

BAŞKA DÜNYALAR

Yıldızları yutan dev karadelikler, evrenin uzak köşelerinde parlayan kuasarlar, çarpışan gökadalalar, bir çay kaşığı kadarı yüzlerce ton kütleyle sahip nötron yıldızları... Hep bizi hayrete düşüren, ama bir o kadar da heyecanlandırıcı gök olayları. Bu görkemli olaylar, son 40-50 yıl içinde keşfedildi. Ancak, bunlar kadar görkemli olmasa da, belki bizi bunlardan daha da fazla heyecanlandırıcı başka güneşlerin çevresinde dolanan başka gezegenlerin keşfedilmesiydi. 1995 yılından bu yana keşfedilen Güneş-dışı gezegen sayısı 105. Bu gezegenlerin hepsi Jüpiter gibi dev gezegenler. Ancak, bu başka yıldızların gezegen sistemlerinde sadece dev gezegenler bulunduğu anlamını taşıyor. Dünya benzeri gezegenlerin henüz bulunmamış olmasının tek nedeni, henüz eldeki teleskopların yeterince iyi görememesi. Gelecek birkaç yıl içinde Dünya benzeri gezegenlerin keşfedilmesi işten bile değil.

Binlerce yıl önce iyi birer gökyüzü gözlemcisi olan atalarımız, bazı gök cisimlerinin yıldızlardan farklı hareket ettiklerini gördüler. Galileo, teleskopunu gökyüzüne çevirene kadar, bu gök cisimlerinin, daha doğrusu her şeyin Dünya'nın çevresinde dolandığı sanılıyordu. Bir başka deyişle, o zamana değin Dünya'nın evrenin merkezinde durduğu düşüncesi hakimdi. Copernicus, Kepler ve Newton gibi bilim adamları, Dünya'nın ve öteki gezegen-

lerin Güneş'in çevresinde dolandığını gösterdiler. Böylece, gezegenlerin Dünya'ya benzer gök cisimleri olduğu anlaşıldı.

Eski çağlardan bu yana gözlenen Merkür, Venüs, Mars, Jüpiter ve Satürn'ün yanı sıra, 1781 ile 1930 yılları arasında keşfedilen, Uranüs, Neptün ve Plüton'un da bunlara eklenmesiyle, bilinen gezegen sayısı 9'a yükseldi. Son zamanlarda, özellikle 1980'li yıllarda, Carl Sagan'ın da dikkatleri bu

yöne çekmesiyle, Güneş gibi gezegenlere sahip yıldızlar olabileceği tartışmaları hız kazandı ve bu yönde çalışmalar başladı.

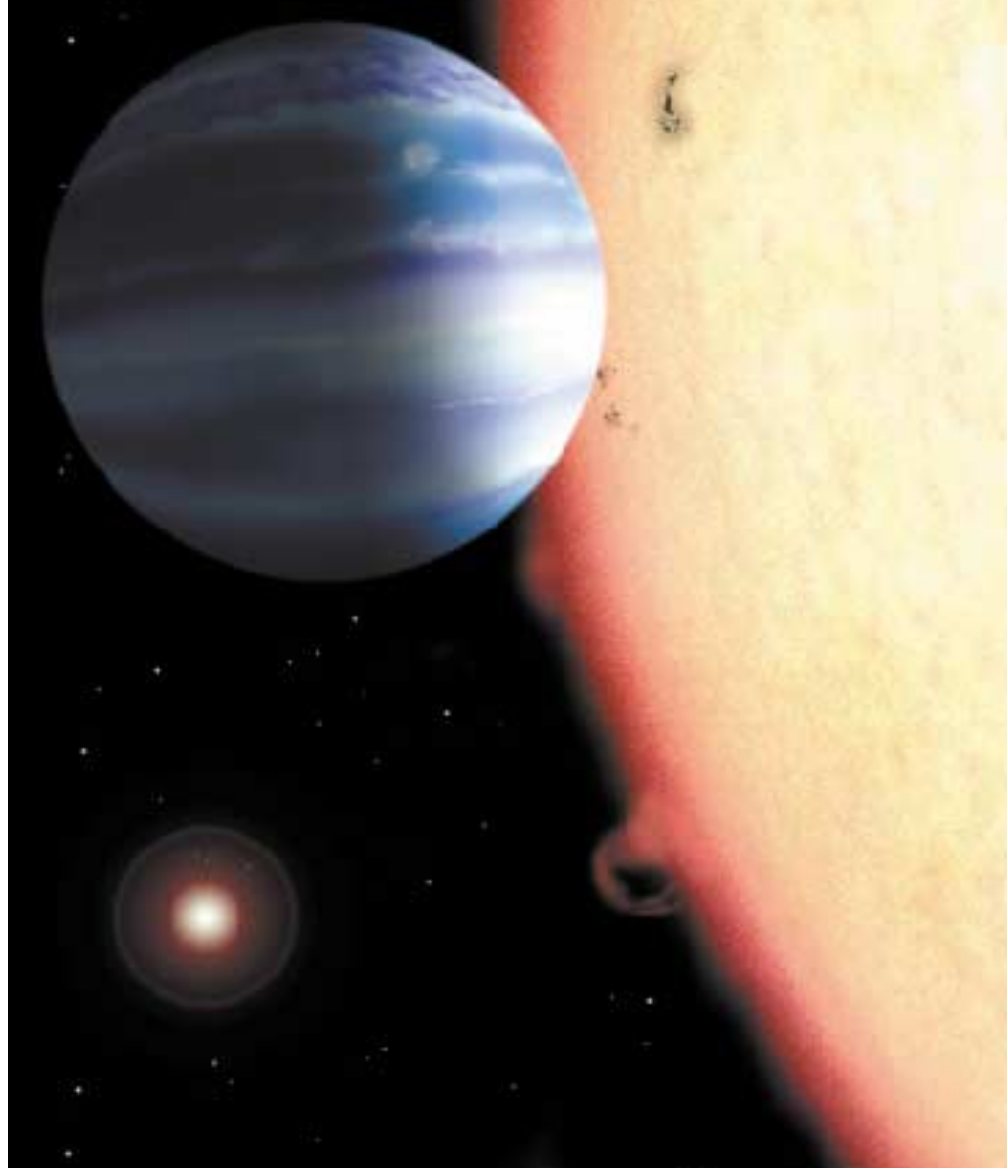
Güneş-dışı gezegenler, bize çevresinde dolandıkları yıldızın ışığını yansıtırlar ve yıldızlarından yaklaşık bir milyar kez daha sönük görünürler. Bu nedenle, yakın zamana değin, en yakın yıldız sistemlerinde bile, birbirine bu kadar yakın konumda yer alan iki gök cisminin ayırt edilmesinin

olanaksız olduğu düşünülüyordu. Ayrıntılı fotoğraflarda bile, yıldızın saçtığı ışığın içinde herhangi bir gezegenin görülmesi olanaksızdı. Bu nedenlerle, Güneş-dışı gezegen gözlemleri uzun süre boyunca hayalden öteye geçemedi.

Geçtiğimiz birkaç yıl içinde geliştirilen dolaylı gözlem teknikleri, araştırmacıların bu konudaki görüşlerini değiştirdi. Bu teknikler sayesinde, en azından yakınımızda bulunan yıldızların çevresindeki gezegenler saptanabiliyordu. Bu teknikler, gezegenlerin çevresinde dolandıkları yıldız üzerinde yaptıkları küçük etkilerin gözlenmesine dayanıyordu.

