

Yıldızların uzaklıkları ve uzay hareketleri

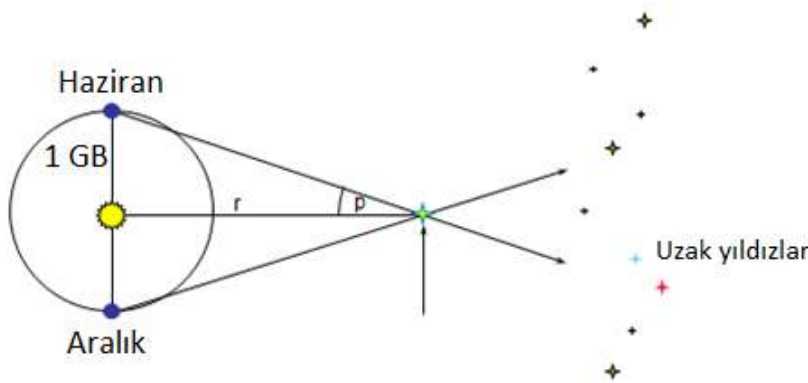
Zeki Aslan

Çıplak gözle ya da teleskopla yıldızlara ve diğer gök cisimlerine bakarak onların gerçek parlaklıklarını ve gerçek büyüklüklerini algılayamayız. Nesnenin görünür parlaklığını saldığı toplam ışınım enerjisine, gözlenen açısal boyutunu gerçek fiziksel büyüklüğüne ve gözlenen açısal ve doğrusal hızını gerçek uzay hızına dönüştürmek için uzaklık bilgisine gereksinim vardır. Çift yıldızlarda gözlenen yörünge bilgisinden bileşenlerin kütlelerini hesaplamak için uzaklıklarının bilinmesi gerekir. Bu yazıda, AÖS derslerine ek olsun diye, önce yıldızların uzaklıklarının nasıl ölçüldüğü sonra da uzay hızlarının nasıl hesaplandığı kısaca anlatılacaktır.

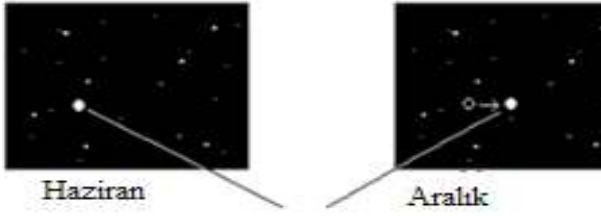
Yıldız uzaklıkları- Paralaks (ıraklık açısı) yöntemi

İşaret parmağınızı gözlerinizden 30 cm kadar uzakta tutunuz ve parmağınızın ucuna önce bir gözünüzle sonra diğer gözünüzle bakınız. Çok uzak nesnelere göre parmağınızın ucunun belli bir açı kadar yer değiştirdiğini görürsünüz. Parmağınızı kendinizden uzaklaştırdıkça yer değiştirme açısı küçülür. Şimdi aynı işi çok uzaktaki bir cisimle yapınız, yer değiştirme olmadığını göreceksiniz. Yer değiştirme açısı cismin gözünüzden uzaklığının bir ölçüsüdür.

Bir yıldızdan Yer-Güneş uzaklığını gören p açısına o yıldızın *paralaksı* (*ıraklık açısı*) denir. (Yer-Güneş uzaklığına Astronomi Birimi ya da Gök Birimi (GB) denir). Bir yıldızın bulunduğu bölge 6 ay ara ile bir teleskopla fotoğraflanırsa yıldız çok uzak yıldızlara göre $2p$ açısı kadar yer değiştirir (Şekil 1), bu yer değiştirme ölçülebilmektedir.



Şekil 1a. Bir yıldızdan Yer-Güneş uzaklığını (1 GB) gören p açısına o yıldızın *paralaksı* (*ıraklık açısı*) denir. Şekilden anlaşılacağı gibi yıldız ne kadar uzaksa p o kadar küçük olur. Bir yakın yıldızın görülen doğrultusu çok uzak yıldızlara göre $2p$ kadar yer değiştirir.



Şekil 1b. Yıldız, fotoğraflar arasında 0,5 açısaniesi yer değiştirmiştir. Paralaks bunun yarısıdır, yani 0,25 açısaniesi. (1 açısaniesi (simgesi ") = 1 / 3600 derece).

