

AYLIK POPÜLER BİLİM DERGİSİ

# BİLİM ve TEKNİK



# YENİ UFUKLAR

## GÜNEŞ DIŞI GEZEGENLER

AĞUSTOS 2003 SAYISININ ÜCRETSİZ EKİDİR

HAZIRLAYAN : LTD ARAŞTIRMA GRUBU

# GÖKYÜZÜNDE NÜFUS PATLAMASI

**BİR ZAMANLAR**, koca evrende yalnız olmadığımıza inanmak, mantığın, matematiğin ve istatistiğin bir gereği idi. Şimdiyse hayallerimiz yalnızca teknolojimizle sınırlı. Daha şimdiden varlığı belirlenen Güneş dışı gezegenlerin sayısı 100'ü aştı. Üstelik, av başlayalı on yıl oldu, olmadı. Kendi yıldızımız çevresindeki gezegenlerin sayısını belirlemek yüzlerce yılımızı aldı. Oysa yalnızca on yıl içinde, Güneş Sistemimizdeki gezegen sayısının 10 katından fazlasını bulmuş durumdayız. Bunların neredeyse tümü, arka bahçemizde, astronomik ölçeklere göre Güneş'in hemen yakınlarındaki komşu yıldızların çevrelerinde belirlendi. Gözlem araçlarımız geliştikçe ve yeni kuşak bir dizi teleskop uzayda planlanan nöbet yerlerine gönderilince, genişleyen ufkumuz çok daha büyük sayılarda potansiyel yaşam barınağını içerecek. Şimdilik keşfedilen gezegenlerin çok büyük çoğunluğu, yaşama dost olmayan, yıldızlarının burunları dibinde kavru lan gaz devleri. Ancak, gezegen avında uzmanlaşmış gökbilimciler, bir on yıl daha geçince, yandaki nüfus kütüğüne yüzlerce yeni kayıt düşüleceğinden kuşku duymuyorlar. Aşağıda sıralanan keşif yöntemleri daha da geliştikçe, ve aralarına yenileri katıldıkça, birçoğunun boyutları, ve hatta koşulları Dünyamızinkine benzeyen gezegenler görebileceğiz. Kimbilir, belki de...