1991 yılında, Alexander Wolszczan ve Dale Frail adlı iki bilimadamı, bir atarcanın (pulsar) etrafında dolanan üç gezegen keşfettiklerini açıkladılar. Bu ölmüş bir yıldız da olsa, çevresinde dolanan gezegenler, gezegen sınıfına dahil edilip edilmeyecekleri tartışmalı olsa bile, keşfedilen ilk Güneş-dışı gezegenler oldular. Pulsarlar, manyetik özelliğe sahip, dönen nötron yıldızlarıdır. Manyetik kutuplarından yaydıkları güçlü radyo ışınımının doğrultusu bizim bakış yönümüzdeyse, radyo teleskoplarla yapılan gözlemlerde, gökcisminin her dönüşünde bir atma gözleriz. Normal koşullarda atarcalar, tıpkı atom saatleri gibi çok dakik saatlerdir. Saniyede onlarca ya da yüzlerce kez dönen atarcaların atmaları (pulse), her ne kadar düzgün salınsa da birçok etken onların düzeninde küçük bozulmalara yol açabilir. Onlarla aramızdaki madde, Dünya'nın dönüşü ve Güneş çevresindeki dolanışı gibi etkenler bunlar arasında. Tüm bu etkiler ölçülen verilerden çıkarıldığında, geriye kalan veri hâlâ düzenli değişimler gösteriyorsa, atarcanın çevresinde bir takım gezegenlerin dolanmakta olduğundan kuşkulananmak yerinde olur. Nitekim, 300 metre çaplı dev Arecibo radyo teleskopunu kullanarak yaptıkları gözlemlerde, PSR 1257+12'nin sinyallerini bir atom saatininkiyle karşılaştıran Wolszczan ve Dale, atarcanın hareketinde çok küçük salınımlar keşfettiler. PSR 1257+12 atarcasının çevresinde dolanan üç gezegenin varlığı bu şekilde keşfedilmiş oldu.

Güneş-dışı gezegenlerin keşfinden önemli role sahip olan yöntem, yıl-



dızların hareketinin gözlenmesine dayanan salınma ya da radyal hız tekniği. Aslında bu yöntem, pek yabancı olmadığı Doppler etkisine dayanıyor. Bir yıldızdan kaynaklanan ışığın dalgaboyu, yıldız bize yaklaşıyorsa, olması gerektiğinden daha kısa; yıldız bizden uzaklaşıyorsa, olması gerektiğinden daha uzun olur. Yıldızın içindeki her element belli bir dalgaboyunda ışınım yaydığından, bu değişime bakılarak yıldızın bize göre ne kadar hızla hareket ettiğiy duyarlı biçimde saptanır. Bu yöntem, tayf çizgilerinin sayısının az olduğu çok sıcak yıldızlar dışında, bütün yıldızlara uygulanabiliyor.

Kendi sistemimizdeki dev gezegeni ele alırsak, Jüpiter ve Güneş, bir ortak kütle merkezi etrafında dolanırlar. Güneş'in kütlesi, Jüpiter'inin yaklaşık 1050 katı olduğu için, bu kütle merkezi Güneş'e çok yakındır (Güneş küresinin yaklaşık 50.000 km dışında yer alan bir nokta). Jüpiter, yörüngesinde, yani ortak kütle merkezi etrafında dolanırken, Güneş de aynı periyotla bu nokta etrafında dolandır. Güneş'i izle-

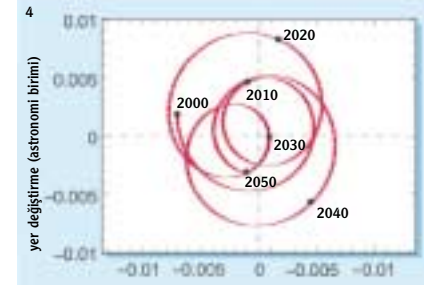
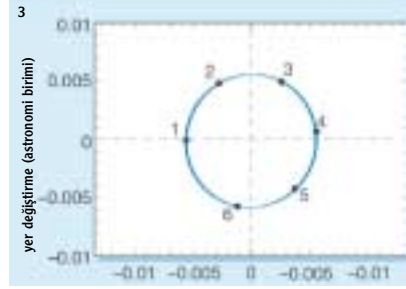
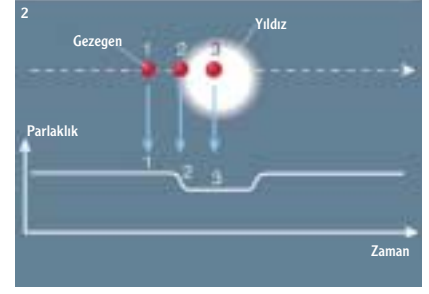
yen bir uzaylı gökbilimci, onun uzak yıldızlardan oluşan fondaki görüntüsünün 12 yıllık dönemlerle salındığını farkedirdi.

Güneş, Jüpiter'in etkisiyle, saniyede yaklaşık 12,5 metrelik bir hızla salınır. Bu salınımı saptayabilmek içinse, ölçüm aygıtlarının en azından saniyede 3 metrelik bir hızı algılayabilmesi gerekir. Bu, koşan bir kişinin hızından daha yüksek bir hız değil. Bu hız, yıldızın dalgaboyunda yaklaşık 100 milyonda birlik bir değişim anlamına geliyor. Yakın zamana kadar bu kadar duyarlı bir ölçümü yapmak olası değildi. Ancak, artık bu duyarlılıkta ölçümler yapılabiliyor.

Atarca zamanlaması ve Doppler etkisi yöntemleri, yıldızın çevresinde dolanan gezegenin kütlesinin yıldızınkine oranını bulabilmemize olanak tanıyor. Yıldızın kütlesi, tayfsal özelliklerine bakılarak kolayca tahmin edilebildiği için, gezegenin kütlesi hesaplanabiliyor. Günümüzde, aygıtların duyarlılığı, Güneş benzeri yıldızların çevresinde dolanan Jüpiter benzeri gezegenleri saptamayı sağlayacak nitelikte.

Ne var ki, Bu güne kadar saptanan gezegenlerin hemen hepsi, yıldızlarına çok yakın yörüngelerde dolanıyorlar. Bu bir tesadüf değil büyük olasılıkla. Jüpiter gibi, daha uzak yörüngelerde dolanan gezegenlerin keşfedilebilmesi için daha uzun süren gözlemler yapılması gerekiyor. Yine aynı yöntemle, Uranüs büyüklüğünde, ancak yıldızına çok yakın yörüngede dolanan gezegenler de saptanabilir. Ancak, Dünya benzeri gezegenleri bu yöntemle avlamak, bu yöntemin yeteneklerinin dışında gibi görünüyor.

Eğer uzaylılar, Jüpiter'in dolandığı yörünge düzlemini kenardan görecektense kadar şanslılarsa, her 12 yılda bir Güneş'in parlaklığının birkaç saatliğine % 1 kadar azaldığını görecektir. Jüpiter, Güneş'in çevresinde her dönüşünde onun önünden bir kez geçecek; bu sırada yıldızımızın ışında küçük bir azalma olacaktır. Bu yöntem, "geçiş ışıkölçümü" olarak biliniyor. Yakın yörüngelerde dolanan gezegenlerin, özellikle de dolanma periyotları birkaç gün olanların, daha uzun sürede dolananlara göre, bu yöntemle saptanma olasılıkları daha fazla. Bu yöntem, yörünge düzlemleri sadece bakış doğ-



