

*Doç. Dr., İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi Astronomi ve
Uzay Bilimleri Bölümü ve
TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi
**Prof. Dr., Çanakkale 18 Mart
Üniversitesi, Fen-Edebiyat
Fakültesi Fizik Bölümü ve
TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi

Güneş Sistemi Dışı Gezegenler Nasıl Bulunur?

Son yıllarda gözlem tekniklerindeki ilerlemeler sayesinde, Güneş Sistemi dışı gezegen araştırmaları gözlemsel astrofiziğin konuları arasına girmiş bulunuyor. Bazı çok büyük ve yıldızına uzak gezegenler büyük teleskoplarla doğrudan seçilebiliyor olsalar da özellikle bizim sistemimizdekilere benzer gezegenlerin en gelişmiş teleskoplarla bile doğrudan gözlenmesi pek olası değil. Gökbilimciler, bu gezegenleri bulabilmek için çeşitli yöntemlerden yararlanıyorlar.

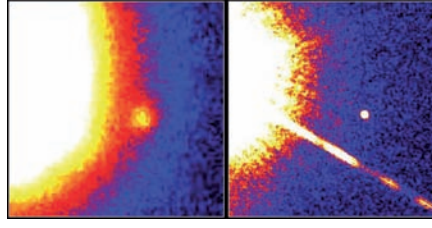


Bilim dilinde Güneş Sistemi'nin dışındaki gezegenlere "exoplanet" deniyor. İngilizce'de "exo" sözcüğü "dış, dıştaki", "planet" de gezegen anlamına geliyor. Bu bilgiden hareketle biz de "dışgezegen" sözcüğünü kullanabiliriz; ama bu sözcük Güneş Sistemi'nde, yörüngesi Dünya yörüngesinden daha dışta bulunan gezegenler için kullanılan bir sözcük. Bu nedenle Güneş Sistemi dışındaki gezegenleri anlatmak için "ötegezegen" sözcüğü daha uygun oluyor. Astrobiyologlara göre 1995'ten beri keşfedilmiş 335 ötegezegenin 50'den çoğu büyük olasılıkla yıldızlarının çevresindeki yaşanabilir kuşakta (yıldızından, yaşamın ortaya çıkabileceği koşulların bulunabileceği bir uzaklıkta) yer alıyor. Ne var ki bunların hiçbirisi Dünya'ya benzemiyor. Bu gezegenler genelde yıldızlarına çok yakın, kütleleri çok büyük ve yörüngeleri çok basık, Jüpiter benzeri, dev gezegenler. Bugünkü teknolojiyle ancak böyle büyük gezegenler keşfedilebiliyor; çünkü keşiflerde kullanılan yöntemlerin duyarlılığı şimdilik böyle gezegenlerin varlığının saptanmasına olanak veriyor.

Ötegezegen keşiflerinde kullanılan belli başlı yöntemleri aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

Doğrudan Görüntüleme Yöntemi

Yıldız ve gezegeni teleskopa takılan bir CCD kameralarla görüntülemek aklı gelen ilk yöntem. Yıldızın ışığını yansıtan bu gezegenler, çevresinde dolandıkları yıldızdan milyarlarca kat daha



Büyük parlak cisim Gliese 229 adlı yıldız, küçük parlak cisim de Gliese 229b adlı kahverengi cücedir. Soldaki resim Palomar Gözlemevi'nin 152 cm'lik teleskobuyla, sağdaki resim Hubble Uzay Teleskopu'yla çekilmiştir.

sönüktür ve bizden uzaklıklarına bağlı olarak yıldızdan en çok birkaç yay saniyesi açılarda uzaklıkta görünürler. Bir yay saniyesi, bir derecenin 3600'de biridir. Hayal gücümüzü kullanarak, farları yanan bir arabaya 300 km uzaktan baktığımızı düşünelim. Bu uzaklıktan, iki farın arasındaki açılarda uzaklık yaklaşık 1 yay saniyesidir ve insan gözü iki farı tek far gibi algılar. Çevresinde dolandığı yıldız bundan bile daha yakın görünen bir gezegenin görüntülenmesi, çok büyük teleskoplarla bile neredeyse olanaksızdır. Atmosferimizin bozucu etkilerinin çok olduğu görünür ışıktaki gezegenin parlaklığının yıldızın parlaklığına oranı, gezegenin büyüklüğüne, yıldız yakınlığına ve gezegen atmosferinin ışığı nasıl yansıttığına bağlıdır. Bu oran, Güneş-Jüpiter ikilisinde milyarda bir kadardır.