Paralaks yöntemi astronomide uzaklıkları doğrudan ölçmenin tek yoludur. Fizik bilgisi gerektirmez, sadece geometriye dayanır. Şekil 1a'dan, tanjant formülü kullanılarak

$$r = \frac{1 AB}{\tan p}$$

yazılabilir. Yıldızlar için p açısı her zaman 1 açı saniyesinden küçüktür. 1 saniyelik açı başparmağınızın genişliğini 4 km uzaktan gören açıya eşittir; ya da 100 metre uzaklıktan bakınca 0,48 milimetre uzunluğu gören açı 1 açı saniyesidir. Trigonometri bilgimize göre, bu kadar küçük açılar için $\tan p$ yerine p açısının radyan cinsinden değerini yazabiliriz. 1 radyan 206265 açı saniyesi olduğuna göre (bunu hesaplayabilirsiniz)

$$r = \frac{1 AB}{p_{rad}} = \frac{1 AB}{\frac{p''}{206265}} = \frac{206265 AB}{p''}$$

yazılabilir. Bu formülde p yerine 1 yazarsak $r = 206265 AB$ olur. Bu uzaklığa parsek (**parallaxsecond**) (pc) denir ve astronomide uzaklık birimi olarak kullanılır. Bir başka tanımla, Yer-Güneş uzaklığını 1 açısaniese altında gören uzaklığa 1 parsek denir. 1 pc = 3.26 ışık yılı olduğu kolayca hesaplanabilir. pc cinsinden yukarıdaki formül şöyle olur:

$$r(pc) = \frac{1}{p''}$$

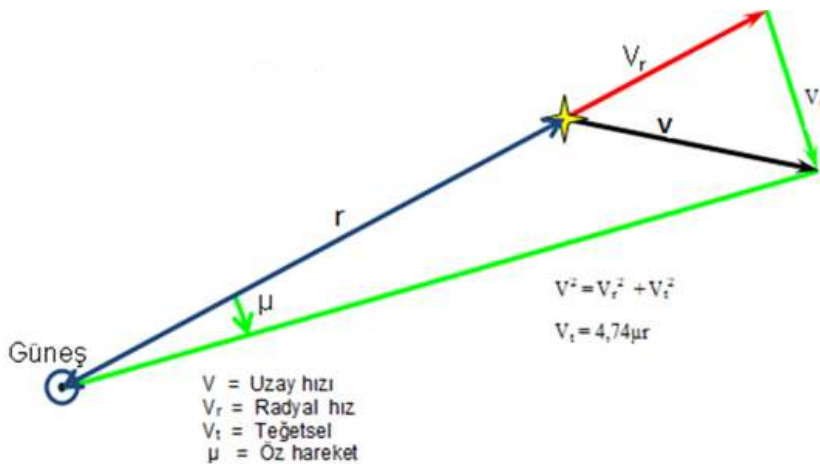
Örnekler

1. Bize en yakın yıldızın (Proxima Centauri) ıraklık açısı $p = 0'',75$ dir, uzaklığı $r = 1/0,75 = 1,33$ parsek = 4,3 ışık yılı olur. Yani şu anda yıldızdan aldığımız ışık, yıldızdan 4,3 yıl önce çıkan ışıktır.
2. Paralaksı $p=0,02''$ olan bir yıldızın uzaklığı: $r = 1/p = 1/0,02 = 50$ pc

Paralaks evrendeki uzaklıkları bilmemiz açısından bir anahtardır. Yakın yıldızlar, evrende paralaksı ölçülemeyecek kadar uzak olan diğer cisimlerin uzaklıklarını hesaplamak için basamak taşları olarak kullanılır.

Yıldızların uzay hızları

Bir yıldızın Güneş sistemi kütle merkezine göre hızına onun *uzay hızı* denir. Bunun Güneş sistemi kütle merkezini yıldızla birleştiren doğrultudaki bileşenine *radyal (dikine) hız*, buna dik doğrultudaki bileşenine *teğetsel hız* denir. Daha basit tanımla (Güneşten baktığımızı varsayarak) bir yıldızın bakış doğrultumuzdaki hızına radyal (dikine) hız, çok uzak yıldızlara göre gökyüzüne bir yıldızdaki açısal yer değiştirme miktarına *öz hareket*, öz hareketin km/s cinsinden değerine *teğetsel hız* denir (Şekil 2).



Şekil 2. Bir yıldızın uzay hızı ve bileşenleri. V_t teğetsel hız formülündeki 4,74 katsayısı, birimi açısaneye/yıl olan öz hareketi km/s birimine çeviren katsayıdır; r uzaklığının birimi parsektir.