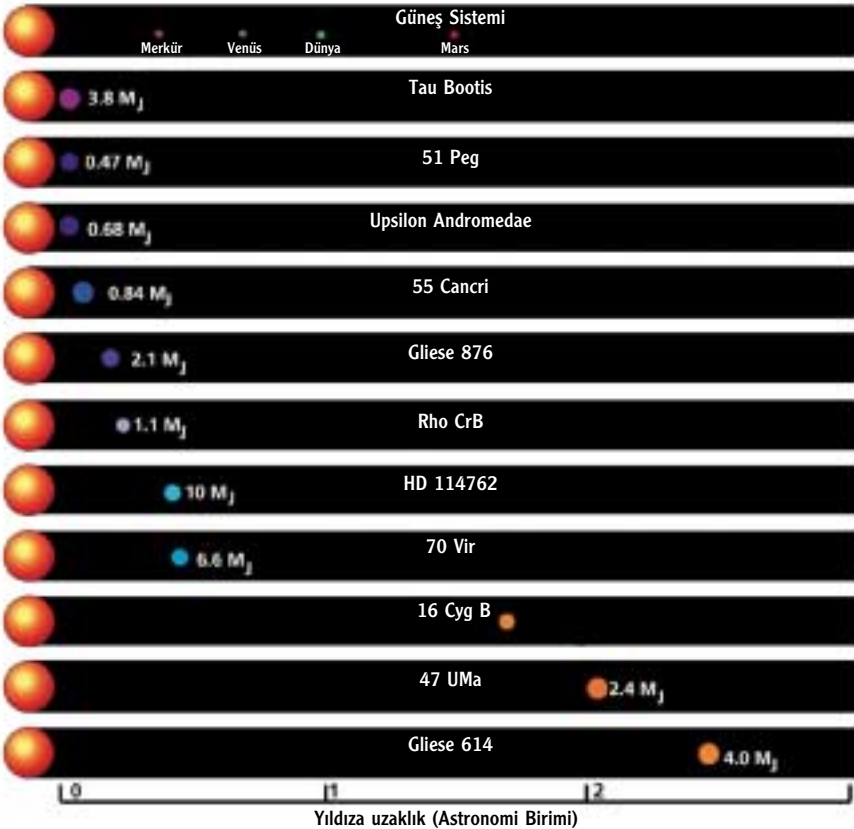
Güneş-dışı gezegenlerin imzaları. 1: Doppler etkisi, Ortak kütle merkezi çevresinde dolanan yıldız-gezegen sisteminin yıldızı, bize bir yaklaşıp bir uzaklaşır. Yıldız yaklaşırken ışığı maviye, uzaklaşırken kırmızıya kayar. 2: Yıldızın çevresinde dolanan gezegenin yörünge düzlemi bakış doğrultumuza paralelse, gezegen her dolanışında bir kez yıldızın önünden geçer. Bu sırada, yıldızın ışığında, gezegenin çapıyla orantılı bir azalma görülür. 3: Astrometrik ölçümlerle, yıldızın gezegenin etkisiyle gökyüzündeki yer değişimi ölçülebilir. 4: Güneş'in hareketini uzaktan izleyen bir gözlemci, 2000 ile 2050 yılları arasında, çevresinde dolanan dokuz gezegenden kaynaklanan salınım hareketini bu şekilde görecektir.

rultumuza paralel konumda bulunan, yani tüm yıldızlar düşünülüğünde, gezegen sistemlerinin sadece küçük bir oranını saptamada işe yarayabilir. Yine de yakınımızdaki çok sayıdaki

yıldızın, yörünge düzlemleri bizimkine paralel gezegenlere sahip olması beklenir.

Dolaylı gözlem yöntemleri arasında, belki daha az uygulama alanına sahip; ancak, oldukça etkin bir yöntem de mikromercek yöntemi. Bu yöntem şu şekilde işler: Işık, güçlü kütle çekimine sahip olan bir gök cisminin yakınından geçerken bükülür. Bu, bir mercekten geçen ışığın kırılmasına benzer bir etki yaratır. Eğer gözlenen kaynakla bizim aramızda böyle bir cisim yer alıyorsa, mercek etkisi, kaynağın parlaklığını birkaç kez artırabilir. Bu, birkaç hafta, ya da birkaç ay sürebilir. Eğer mercek altındaki yıldızın gezegenleri varsa, bu küçük kütleli cisimlerin, parlaklıkta küçük değişimlere yol açması beklenir. Çok uygun koşullar altında, bu yolla Dünya kadar küçük gezegenler de gözlenebilir. Ancak, bu sadece bir varayım. Mikromercek etkisindeki bir yıldızın ışığının üzerinde etki eden çok sayıda faktör var.

Güneş Sistemi dışında yer alan gezegenleri saptayabilmek için geliştirilmiş ve en yaygın kullanılan dolaylı yöntemler bunlar. Peki, bu gezegenlerin doğrudan gözlenmeleri olanaklı değil mi? Bunun önündeki en büyük engel, daha önce de değindiğimiz gibi, gezegenlerin, çevrelerinde dolandıkla-



Bazı Güneş-dışı gezegen sistemlerinin Güneş Sistemi'yle karşılaştırması. Gezegenlerin kütleleri, Jüpiter kütleli cinsinden veriliyor.

rı yıldızın saçtığı ışıkta kaybolmaları. Güneş Sistemi gibi bir sistemde, gezegenlerden yansıyan toplam ışık, yıldızdan gelen ışığın sadece milyarda biri kadar. Söz konusu kızılötesi ışınım olduğunda, bu oran bin kez daha küçülüyor. Teleskop optiğinden ve Dünya'nın atmosferinden kaynaklanan olumsuzluklar da eklendiğinde, bu kadar sönük bir ışığı yıldızın ışığından ayırt etmek pek kolay değil. Ancak, araştırmacılar, bu sorunun önüne geçmek için çeşitli yöntemler geliştirmeye çalışıyorlar. Güneş'in taç katmanını incelemek için uzay gönderilen Güneş gözlemevi SOHO, bu çalışmalara örnek olabilir. Güneş'in gördüğümüz katmanı olan ışık küre o kadar parlak ki, ondan çok daha düşük yoğunlukta olan ve ışık küreden milyonlarca kilometre uzağa uzanabilen taç katmanını gözlemenin tek yolu, ışık küreyi bir şekilde örtmek. Işıkküre, Güneş tutulmaları sırasında, Ay tarafından doğal olarak örtülüyor ve taç katmanı ortaya çıkıyor. İşte SOHO da gözlemlerini yapay bir güneş tutulması yaratarak gerçekleştiriyor. Benzer yöntemler, yakın yıldızların çevresinde bulunan Dünya-benzeri gezegenleri gözlemeye olanak sağlayabilir. Dünya benzeri gezegenleri keşfedebilmek için, araştırmalar çok yönlü olarak sürüyor. Halen, yerde yapılan çalışmaların yanı sıra, geleceğe yönelik uzay araçları da tasarlanıyor. Bu uzay araçları, geçiş, mikromercek ve birçok başka yöntemle, çok daha duyarlı ölçümler yapabilecek.

Hâlâ keşfedilmeyi bekleyen başka yöntemler de var. Bazı ikili ya da çoklu yıldız sistemlerinde, yıldızlar birbirinin çevresinde dolanırken, düzenli periyotla birbirlerinin önünden geçerler. Bu, onların ortak kütle merkezi çevresinde dolanma yörüngelerinin bizim bakış doğrultumuza paralel olmasından kaynaklanır. Bu yıldızlar, birbirlerinin önlerinden geçerlerken, sistemin toplam ışığında belirgin azalmalar gözlenir. Örtünme değişen türü yıldız sistemlerinin ışığını ışıkölçer yardımıyla ölçüp bir grafiğe dönüştürdüğünüzde ortaya çok tipik ışık eğrileri çıkar. Bu ışık eğrilerinden ve yıldızların tayföçümünden, onlara ait parlaklık, büyüklük, yörünge düzleminin eğikliği gibi bir çok değer hesaplanabilir. "Örtünme değişen" türü yıldızların bilinen

çok sayıda örneği var. Örtünme değişen yıldızların normalde çok düzenli olması beklenen periyotları duyarlı biçimde ölçülerek, burada olması beklenen gezegenler saptanabilir. Yıldızda bulunmayan, ancak gezegenlerin atmosferlerinde bulunan bazı gazları saptayacak tayföçümü yöntemleri geliştirile-

bilir. Jüpiter'de olduğu gibi, dev gezegenlerden kaynaklanabilecek radyo ışınımı aranabilir. Ve elbette, bu gezegenlerde bulunması olası akıllı canlılardan gelebilecek sinyaller hepsinden daha yararlı olabilir. Kim bilir, belki, bize sistemleri hakkında ayrıntılı bilgiler gönderebilirler.