Bugüne kadar bulunan 335 ötegezegenin yalnızca 55'i bu yöntemle görüntülenebildi. Yine de bunların birer ötegezegen oldukları kesin değil. Çünkü bu cisimlerin ötegezegen olup olmadıklarına karar vermek için yalnızca görüntü yeterli olmayabiliyor.

Yıldız olamayacak kadar küçük kütleli, gezegen olamayacak kadar da büyük kütleli bir kahverengi cüce olan Gliese 229b, Dünya'dan bakıldığında Gliese 229

yıldızına 7 yay saniyesi uzakta görünür. Aralarındaki parlaklık oranı 1/5000'dir ve iki cisim arasındaki gerçek uzaklık da Güneş-Plüton uzaklığı (yaklaşık altı milyar kilometre) kadardır. Eğer bu sistemde bir kahverengi cüce yerine Jüpiter benzeri bir cisim olsaydı, cisim yıldızdan 14 kat daha yakın ve parlaklığı da Gliese 229b'den 200.000 kat daha az olurdu.

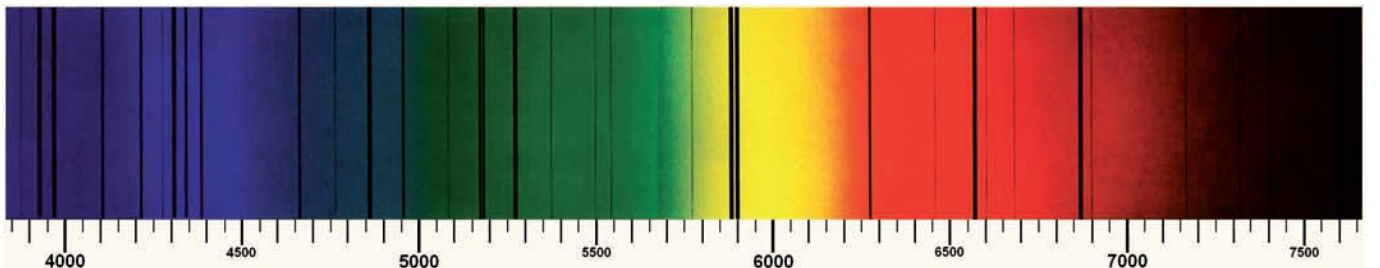
Dinamik Tedirginlikler

Ötegezegen keşfi için gezegenin yıldızda oluşturduğu dinamik tedirginlikler de kullanılabilir. Çevresinde gezegen dolanan bir yıldız, kütleçekim kuvveti sonucunda gezegenle ortak bir kütle merkezinin çevresinde yörüngesel bir hareket yapar ve gözlenebilen üç olguda periyodik değişimler olur: Yıldızın dikine hızında, yıldızın görünen yerinde ve yıldızdan gelen ışığın bize ulaşma süresinde (ışık-zaman etkisi). Şimdi bunlara tek tek bakalım ve gözlenebilirliklerini gözden geçirelim.

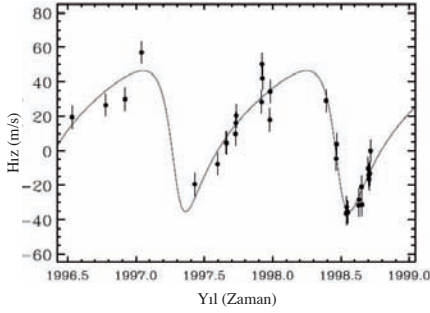
Yıldızın Dikine Hız Değişimleri

Bir cisimden gelen ışığın şiddetinin dalgalı boyuna göre dağılımına tayf denir. Yeterince yüksek duyarlılıkla gözlenen yıldız tayfında, yıldızın atmosferindeki, çevresindeki ya da gözlemciyle yıldız arasındaki maddelerin kimyasal türlerine ve fiziksel koşullara göre siyah veya parlak tayf çizgileri görülür. Bir yıldızın tayfı, onun fiziksel ve kimyasal birçok özelliğini anlatan bir mektup gibidir.