Radyal hızlar, yıldız tayfında gözlenebilen Doppler Kayması ile ölçülür (Bkz [Zeynel Tunca'nın AÖS sunumları](#)). Bakış doğrultumuza dik hareket eden bir yıldız Doppler kayması göstermez; radyal hız uzaklıktan bağımsızdır. Uzak yıldızların öz hareketi genellikle daha küçük olur. Çünkü yıldızların V uzay hızları sonludur ve Şekil 2 den görüleceği gibi, V_r ile V arasındaki açı küçük ise V_t de küçük olur, hatta açı sıfır ise öz hareket sıfır olur; yani bakış doğrultumuzda hareket eden (bize yaklaşan ya da uzaklaşan) bir yıldız öz hareket göstermez. Ayrıca, V_t teğetsel hız formülünden anlaşılacağı gibi

uzaklık r ile öz hareket μ ters orantılıdır, verilen bir V_t için r büyüdükçe μ küçülür.



Şekil 3. Öz hareketler nedeni ile takım yıldızların şekli zamanla yavaşça değişir. Bu fotoğraftan anlaşılacağı gibi, öz hareketler küçük olduğu için, Büyük Ayı takım yıldızın şeklinin değiştiğini çıplak gözle ancak on binlerce yıl sonra fark edebiliriz.

Uzay Çağında Paralaks ve Öz Hareket Ölçümü

Samanyolu gökadamızın yapısını öğrenmek için çok sayıda yıldızın uzaklığını ve uzay hareketlerini ölçmemiz gerekir. Güçlü teleskoplarla, uzaklıktan bağımsız olarak çok sayıda uzak yıldızın radyal hızını ölçebiliriz. Ancak en iyi teleskoplarla bile Yer'den ölçülebilen en küçük paralaks $0,01''$ kadardır. Bu demektir ki ancak 100 pc uzaklığa kadar anlamlı ölçüm yapılabilir ve uzaklıklar ancak % 10 hata ile ölçülebilir. Uzay çağından önce yalnız 3000 kadar yıldızın uzaklıkları anlamlı duyarlılıkla ölçülebilmisti.

Bugün paralaks, sayısal görüntüleme (CCD) teknikleri ile ölçülür. Yer atmosferinin buğulama etkisinden kurtulmak ve çok sayıda yıldızın daha hassas ıraklık açılarını ölçmek için Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından 1989'da Yer yörüngesine HIPPARCOS (High Precision PARallax Collecting Satellite) adlı bir uydu yerleştirildi.



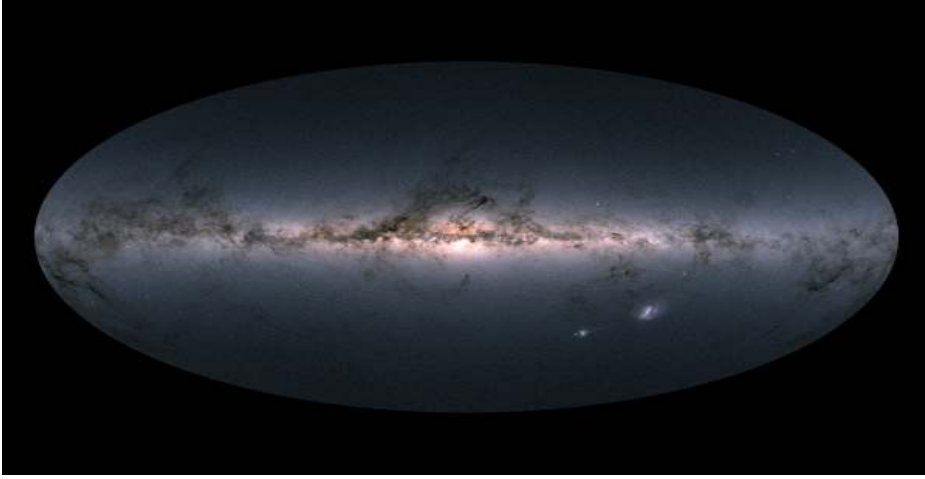
Hipparcos uydusu (<http://sci.esa.int/hipparcos/>)

Hipparcos uydusu 120 000 kadar yıldızın 0",002 duyarlılıkla paralaks ölçümünü yaptı. Kataloğu 1997 de yayınlandı. Hipparcos kataloğundaki yıldızların öz hareketleri yaklaşık bir mili açisaniye, yani milyonda bir derecenin dörtte biri duyarlılığındadır. Bu, Yerden bakınca, Ay yüzeyinde duran bir astronotun boyuna karşılık gelir. Böyle bir hassasiyet Yerden yapılan ölçülerle elde edilemez.