Gezegen	M[sin ³] (Jüpiter kütlesi)	Yıldız uzaklık (AB)	Dolanma Süresi (gün)	Gezegen	M[sin ³] (Jüpiter kütlesi)	Yıldız uzaklık (AB)	Dolanma Süresi (gün)
OGLE-TR-56 b	0,9	0,0225	01,2	HD 134987 b	1,58	0,78	260
HD 83443 b	0,35	0,038	29,861	HD 40979 b	3,16	0,818	263,1
HD 46375 b	0,249	0,041	3,024	HD 12661 b	2,30	0,83	263,6
HD 179949 b	0,84	0,045	3,093	HD 12661 c	1,57	2,56	1444,5
HD 187123 b	0,52	0,042	3,097	HD 150706 b	1,0	0,82	264,9
Tau Boo b	3,87	0,0462	33,128	HR 810 b	2,26	0,925	320,1
BD-10_3166 b	0,48	0,046	3,487	HD 142 b	1,36	0,980	338
HD 75289 b	0,42	0,046	3,51	HD 92788 b	03,8	0,94	340
HD 209458 b	0,69	0,045	3,524	HD 28185 b	05,6	1,0	385
HD 76700 b	0,197	0,049	3,971	HD 177830 b	1,28	1,00	391
51 Peg b	0,46	0,0512	4,23	HD 108874 b	1,65	01,7	401
Ups And b	0,69	0,059	46,170	HD 4203 b	1,64	01,9	406
Ups And c	1,19	0,829	241,5	HD 128311 b	2,63	01,6	414
Ups And d	3,75	2,53	1284	HD 27442 b	1,43	1,18	423
HD 49674 b	0,12	0,0568	4,948	HD 210277 b	1,28	1,097	437
HD 68988 b	1,90	0,071	6,276	HD 19994 b	2,0	1,3	454
HD 168746 b	0,23	0,065	6,403	HD 20367 b	01,7	1,25	500
HD 217107 b	1,28	0,07	07,11	HD 114783 b	0,9	1,20	501,0
HD 162020 b	13,75	0,072	8,428	HD 147513 b	1,	1,26	540,4
HD 130322 b	01,8	0,088	10,724	HIP 75458 b	8,64	1,34	550,651
HD 108147 b	0,41	0,104	10,901	HD 222582 b	05,4	1,35	576
HD 38529 b	0,78	0,129	14,309	HD 23079 b	2,54	1,48	627,3
HD 38529 c	12,70	3,68	2174,3	HD 160691 b	01,7	01,5	638
55 Cnc b	0,84	0,11	14,65	HD 160691 c	1	2,3	1300
55 Cnc c	0,21?	0,24?	44,28	HD 141937 b	09,7	1,52	653,22
55 Cnc d	04,5	05,9	5360	HD 47536 b	4,96	1,61	712,13
Gl 86 b	4,	0,11	15,78	16 CygB b	01,5	1,70	804
HD 195019 b	3,43	0,14	18,3	HD 4208 b	0,81	1,69	829
HD 6434 b	0,48	0,15	22,9	HD 114386 b	0,99	1,62	872
Gliese 876 c	0,56	0,13	30,1	gama Cep b	1,76	02,1	903
Gliese 876 b	1,98	0,21	61,02	HD 213240 b	04,5	02,3	951
rho CrB b	01,7	0,23	39,845	HD 10697 b	6,59	2,0	1083
HD 74156 b	1,56	0,276	51,61	47 Uma b	2,41	02,10	1095
HD 74156 c	>7,5	4,47	2300,0	47 Uma c	0,76	3,73	2594
HD 168443 b	07,7	0,29	58,116	HD 190228 b	4,99	2,31	1127
HD 168443 c	16,9	2,85	1739,5	HD 114729 b	0,9	02,8	1136
HD 3651 b	0,2	0,284	62,23	HD 2039 b	05,1	02,2	1190
HD 121504 b	0,89	0,32	64,6	HD 136118 b	11,9	2,335	1209,6
178911 B b	6,292	0,32	71,487	HD 50554 b	04,9	2,38	1279,0
HD 16141 b	0,215	0,35	75,82	HD 196050 b	3,0	02,5	1289
HD 114762 b	11	0,3	84,03	HD 216437 b	02,1	02,7	1294
HD 80606 b	3,41	0,439	111,78	HD 216435 b	1,23	02,6	1326
70 Vir b	06,6	0,43	116,6	HD 106252 b	6,81	2,61	1500
HD 52265 b	1,13	0,49	118,96	HD 23596 b	7,19	2,72	1558
GJ 3021 b	3,21	0,49	133,82	HD 30177 b	07,7	02,6	1620
HD 37124 b	0,75	0,54	152,4	HD 33636 b	07,8	02,7	1620,54
HD 37124 c	01,2	02,5	1495	14 Her b	4,90	2,83	1,730
HD 73526 b	3,0	0,66	190,5	HD 39091 b	10,37	3,34	2083
HD 82943 b	0,88	0,73	221,6	HD 72659 b	2,55	3,24	2185
HD 82943 c	1,63	1,16	444,6	Epsilon Eri b	0,86	03,3	2502,1
HD 169830 b	2,96	0,823	230,4	Epsilon Eri c	0,1	40	280 yıl
HD 8574 b	2,23	0,76	228,8	Gl 777A b	1,15	3,65	2613
HD 89744 b	07,2	0,88	256				

Bilinen Güneş-dışı gezegenlerin son listesi. Gezegenler, yıldızın adının arkasına b'den başlayan bir harf eklenerek adlandırılıyor.

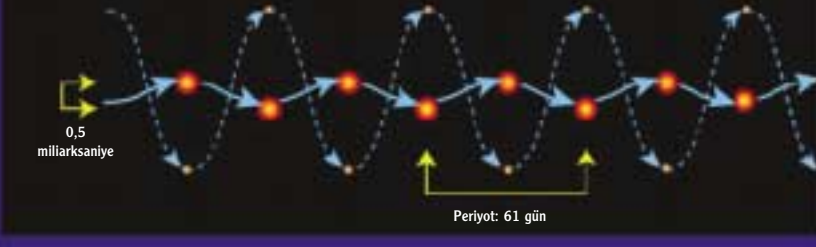
Gliese 876, Güneş'in yaklaşık üçte biri kadar kütleyle sahip, sönük bir kırmızı cüce, Bu yıldız, gezegenlere sahip olduğu bilinen en küçük kütleli ve 15 ışık yılı olan uzaklığıyla en yakın yıldız. Yakın yıldızların gökyüzündeki hareketi, duyarlı ölçümlerle saptanabiliyor, Gliese 876, eğer gezene sahip olmasaydı, doğrusal bir şekilde hareket ediyor görünürdü. Bu yıldızın salınım hareketi Hubble Uzay Teleskopu'yla gözlemlendi,



Gliese 876, gezene sahip olmasaydı, doğrusal bir şekilde hareket ediyor görünürdü,



Gliese 876, çevresinde dolanan yıldızın etkisiyle, 61 günlük periyotla salınıyor,



Avlanan Gezegenler

PSR 1257+12 atarcasının çevresinde dolanan üç küçük gezegen, bilinen en küçük ve keşfedilmiş ilk gezegenler olma özelliği taşıyorlar. Yaklaşık 1,4 güneş kütleli bu nötron yıldızı, bizden yaklaşık 2500 ışık yılı ötede bulunuyor. Gezegenlerden ikisinin, yörüngelerinde dolanmaları birkaç ay sürüyor ve kütleleri Dünya'nınkinin birkaç katı kadar. En içte yer alan öteki gezegenin kütlesi de en azından Ay'ınki kadar ve bu gezegen yörüngedeki bir turunu bir aydan kısa bir sürede tamamlıyor. Bu gezegenler, ilk keşfedilenler olmalarına karşın, bir nötron yıldızının çevresinde, boyutları dışında Dünya'yla benzerlik gösteren bir gezegenin bulunması pek olası değil. Bu nedenle, bu gezegenler genellikle Güneş dışı gezegenler listesinin dışında tutuluyor.