Çizgilerin tayf üstündeki yerleri, yıldız bizden uzaklaşıyorsa kırmızıya doğru, yaklaşılıyorsa maviye doğru, uzaklaşma ya da yaklaşma hızının büyüklü-



Bir yıldızın tayf örneği. Renklendirme alt eksenindeki dalgalı boyuna uygun şekilde yapılmıştır. Dalgalı boyunun birimi, 1 cm'nin 100 milyonda biri olan angstromdur. Soğurma çizgilerinin siyah görünmelerinin nedeni, çizgiye karşılık gelen dalgalı boyundaki fotonların sayısının öteki dalgalı boyundakilere göre daha az olmasıdır.



HD 210277 adlı yıldızın çevresinde yaklaşık 440 günlük periyotta dolanan, kütlesi Jüpiter'in 1,23 katı olan bir ötegezegenin, yıldızın dikine hızında meydana getirdiği değişimi gösteren hız eğrisi görülmüştür. Grafikteki noktalar dikine hız ölçümlerini, eğri de ölçümlere en uygun dikine hız eğrisini gösteriyor.

güyle orantılı olarak kayar. Bu olayın temel fizikteki Doppler etkisidir. Tayf çizgilerinin ne kadar kaydığına bakılarak ölçülen hıza yıldızın dikine hızı denir. Bu hızdan Dünya'nın dönme hızından ve yörünge hareketinden gelen katkılar çıkartılırsa, yıldızın Güneşe göre dikine hızı bulunur.

Normal yıldızların Güneşe göre dikine hızları genelde değişmez. Ama yanında bir cisim varsa ve yıldız bu cisimle ortak bir kütle merkezinin çevresinde dolanıyorsa, hız artık sabit kalmaz. Sönüklüğü yüzünden görülemeyen bu cisim pekâlâ bir başka sönük yıldız ya da gezegen olabilir. Dikine hızın zamana karşı grafiği çizildiğinde dikine hız eğrisi bulunur. Eğrinin genliğinden cismin kütlesinin ancak alt sınırı hesaplanabilir.

Eğer gezegenin yörünge düzlemi bakış doğrultumuza dikse, yıldızın Güneşe göre hızı değişmez, sabit kalır. Bu durumda gezegenin varlığı ya da yokluğu bilinemez. Ancak yörünge düzlemi bakış doğrultusuyla paralel veya ona göre eğimliyse dikine hız değişimi gözlenebilir.

Ötegezegenler hangi büyüklükte dikine hız değişimleri ortaya çıkartabilirler? Yalnızca Güneş ve Jüpiter'den oluşan bir sistem olduğunu varsayalım. Bu sistemi 90°'lik eğim açısıyla başka bir yıldızdan gözleyerek Güneş'in dikine hızlarını ölçseydik, Güneş'in dikine hız eğrisinin genliği 12,5 m/s olurdu. Dünya-Güneş ikilisi için de bu değer yalnızca 0,1 m/s'dir. Böyle çok küçük değişimler ancak büyük teleskoplara bağlı çok yüksek ayırma güçlü özel tayfçekerlerle belirlenebilir.

