubble çok önemli bir isim. Hubble daha önce geliştirilen yöntemlerle galaksilerin mesafelerini ölçtü ve spektrumlarından da Doppler kaymalarını inceledi. Sistematik bir kırmızıya kayma gözledi. Galaksi bizden uzaksa, uzaklaşma hızının da o ölçüde büyük olduğunu gördü. Evrende bir sürü çok uzak galaksi var. Bunların hepsi bizden her yönde kaçış halinde. İlk bakışta bu durum insana o zaman Güneş değilse bile galaksimiz bu kaçışın merkezindedir. İzlenimini veriyor. Fakat bu hızların başka bir merkezden nasıl görüneceğini düşünürseniz görüyorsunuz ki, hızların mesafelere oranla arttığı bir durum galaksilerin her birinden bakıldığında aynı şekilde görünecek. Bizim galaksimiz Samanyolu'nun özel bir statüsü yok. Galaksilerin her milyon parsekte 75 km/s artan bir kaçış hızı var (Bu sayıya Hubble sabiti deniyor. Değeri gözlemlerin zorluğundan ötürü epey belirsiz, 50-100 km/s/Mpc arasında). Artık çok büyük ölçeklerde maddenin dağılımı gözlemsel bir konu haline geldi. Eskiden evrenin yapısı bir felsefe konusu idi. Fakat şimdi en azından ulaşabildiğimiz mesafelere kadar bu yapının ne olduğunu gözlemsel olarak, bir fizik ve astronomi konusu olarak tartışabiliyoruz.

Geldiğimiz noktayı vurgulayalım. Güneş sistemi içinde bulunduğu Samanyolu'nun özel bir yerinde, merkezinde değil, kenarında. Güneş, Samanyolu'ndaki on milyarlarca yıldız arasında sıradan bir yıldız. Samanyolu da on milyarlarca galaksiden biri. Benzer galaksilerin çok uzak mesafelere kadar gözlenebildiği bir evren ile karşı karşıyayız. Bu evren dinamik bir evren. Bir merkezi yok, galaksiler birbirinden kaçış halinde. Yeterince büyük ölçeklerde bakıldığı zaman evrenin her bir parçası aynı ortalama özelliklere sahip. Yani birim hacimdeki galaksi sayısı vs. aynı. Her yöne bakıldığında da aynı özellikleri görüyoruz. Yakın ölçekle bakıldığı zaman tabii ki bu simetri bozuluyor. Güneş'in gezegenleri var. Çevremizde en yakın birkaç yıldız şu veya bu yönde. Yani "küçük" ölçeklerde her yönde aynı manzarayı görmüyoruz. Sonra galaksimiz var. Galaksimiz de izotropik, simetrik yapıda değil. Dolayısıyla soru şu: Evrenin ortalama homojenliği (tek düzeliği) hangi mesafe ölçeğinden sonra başlıyor? Nereye kadar yapı var? Son yıllarda bu konuda şaşırtıcı gözlemler oldu. Epeyce büyük ölçeklere kadar yani 100 milyonlarca parsek gibi ölçeklere kadar, boşluklar ve galaksi gruplaşmaları gözleniyor. Bu ölçekler de dahi galaksiler her yöne rastgele dağılmış noktalar değil. Ama daha da büyük ölçeklerde galaksi dağılımı homojen. Galaksi dağılımındaki bu yapının niteliği ve kökeni astronomi ve kozmolojinin en önemli güncel çalışma konularından biri.

Bu yazı Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Araştırma Topluğunun düzenlediği bir konuşmanın metnidir.