Günümüze değin keşfedilen öteki gezegenlerin neredeyse hepsi Doppler etkisi kullanılarak keşfedildi. Bu gezegenlerin hiçbiri, PSR 1257+12'nin çevresinde dolanan gezegenler kadar küçük değil. Ayrıca hepsi normal, yani hidrojen yakan yıldızların çevresinde doluyorlar. Bu yıldızların çoğu Güneş benzeri yıldız ve bize uzaklıkları PSR 1257+12'ye göre çok küçük, 15 ile 200 ışık yılları arasında. Ama yine de bunların en yakın komşularımız oldukları söylenemez.

Gerçek bir yıldızın çevresinde dolanan ilk gezegen, Güneş'ten biraz daha küçük kütleli ve biraz daha yaşlı bir yıldız olan 51 Kanatlı At (Pegasi) yıldızının çevresinde doluyor. Bu gezegen, 1995 yılında İsviçreli bilim adamları Michel Mayor ve Didier Queloz tarafından keşfedildi. Kütleli, Jüpiter'inkinin yaklaşık yarısı kadar olan gezegen, yıldızının çevresinde sadece 4,23 günde bir, yani Merkür'den yaklaşık 20 kez daha çabuk doluyor. Bu keşfin ardından çok sayıda benzer özelliğe sahip gezegen keşfedildi. Araştırmacılar, gözlemlere dayanarak, Güneş benzeri yıldızların, yörüngede dolanma süreleri bir haftayı geçmeyen, Jüpiter benzeri gezegenlere sahip olma olasılıklarının yaklaşık %1 olduğunu düşünüyorlar.

Gezegen Nedir?

Bilim adamları, yakın zamana kadar gezegenin bir tanımını yapma gereği duymadılar. Gerçekte, gök cisimlerini sınıflandırma yetkisine sahip kurum olan Uluslararası Astronomi Birliği, gezegenler için herhangi bir kıstas belirlemediği, Herkes, gezegenin ne olduğunu biliyordu, Ancak, keşfedilen Güneş-dışı gezegenlerin sayısı hızla artarken, bilim adamları, gezegenin tanımını yapma gereği duymaya başladılar. Keşfedilen gök cisimlerinin bir bölümü, alışılagelmiş gezegenlerden farklıydı, İlk bulunan gezegenler, Jüpiter gibi, hatta onun birkaç misli büyük, kahverengi cücelere benzeyen gök cisimleriydi. Birkaç yıl öncesine kadar bilinen en küçük yıldızlar en azından 75 Güneş kütleli sahipti, Bu kütle, bir gezegen için üst sınır olarak kabul ediliyordu, Ve, sonra kahverengi cüceler keşfedildi,

1963'de varlıkları öngörülen ve 1995'de kanıtlanan kahverengi cüceler, parlamayı tam olarak başaramamış yıldızlar, Yıldızlar, çekirdeklerinde, termonükleer tepkimelerle hidrojeni helyuma dönüştürürler, Kahverengi cücelerse, bir gezegene göre çok büyük olmalarına karşılık, çekirdeğinde termonükleer tepkimeleri başlatmak için gereken kütleyle sahip değiller, Ancak, çekirdek füzyonuyla, hidrojenin bir izotopu olan döteryum yakabilirler, Bir kahverengi cüce, yaklaşık 13 Jüpiter kütleli ulaştığında, döteryum yakmaya başlar, Kahverengi cüceler, genellikle bir yıldız oluşturan maddenin artakalanından oluştuğundan, bir yıldızla ikili sistem oluşturuyorlar, Yani, bir yıldızın çevresinde bir kahverengi cüce görülmesi son derece olağan, Kahverengi cüceler, bir gezegen gibi davranmalarına karşın, ne yıldız ne de gezegen olarak kabul ediliyorlar,

Gökbilimciler, genelde bir gök cisminin gezegen mi yoksa kahverengi cüce mi olduğunu belirlemek için onun nasıl oluştuğuna bakıyorlar, Kabaca, bir yıldız oluşumundan artakalan madde zaman içinde toplanarak gezegenleri oluşturuyor, Bu topraklar çekirdeklerinde döteryum tepkimelerini başlatabilecek kadar kütleli toplanabilirlerse gezegenlikten kahverengi cüceliğe terfi ediyorlar,

Boyut sorununun öteki ucunda bulunan gezegense Plüton, Bu gezegenin çapı, boyut olarak bir büyük kardeşi Merkür'ün çapının yarısından bile az, Daha da önemlisi, bu gök cisminin yapısı öteki gezegenlerinkine benzemiyor, Bu özellikleri ve Neptün'ün ötesine uzanan yörüngesi, onun Kuiper Kuşağı'ndaki kirli kartoplarına benzeyen gök cisimlerinden biri olduğunu gösterir nitelikte, Plüton bu kuşağın keşfedildiği 1992 yılından sonra keşfedilmiş olsaydı, büyük olasılıkla bir gezegen değil, Kuiper Kuşağı cisimlerinden biri olarak görülecekti, Yine, asteroidler gibi Güneş Sistemi'nin küçük üyeleri gezegen sınıfının dışında tutuluyor,

Kimse yapısına ya da büyüklüğüne bakarak gezegenin tanımını tam olarak yapmasa da bu kıstaslar göz önünde bulundurulduğunda gezegenin tanımı pek net olmasa da yapılmış oluyor, Araştırmacılar, Güneş-dışı gezegenleri sınıflandırırken de bunları dikkate alıyorlar,

Kimse yapısına ya da büyüklüğüne bakarak gezegenin tanımını tam olarak yapmasa da bu kıstaslar göz önünde bulundurulduğunda gezegenin tanımı pek net olmasa da yapılmış oluyor, Araştırmacılar, Güneş-dışı gezegenleri sınıflandırırken de bunları dikkate alıyorlar,

Kimse yapısına ya da büyüklüğüne bakarak gezegenin tanımını tam olarak yapmasa da bu kıstaslar göz önünde bulundurulduğunda gezegenin tanımı pek net olmasa da yapılmış oluyor, Araştırmacılar, Güneş-dışı gezegenleri sınıflandırırken de bunları dikkate alıyorlar,

Kimse yapısına ya da büyüklüğüne bakarak gezegenin tanımını tam olarak yapmasa da bu kıstaslar göz önünde bulundurulduğunda gezegenin tanımı pek net olmasa da yapılmış oluyor, Araştırmacılar, Güneş-dışı gezegenleri sınıflandırırken de bunları dikkate alıyorlar,

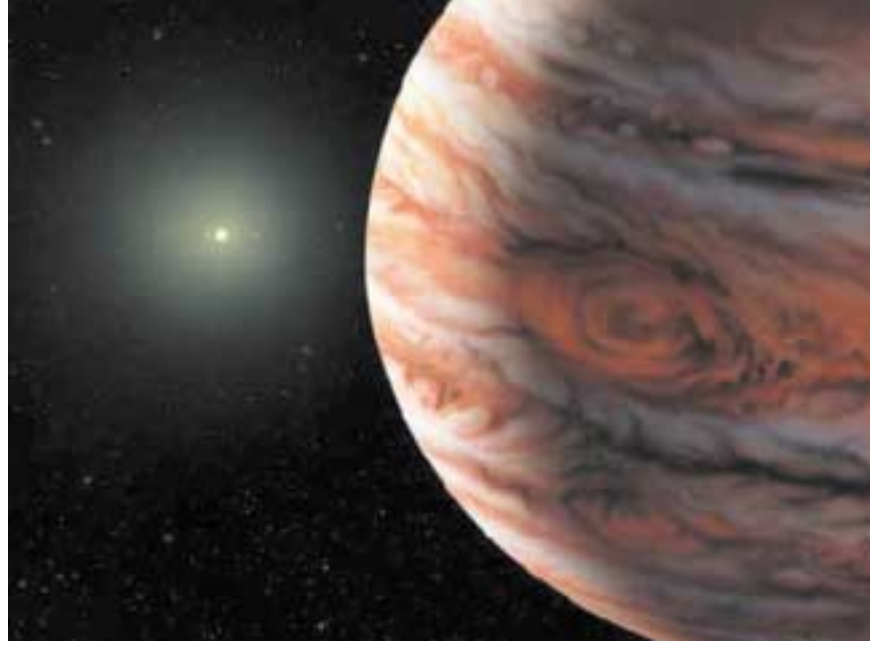
birkaç astronomi birimi (Güneş'in Dünya'ya uzaklığı olan 150 milyon km bir astronomi birimi olarak kabul edilir) olmalı. Çünkü, ancak bu uzaklıktaki serin ortamda bu gezegenlerin yapısında bolca bulunan su ve metan gibi gazlar donmuş halde bulunur ve topaklaşarak dev gezegenleri oluştururlar. Bunun akla gelen iki açıklaması var: Birincisi, bu kuram tümüyle yanlış; ikincisi, gezegenler uzaklarda bir yerlerde oluşup, sonradan içlere göç ettiler.