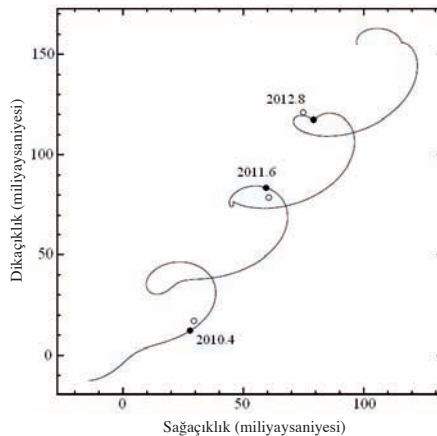
Yıldızın Görünen Yerindeki Değişim

Ötegezegenin yıldızda oluşturacağı kütleçekimsel tedirginlikle yıldızın görünen yeri de değişir. Yıldızla gezegen ortak kütle merkezi çevresindeki bir yörüngede hareket ettiklerinden, yıldız uzayda ileri geri hareket eder. Bu ileri geri hareket dikine hız ölçümleriyle ya da yıldızın görünen yerinin değişimi olarak saptanabilir. Astrometrik konum değişiminin büyüklüğü gezegenin kütlesine, yıldızın uzaklığına ve yıldızın bize olan uzaklığına bağlıdır. Yıldız ne kadar uzakta konum değişimi o kadar küçük görünür ve ölçülmesi de o derece güç olur. Gezegenin kütlesi küçükse konum değişimi de az olur.

Diyelim ki Güneş-Jüpiter ikilisine 10 parsek (1 parsek kabaca Dünya-Güneş uzaklığının 206.000 katıdır) uzaktan bakıyoruz. Bu durumda Güneş'in astrometrik konumunda meydana gelecek değişimin genliği bir yay saniyesinin ancak 2000'de 1'i kadar olur. Güneş-Dünya ikilisi için de bu değer bir yay saniyesinin kabaca üç milyonda biridir. Yeryüzündeki teleskoplarla Jupiter kütlesindeki yıldızların bile konum değişimlerini ölçmek neredeyse olanaksızdır.

Işık - Zaman Etkisi

Ölmüş yıldız kalıntılarının bir türü olan, çok hızlı dönen ve manyetik alan şiddeti yüksek olan nötron yıldızları, 8-20 Güneş kütlesindeki yıldızlarda meydana gelen süpernovalar sonucunda oluşurlar.



Sanal bir ötegezegenin, çevresinde dolandığı yıldızın görünen yerinde yıllar boyunca meydana getirdiği değişim.

şurlar. Nötron yıldızlarının manyetik eksenleriyle dönme eksenleri çakışmadığında, eğer bu eksenlere uygun açıyla bakıyorsak, nötron yıldızının dönme periyoduna uygun bir periyotta, düzenli radyo sinyalleri alırız. Atarca denen bu tür bir nötron yıldızı, her dönüşünde bize doğru bir radyo sinyali atımı gönderir. Eğer atarcanın çevresinde bir gezegen varsa, bu atımların bize ulaşma zamanlarında değişim olur. Atarcaların çevresindeki gezegenleri, atımları izleyerek belirleyebiliriz. Bu tür gözlemlerle, örneğin PSR 1257+12'nin çevresinde üç gezegen bulundu. Bu atarcanın kendi çevresinde dönme periyodu yalnızca 6,2 milisaniyedir; yani saniyede 160 kez döner. Ama biz Güneş benzeri yıldızların çevresinde dolanan, üzerinde yaşanabilir gezegenler arıyoruz. Bir nötron yıldızının çevresinde dolanan ve yaşamı destekleyecek bir gezegen bulunması pek olası değildir.

Mikromercek Etkisi

Einstein ve Link'in 1936'da düşündüğü kütleçekimsel mercek etkisine göre bir kaynaktan gelen ışık ışınları büyük kütleli bir cismin yanından geçerken odaklanırlar. Odak noktasındaki gözlemci yıldız daha parlak görür. Kütleçekimsel mercek etkisi aynı zamanda bazı cisimlerin çoklu görüntülerinin oluşmasına ve bazılarının da görüntülerinin eğrilmesine yol açar. Fondaki kaynak, aradaki kütleçekimsel mercek ve gözlemci arasındaki görelî hareket nedeniyle, cismin parlaklaşma ve bunu izleyen sönükleşmesi saatler mertebesinde olur. Bu etkinin belirlenebilmesi deneysel olarak çok zordur. Ölçülebilir bir parlaklaşma için gözlemcinin konumunun çok uygun olması gerekir. Bilinen ötegezegen adaylarının yalnızca yedisinde mikromercek etkisi görülebilmıştır.