Hipparcos uydusundan sonra, Avrupa Uzay Ajansı Temmuz 2014 de kısaca **Gaia** diye bilinen astrometri uydusunu Yer yörüngesine yerleştirdi. 25 Nisan 2018 de Gaia uydusu ile elde edilen en zengin yıldız kataloğu yayınlandı. Bu katalog 1,3 milyardan fazla yıldızın paralaksını, öz hareketini, radyal hızını, parlaklığını ve renk gibi diğer verilerini listeliyor. Güneş sistemimiz içindeki asteroidlerin ve Samanyolu Gökadamızın ötesinde çok sayıda yıldızın yüksek duyarlılıklı ölçümlerini de veriyor. Katalogdaki parlak yıldızların bir kısmı için duyarlılık düzeyi Yerden bakınca bir demir lirayı Ay yüzeyinde ayrıştıracak düzeydedir. Gaia uydusu verileri ile yapılan bilimsel çalışmalar devam ediyor.



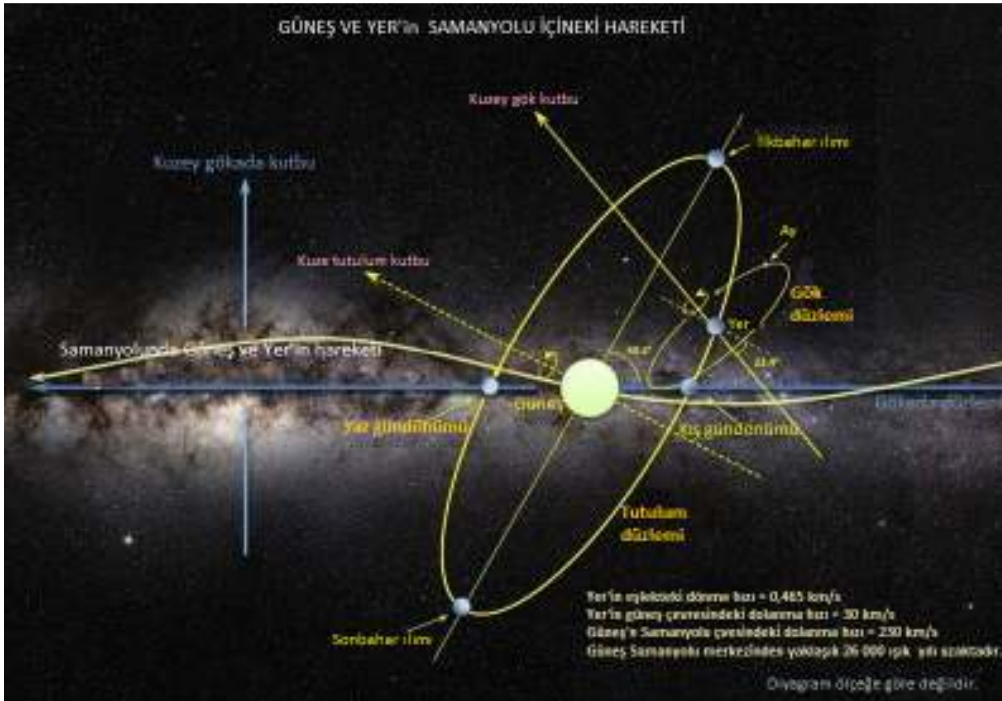
Gaia uydusu (<http://sci.esa.int/gaia/>)



Gaia'nın elde ettiği verilerle Samanyolu gökadamızın 3 boyutlu renkli görüntüsü. (<http://sci.esa.int/gaia/60169-gaia-s-sky-in-colour/>). Bu bir resim değil, konumları (enlem ve boylamı), uzaklıkları ve farklı dalgaboylarında parlaklıkları ölçülen yıldızların noktalanmasından oluşturulmuştur.

Güneş Sisteminin Hareketi

Güneş ve Güneş sistemi, Güneş komşuluğundaki yıldızlara göre, saniyede yaklaşık 20 km hızla Herkül takımyıldızı içinde bir noktaya doğru hareket eder. Tüm Güneş sistemi, Samanyolu merkezi çevresinde yaklaşık 230 km/s hızla dolanır ve dolanma dönemi yaklaşık 230 milyon yıldır. Güneş komşuluğundaki yıldızlar da benzer fakat birbirlerinden farklı hızlarla dolanırlar.



Yer ve Güneş'in Samanyolu çevresindeki hareketi (eso <https://www.eso.org/public/images/eso0932a/>). Güneş sistemi, yaklaşık 3 milyon yıl önce Samanyolu düzleminde geçti; şu anda düzleminin kabaca 50 ışık yılı kuzeyindedir ve en büyük kuzey uzanımına yaklaşık 250 milyon yılda ulaşacaktır.