İlkel gezegenler, yıldızın çevresindeki gezegen oluşturan gaz ve toz diskinin içinde oluştular. Bu gaz ve toz bulutunun, onların hızlarını keserek daha iç yörüngelere doğru sarmallar çizerek ilerlemelerine yol açmış olması mümkün. Gözlenen bu gezegenlere bakıldığında, hepsinin yörüngelerinin sabit olduğu görülüyor. Peki, bu gezegenler nasıl oldu da belli bir yörüngeye ulaştıklarında durdular ve bizim sistemimizdeki durum neden farklı?

Bazı yıldızların çevresinde gözlenen diskler incelendiğinde, diskin iç kısmında, yıldızdan belli bir uzaklığa kadar uzanan, daire şeklinde bir boşluk yer alıyor. Yani, gezegen oluşturan disk, yıldızın çevresinde geniş bir halka biçimini alıyor. Halkanın merkezindeki boşluğun nedeni, büyük olasılıkla dönmekte olan yıldızın manyetik alanı. Burada, yani yıldızın çapının yaklaşık 10 katı çaplı bir alanda bir zamanlar yer alan gaz ve toz, yıldızın manyetik alanında yakalanıyor, manyetik kutuplara sürükleniyor ve yıldız tarafından yutuluyor. Bu boş bölge, dış bölgelerden göç etmeye zorlanan gezegenler için güvenli bir park alanı oluşturuyor. Gezegen, yoğun diskin içinden bir kez kurtulduktan sonra artık sabit bir yörüngeye yerleşiyor.

Güneş Sistemi'ndeki duruma gelince, bizim sistemimizdeki dev gezegenlerin Güneş'e epeyce uzakta olmaları, bu gezegenler oluştuğunda diskin artık dağılma aşamasında olması ya da bu diskin gezegenleri iç bölgelere göç etmeye zorlayacak kadar yoğun olmasından kaynaklanıyor olabilir.

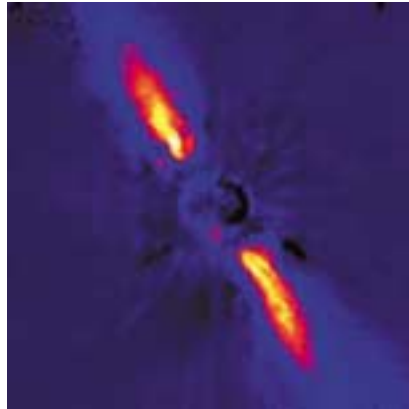
Güneş'in yanı başında dolanan dev gezegenlerin bugün olmayışı, hiçbir zaman olmadıkları anlamına gelmiyor. Bir kurama göre, Güneş'ten en azından 5 astronomi birimi uzakta oluşan dev gezegenler, giderek içlere doğru



göç ettiler. Ta ki Güneş'e kavuşunca kadar. Jüpiter ve sistemin geri kalan gezegenleri gezegen oluşturan disk tümüyle temizlenince oldukları yerde kaldılar.

Atarcının gezegenlerini saymazsak, bilinen 105 Güneş-dışı gezegenin kütleleri 40 Dünya kütlesi (Güneş Sistemi'nin üçüncü büyük gezegeni olan Neptün'ün kütlelerinin iki katından fazla ya da 1,12 Jüpiter kütlesi) ile gezegen tanımı için üst sınır olan yaklaşık 13 Jüpiter Kütleleri arasında değişiyor. Şimdiye kadar, Jüpiter'den daha uzun yörünge periyoduna sahip olduğu bilinen gezegen, 55 Yengeç (Cancer) yıldızının çevresinde 14 yılda dolanan ve 4 Jüpiter Kütlelerine sahip olan gezegen.

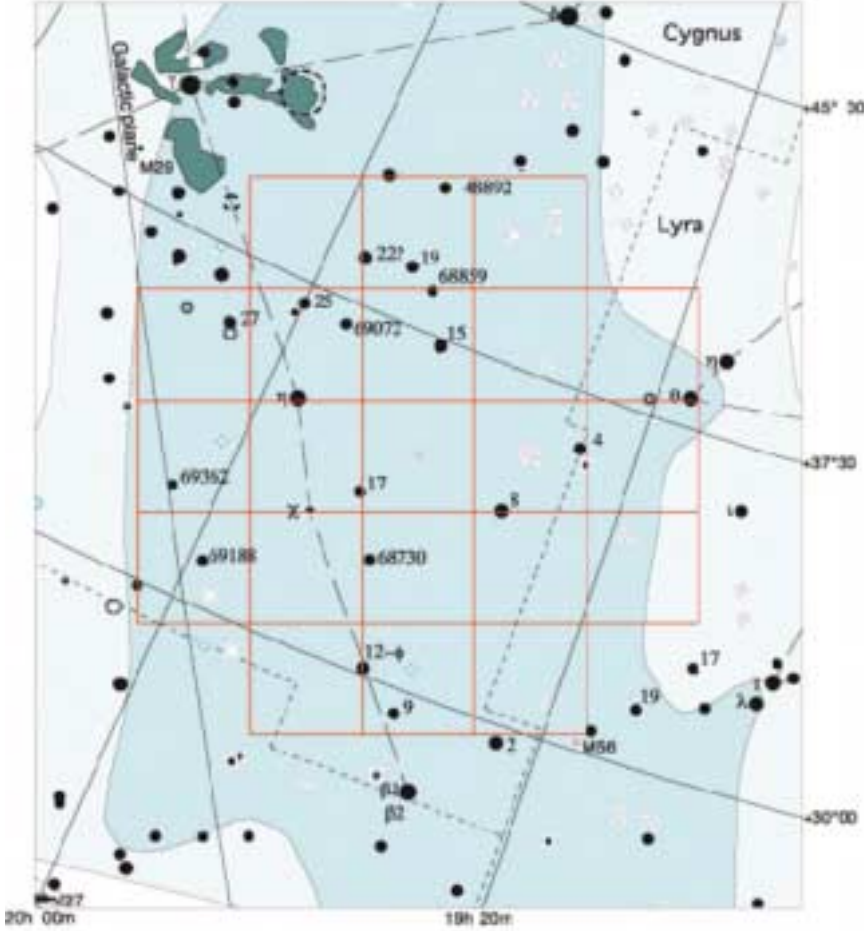
Güneş-dışı gezegenlerin kütlelerinin, dolayısıyla da boyutlarının dolaylı



Beta Pictoris yıldızının çevresindeki diskin bu fotoğrafı Avrupa Güney Gözlemevi tarafından çekildi. Diskin iç bölgesindeki boşluk, burada dolanan bir ya da birkaç gezegenin varlığının göstergesi olabilir.