Gezegen Diskleri

Gezegenleri görüntülemenin son derece zor, hatta çoğu durumda olanaksız olmasına karşın, gezegenlerin içinde oldukları ve yıldız çevresindeki diskleri

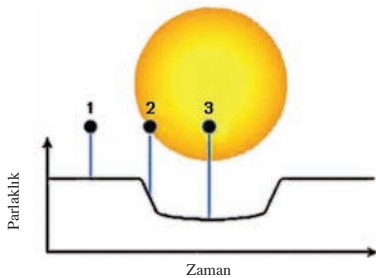
gözlemek görece kolaydır. Çünkü diskler yıldızdan çok uzaklara (Güneş-Dünya uzaklığının 1000 katına) kadar uzanabilirler gibi, küçük taneciklerden oluşan yüzeyleri de onları gezegenlerden çok daha parlak yapar.

Başka Yöntemler

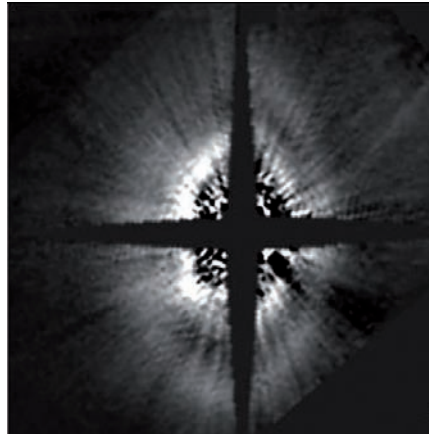
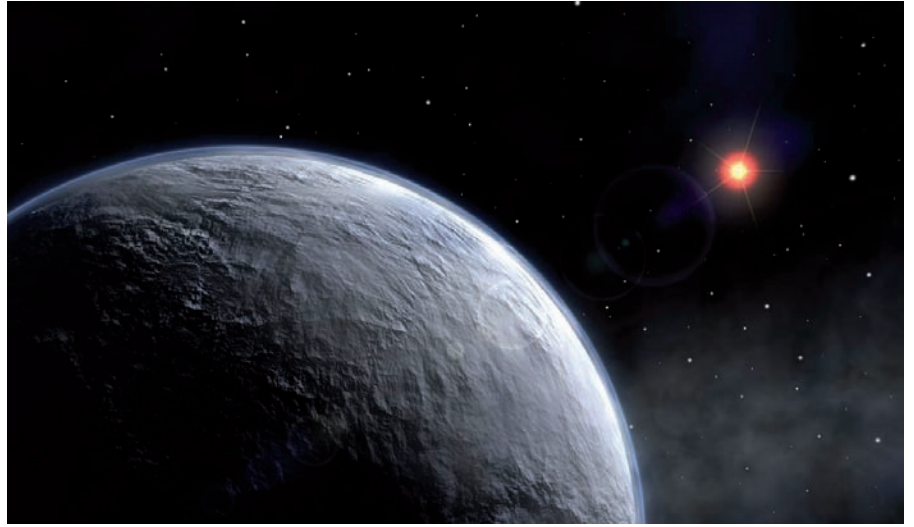
Ötegezegenlerin belirlenmesi için başka yöntemler de vardır. Örneğin gezegen oluşumunun geç evrelerinde meydana gelen dev çarpışmalarla ortaya çıkan kızılötesi ışınım saptanabilir. Ama bu dalgalılarına duyarlı teleskoplarla gözlem yapmak gerekir. Eğer ötegezegenin yüksek şiddette bir manyetik alanı varsa, bununla yıldızın manyetik alanının etkileşmesi sonucunda radyo dalgalılarında ışınım yayınlanabilir. Ancak beklenen şiddet var olan gözlemsel sınırların çok altında olduğu için çok büyük radyoteleskoplarla gözlem yapmak gerekir.