yoldan hesaplandığına değinmiştik. Üstelik, bu gezegenlerin yörüngelerinin eğikliği de tam olarak hesaplanmadığı için, bu değerler ancak yörüngenin eğikliği hesaba katılarak verilebiliyor. Yani, elde edilen kütle aslında gezegenin gerçek kütlesi değil, kütleyle yörünge düzleminin gökyüzü düzlemiyle yaptığı açının sinüsüyle çarpımına eşit ($M \sin i$). Bu açının yani, i 'nin değeri, genellikle belirlenemiyor. Aslında "genellikle belirlenemiyor" demek de iyimser bir yaklaşım; çünkü boyutu, dolayısıyla da i 'sinin değeri belirlenebilen bir tek gezegen var. Güneş benzeri bir yıldız olan HD 209458'in gezegeni, Doppler etkisi yöntemiyle keşfedildikten sonra, şans eseri, yıldızın önünden geçerken yakalandı. Yıldızın ışığındaki azalma ölçülerek, gezegenin çapının Jüpiter'inkinin 1,35 katı olduğu hesaplandı. Bundan da öte, geçişin süresi, yörüngenin eğikliğinin de hesaplanabilmesini olanaklı kıldı. $M \sin i$ değeri zaten bilinen gezegenin yörüngesinin eğikliği de formüle konduğunda, kütlesi 0,65 Jüpiter kütlesi olarak bulundu. Eldeki bu verilerden gezegenin yoğunluğu hesaplandı ve buna göre HD 209458 yıldızının çevresinde dolanan gezegenin, Jüpiter ve Satürn gibi temelde hidrojenle oluştuğu belirlendi.

İlginc bir gezegen sistemi olan Gliese 876'nın yıldızı, Güneş'in yaklaşık üçte biri kadar kütleyle sahip, sönmük bir kırmızı cüce. Bu yıldız, gezegenlere sahip olduğu bilinen en kü-



Kepler Uzak Gezegenleri, aynı anda yaklaşık 100.000 yıldızın ışıkölçümünü, 4 yıl boyunca sürekli olarak yapacak. Teleskop, alışılmadık bir şekilde, Ay'ın çapının yaklaşık 500 katı büyüklükte bir alanı görecektir. Kepler'in gözleyeceği yıldızlar, Samanyolu'nun Orion kolunda, Kuğu ve Lir takımyıldızlarının bir bölümünde yer alıyor.

çük kütleli yıldız. Gliese 876, aynı zamanda, 15 ışık yılı olan uzaklığıyla bilinen en yakın gezegen sistemi. Ayrıca, birden fazla gezegene sahip olduğu bilinen birkaç yıldızdan biri.

Geleceğe Yönelik Projeler

Son birkaç yıl içinde, keşfedilen gezegen sayısının yükselen grafiğine bakınca, gelecek birkaç yıl içinde bu tekniklerle çok daha fazla gezegenin keşfedileceğini de söyleyebiliriz. Tekniklerin gelişmesine bağlı olarak, gözlemler ve ölçümler hem çok daha duyarlı olacak, hem de bu konuda yapılan araştırmalar artacak. Bu durum, eldeki Jüpiter benzeri gezegenlerin sayısını katlayacak. Jüpiter benzeri gezegenlerin keşfi, gerek bilimsel, gerekse popüler çevrede ilgi uyandırıyor. Yine de, asıl ilgiyi Dünya benzeri gezegenlerin çekeceği kesin. Ancak, bunun

için uzaya çıkmak gerekiyor. Uzay gözlemleri çok pahalıya mal olsa da, yerden yapılan gözlemler, uzayda yapılanların yerini tutamıyor. Dünya'nın atmosferi, ışıkölçümü gözlemlerinin duyarlılığını % 0,1 duyarlılıkta sınırlıyor. Bu da, yerden Jüpiter benzeri gezegenlerin gözlenebileceği; ancak Dünya benzeri gezegenlerin gözlenmesinin olanaksız olduğu anlamına geliyor. HD 209458 yıldızının, Hubble Uzay Teleskopu'yla yapılan geçiş gözlemleri, atmosferin üzerinde yapılan gözlemlerin ne kadar duyarlı olduğunu kanıtladı. HD 209458 yıldızının gezegeni, yıldızın önünden geçerken, hem yerden hem de uzaydan yapılan ışıkölçümüyle gözlemlendi. Günümüzde, araştırmacılardan oluşan çok sayıda grup, geçişleri yakalamak için, kendi gözlemlerini yapıyorlar. Ancak, bu tür teleskopların küçük gezegenleri yakalaması pek olası değil.

"Küçük" oynayanların şimdiki hedefi, yeni dünyalar bulmak. Amerikan

Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA), bu tür gezegenleri yakalayabilmek için çeşitli projeler üzerinde çalışıyor. Hedef, 2020'den önce ilk yeni Dünya'yı bulmak. Önümüzdeki beş yıl içinde, Dünya'nın sadece birkaç katı çapa sahip gezegenleri görebilecek, görece küçük teleskopların uzaya fırlatılması düşünülüyor. NASA, Dünya boyutlarındaki gezegenleri görebilecek Kepler uzay aracını, 2007'de fırlatma programına aldı. Yerden yapılan gözlemlerin de büyük interferometrelerin kurulmasıyla gelişim göstereceği açık. Ancak, gelecek uzayda gibi görünmüyor. Önümüzdeki yıllarda, teknolojiye bağlı olarak, gezegenlerin ne kadar yaygın olduğu; boyutlarının ne şekilde dağılım gösterdiği; kütle, yoğunluk, renk ve atmosfer bileşimleri hakkında bilgi sahibi olabileceğiz. Belki de Güneş Sistemi'nin sandığımız kadar özel bir yer olmadığını göreceğiz.

Kepler Uzay Teleskopu, yaklaşık 100.000 yıldızın ışıkölçümünü, yaklaşık 4 yıl boyunca sürekli olarak yapacak. Teleskop, alışılmadık bir şekilde çok geniş bir açıyı, Ay'ın çapının yaklaşık 500 katı büyüklükte bir alanı görecektir. Gelişen bilgisayar programları, binlerce yıldızın aynı anda gözlenmesini olanaklı hale getiriyor. Geçişler, genellikle bir günden kısa sürdüğü için, gözlenen yıldızların ışıkölçümlerinin sürekli bir şekilde yapılması gerekiyor. Geniş görüş açısı, çok sayıda yıldızın sürekli olarak, aynı anda gözlenebilmesine olanak sağlıyor.

Kepler'in ilk gözlemlerinde büyük olasılıkla yakın yörüngelerde dolanan çok sayıda dev gezegen keşfedilecek. Araştırmacıların yaptıkları istatistiksel tahminler doğruysa, Kepler'in görevini sürdürdüğü zaman aralığında çapları 1,3 dünya çapından küçük, en azından 45 gezegenin gözlenebilmesi gerekiyor. (0,5 ile 2 dünya kütlesi ya da 0,8 ile 1,3 dünya çapı aralığında kütle ya da çapa sahip gezegenler Dünya benzeri olarak kabul ediliyor.) Eğer bu sınırlar biraz olsun genişletilirse, bu sayı birkaç yüze çıkıyor. Ancak, bu gezegenlerin yörüngelerinin de Dünya'ninkine benzeyenlerinin keşfedilmesi için en azından 3-4 yıl beklenmesi gerekeceği düşünülüyor. Çünkü bu gezegenlerin yörüngeleri