Ötegezegen Geçişleri

Otto Struve'un 1952'de düşündüğü yöntem kavramsal bakımdan basittir: Uygun geometrik koşullarda, ötegezegen çevresinde dolandığı yıldızın önünden geçerken yıldız ışığının şiddetini azaltır ve yıldızın ölçülen parlaklığı bir miktar düşer. Bu düşüş o kadar azdır ki çok uzakta bulunan bir projektörün önünden geçen bir sineğin etkisiyle karşılaştırılabilir. Bu olay gezegenin yörünge periyodunda yinelenir. Güneş-Jüpiter ikilisinde böyle bir geçiş Güneş'in parlaklığını 11,9 yılda bir 30 saat süreyle yalnızca %1 azaltır. Parlaklıktaki bu azalma ölçülebilir olmasına karşın çok



Bir ötegezegen çevresinde dolandığı yıldızın önünden geçerken uygun doğrultudan bakan gözlemci için yıldızın parlaklığında azalma olur.



HD141569 adlı yıldızın çevresinde gözlenen disk. Bu fotoğraf Hubble Uzay Teleskopu'yla çekilmiştir.

küçüktür. Dünya-Güneş ikilisinde parlaklık azalma oranı %0,008, geçiş süresi yolda bir kez yalnızca 13 saattir. Bir ötegezegenin yıldızının önünden geçişi seyrek ve çok kısa sürer; böyle bir geçiş herhangi bir doğrultudan herhangi bir zamanda gözlenme olasılığı çok düşüktür. Gezegeni olduğu bilinen yıldızlardan şimdilik 51'inde bu geçişler gözlemlendi. Ötegezegen geçişi gözlenen ilk yıldız HD 209458'dir. 0,7 Jüpiter kütleli gezegen, yıldızın parlaklığını 3,5 gününde bir 2,5 saat süreyle azaltıyor.

Ötegezegen geçişlerini gözlemek için duyarlı parlaklık ölçümü yapılması gerekir. Çünkü bir gezegenin bir yıldızın önünden geçişi sırasında yıldızın parlaklığındaki azalma çok azdır ve Dünya atmosferi özellikle küçük ötegezegenlerin geçişlerinde meydana gelen parlaklık azalmalarının ölçülmesini engeller.

Küçük ötegezegen geçişleri sonucunda oluşan parlaklık azalmaları ancak uzay teleskoplarıyla ölçülebilir. ABD Ulusal Uzay ve Havacılık Dairesi (NASA) yetkilileri KEPLER projesiyle böyle bir teleskopun uzaya yerleştirilmesini amaçlıyor. 95 cm çaplı bu teleskopla, belli bir gökyüzü bölgesinde çok sönük olanlar dahil Güneş'e benzeyen 80.000 yıldız sürekli olarak gözlenebilecek. Bu sayede çeşitli tipte yıldızların çevresindeki yaşanabilir kuşakta dolanan Dünya kütleli gezegenler belirlenebilir. Avrupa Uzay Ajansı'nın (ESA) Dünya yörüngesindeki yalnızca 27 cm çapındaki CO-ROT uzay teleskopu, gözlemlerine 3 Şubat 2007'de başladı ve şimdiden dört yeni ötegezegen buldu bile.

Böyle pahalı projelerin yanı sıra, örneğin 20-30 cm çaplı teleskoplarla ve yeryüzünden yapılan gözlemlerle ötegezegen geçişleri aranmasını amaçlayan projeler de yok değil. Neden bir tane de sizin olmasın? Çok pahalı olmayan teleskoplar ve kameralar kullanarak da yıldızların parlaklıklarındaki değişimleri izlemek ve ötegezegen adaylarını bulmak olası. Elbette çok dikkatli ve titiz gözlemler yapmak şartıyla.

Kaynaklar

Perrmann, M.A.C., "Extra-solar Planets" *Reports on Progress in Physics*, Cilt 63, s.1209, 2000.
Milone, E. F., Young, A. T., "Infrared Passbands for Precise Photometry of Variable Stars by Amateur and Professional Astronomers" *JAAVSO*, Sayı 36, 2008.
Marcy, G., Butler, R. P., Vogt, S. S., Fischer, D., Liu, M. C., "Two New Candidate Planets in Eccentric Orbits", *ApJ*, Sayı 520, s. 239-247, 1999.
<http://exoplanet.eu/>