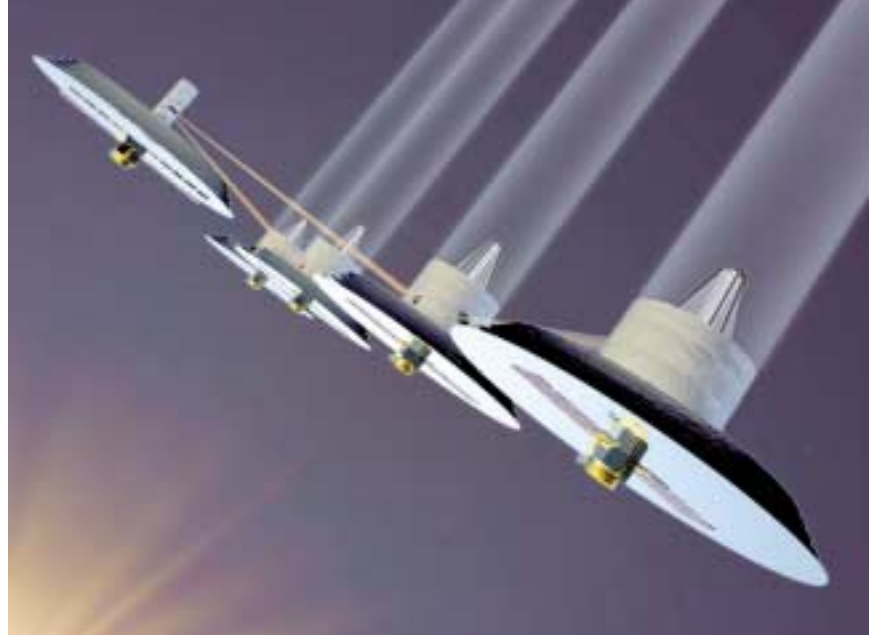
daha uzun ve sağlıklı verilerin elde edilmesi için gözlemlerin tekrarlanması gerekiyor. Ancak, Merkür gibi, yıldıza daha yakın yörüngelerde dolanan gezegenlerin keşfedilmesi için pek de fazla beklemek gerekemeyebilir.

Güneş-dışı gezegenleri aramaya ve incelemeye yönelik en önemli projelerden biri de Karasal Gezegen Kâşifi (Terrestrial Planet Finder, TPF). NASA'nın en erken 2012 yılında fırlatmayı düşündüğü TPF, yaklaşık 5 yıl süreyle Dünya benzeri gezegenleri araştırarak. TPF'nin görevi, bu gezegenleri bulmanın yanında, onlara yönelik boyut, sıcaklık, atmosfer bileşimi gibi birtakım ölçümler yapmak. Atmosfer bileşimi ölçümleri, Dünya'da da yaşam için uygun koşulların oluşmasında önemli role sahip olan su buharı, karbon dioksit, ozon, metan gibi gazların oranlarını saptamaya yönelik olacak. Bu ölçümler, gezegenin yaşam için elverişli olup olmadığı (hatta yaşama geçmişte ya da şu anda ev sahipliği yapıp yapmadığı) hakkında önemli ipuçları verecek.

TPF, yörüngede dolanan ve birbirine bağlı bir dizi teleskoptan oluşacak. Bu sayede, TPF'nin ayırma gücü, Hubble Uzay Teleskopundan en azından 100 kat fazla olacak. Teleskopların birlikte çalışması sayesinde yıldıza ışığı çıkarılarak gezegenlerin gözlenebilmesi ve fotoğraflanabilmesi sağlanacak. TPF ile bizden yaklaşık 50 yılı uzaklığa kadar olan gezegenlerin gözlenebilmesi sağlanacak.

Bir başka NASA projesi olan Uzay İnterferometre Görevi (Space Interferometry Mission; SIM), birbirine bağlı ve 10 metre uzaklıkta bulunan iki teleskoptan oluşacak. 2009 yılında fırlatılması düşünülen SIM, yıldızların konumlarını ve uzaklıklarını çok daha hassas biçimde belirlemede ve Güneş-dışı gezegenleri aramada kullanılacak. SIM bunu, yıldızların konumlarındaki çok küçük değişimleri ölçerek yapacak.

ESA'nın tasarladığı uzay araçları arasında yer alan Eddington ve Darwin projeleri de Güneş dışı gezegen avcılığı için kullanılacak. Eddington uydusu, 1,2 metrelik bir optik teleskopa sahip olacak ve Dünya benzeri gezegenleri aramanın yanı sıra, yıldızların evrimi üzerine de birtakım veriler sağlayacak. Darwin Projesi'yse, kızılö-



TPF, yörüngede dolanan ve birbirine bağlı bir dizi teleskoptan oluşacak. Bu sayede, TPF'nin ayırma gücü, Hubble Uzay Teleskopundan en azından 100 kat fazla olacak.

tes dalgaboylarında gözlemler yaparak bu alandaki açığı dolduracak. Birbirine bağlı altı küçük teleskoptan oluşacak Darwin, 50 ışık yılından daha yakında yer alan 300 kadar Güneş benzeri yıldız inceleyecek.

Görevi Dünya-benzeri gezegenleri aramak olan ilk uzay teleskopu Fransa Uzay Ajansı ve ESA'nın üzerinde çalıştığı COROT (Convection, Rotation and Transits: Konveksiyon, Dolanma ve Geçişler) olacak. COROT, yıldızlarının önünden geçen ve bu sırada yıldızın ışığında çok küçük sönmüşmeye yol açan gezegenleri yakalamaya çalışacak. Sadece 27 cm çaplı bir teleskopa sahip olacak uydusu, atmosferin dışında olmanın sağladığı üstünlükle yakın yıldızların çevresinde gezegen arayacak. COROT'un 2005 yılı içinde yörüngeye yerleştirilmesi planlanıyor.

Araştırmacılar, önümüzdeki 10 yıl içinde çok sayıda Dünya benzeri gezegen bulunacağını düşünüyor. Ancak, gezegenin Dünya boyutlarında olması üzerinde yaşanabilir olacağı anlamına gelmiyor. Bunu, Güneş Sistemi'ndeki deneyimlerimize dayanarak da söyleyebiliyoruz. Dünya'nın yaşamı desteklemesi, bir rastlantı değil. Bunun için birçok koşul var. Gezegenler bakımdan uygun koşullara sahip olsa bile, bu gezegende yaşam olup olmayacağını belirleyen birçok etken var. Her şeyden önce, gezegenin yıldıza doğru uzaklıkta bulunması gerekiyor.

Kendi sistemimizi örnek gösterecek olursak, bu uzaklık Venüs'ün yörüngesinden, Mars'ın yörüngesinin biraz ötesine kadar uzanıyor. Oldukça dar bir aralık. Ayrıca, gökadamızdaki bütün Güneş benzeri yıldızların çevresinde Dünya gibi gezegenlerin bulunabileceği düşüncesi de pek doğru değil. Gökadamız Samanyolu, bu konuda pek konuksever değil. Gökadamın çoğu bölgesinde, birçok yıldızın çevresinde, Dünya büyüklüğünde gezegenler bulunabilir. Ne var ki, gökada merkezi çevresinde, Güneş Sistemi'mizin de içinde bulunduğu dar bir halkanın yaşama elverişli gezegenleri barındırabileceği düşünülüyor. Yine de Güneş benzeri olup da güvenli bölgede yer alan milyarlarca yıldız var. Bu yıldızlar arasında, yakınımızda dünya benzeri bir gezegen bulma olasılığımız pek de az görünmüyor.

Alp Akoğlu

Kaynaklar

- Butler, *Other Planetary Systems, The New Solar System*, Sky Publishing, Cambridge, 1999
- Lemonick M.D., *Can We Find Another Earth*, Discover, Mart 2002
- Lissauer J.J., *Extrasolar Planets*, Nature, 26 Eylül 2002
- Malhotra R., *Migrating Planets*, Scientific American, Eylül 1999
- Svitil, K.A., *Field Guide to Planets*, Discover, Mart 2000
- <http://www.astronomy.com/Content/Dynamic/Articles/000/000/000/042nxyz.asp>
- http://www.space.com/scienceastronomy/astronomy/jupiter_typical_020128.html
- http://www.space.com/searchforlife/exoplanet_missions_001130_5.html
- http://www.space.com/searchforlife/exoplanet_missions_001130_5.html
- http://www.space.com/searchforlife/exoplanet_missions_001130_5.html
- http://www.space.com/scienceastronomy/solarsystem/planet_confusion_001101-1.html
- <http://origins.jpl.nasa.gov/>
- http://planetquest.jpl.nasa.gov/TPF/tpf_index.html