## Gezegenler Nasıl Keşfediliyor?



Gezegen Adı	M[.SINI] (Jüpiter kütlesi)	Yıldız uzaklığı (AB)	Dolanma periyodu (gün)	Yörüngenin Basklığı	Gezegen Adı	M[.SINI] (Jüpiter kütlesi)	Yıldız uzaklığı (AB)	Dolanma periyodu (gün)	Yörüngenin Basklığı
OGLE-TR-56 b	0.9	0.0225	1.2	-	HD 134987 b	1.58	0.78	260	0.25
HD 73256 b	1.85	0.037	2.54863	0.038	HD 40979 b	3.32	0.811	267.2	0.25
HD 83443 b	0.41	0.04	2.985	0.08	HD 12661 b	2.30	0.83	263.6	0.096
HD 46375 b	0.249	0.041	3.024	0.04	HD 12661 c	1.57	2.56	1444.5	<0.1
HD 179949 b	0.84	0.045	3.093	0.05	HD 150706 b	1.0	0.82	264.9	0.38
HD 187123 b	0.52	0.042	3.097	0.03	HR 810 b	2.26	0.925	320.1	0.161
Tau Boo b	3.87	0.0462	3.3128	0.018	HD 142 b	1.36	0.980	338.0	0.37
BD-10_3166 b	0.48	0.046	3.487	0.	HD 92788 b	3.8	0.94	340	0.36
HD 75289 b	0.42	0.046	3.51	0.054	HD 28185 b	5.6	1.0	385	0.06
HD 209458 b	0.69	0.045	3.524738	0.0	HD 142415 b	1.73	1.07	387.6	0.5
HD 76700 b	0.197	0.049	3.971	0.0	HD 177830 b	1.28	1.00	391	0.43
51 Peg b	0.46	0.0512	4.23	0.013	HD 108874 b	1.65	1.07	401	0.20
Ups And b	0.69	0.059	4.6170	0.012	HD 4203 b	1.65	1.09	400.944	0.46
Ups And c	1.19	0.829	241.5	0.28	HD 128311 b	2.63	1.06	414	0.21
Ups And d	3.75	2.53	1284.	0.27	HD 27442 b	1.28	1.18	423.841	0.07
HD 49674 b	0.12	0.0568	4.948	0.	HD 210277 b	1.28	1.097	437	0.45
HD 68988 b	1.90	0.071	6.276	0.14	HD 19994 b	2.0	1.3	454	0.2
HD 168746 b	0.23	0.065	6.403	0.081	HD 20367 b	1.07	1.25	500	0.23
HD 217107 b	1.28	0.07	7.11	0.14	HD 114783 b	0.9	1.20	501.0	0.1
HD 162020 b	13.75	0.072	8.428198	0.277	HD 147513 b	1.	1.26	540.4	0.52
HD 130322 b	1.08	0.088	10.724	0.048	HIP 75458 b	8.64	1.34	550.651	0.71
HD 108147 b	0.41	0.104	10.901	0.498	HD 222582 b	5.11	1.35	572.0	0.71
HD 38529 b	0.78	0.129	14.309	0.29	HD 65216 b	1.33	1.31	578	0.29
HD 38529 c	12.70	3.68	2174.3	0.36	HD 160691 b	1.7	1.5	638	0.31
55 Cnc b	0.84	0.11	14.65	0.02	HD 160691c	1.7	1.5	638	0.31
55 Cnc c	0.21?	0.24?	44.28?	0.34?	HD 141937 b	9.7	1.52	653.22	0.41
55 Cnc d	4.05	5.9	5360	0.16	HD 41004A b	2.3	1.31	655	0.39
Gl 86 b	4.	0.11	15.78	0.046	HD 47536 b	4.96 - 9.67	1.61 - 2.25	712.13	0.20
HD 195019 b	3.43	0.14	18.3	0.05	HD 23079 b	2.61	1.65	738.459	0.10
HD 6434 b	0.48	0.15	22.09	0.30	16 CygB b	1.69	1.67	798.938	0.67
HD 192263 b	0.72	0.15	24.348	0.0	HD 4208 b	0.80	1.67	812.197	0.05
Gliese 876 c	0.56	0.13	30.1	0.12	HD 114386 b	0.99	1.62	872	0.28
Gliese 876 b	1.98	0.21	61.02	0.27	gamma Cephei b	1.59	2.03	902.96	0.2
rho CrB b	1.04	0.22	39.845	0.04	HD 213240 b	4.5	2.03	951	0.45
HD 74156 c	>7.5	4.47	2300.0	0.395	HD 10647 b	1.17	2.10	1056	0.32
HD 74156 c	>7.5	4.47	2300.0	0.395	HD 10697 b	6.12	2.13	1077.906	0.11
HD 168443 b	7.7	0.29	58.116	0.529	47 Uma b	2.41	2.1	1095	0.096
HD 168443 c	16.9	2.85	1739.50	0.228	47 Uma c	0.76	3.73	2594	<0.1
HD 3651 b	0.2	0.284	62.23	0.63	HD 190228 b	4.99	2.31	1127	0.43
HD 121504 b	0.89	0.32	64.6	0.13	HD 114729 b	0.82	2.08	1131.478	0.31
HD 178911 B b	6.292	0.32	71.487	0.1243	HD 111232 b	7.8	2.07	1138	0.25
HD 16141 b	0.23	0.35	75.560	0.28	HD 2039 b	4.85	2.19	1192.582	0.68
HD 114762 b	11.	0.3	84.03	0.334	HD 136118 b	11.9	2.335	1209.6	0.366
HD 80606 b	3.41	0.439	111.78	0.927	HD 50554 b	4.9	2.38	1279.0	0.42
HD 219542B b	0.30	0.46	112.1	0.32	HD 196050 b	3.0	2.5	1289	0.28
70 Vir b	7.44	0.48	116.689	0.4	HD 216437 b	2.1	2.7	1294	0.34
HD 216770 b	0.70	0.46	118.3	0.32	HD 216435 b	1.49	2.7	1442.919	0.34
HD 52265 b	1.13	0.49	118.96	0.29	HD 106252 b	6.81	2.61	1500	0.54
GJ 3021 b	3.21	0.49	133.82	0.505	HD 23596 b	7.19	2.72	1558	0.314
HD 37124 b	0.75	0.54	152.4	0.10	14 Her b	4.89	2.85	1730.461	0.38
HD 37124 c	1.2	2.5	1495	0.69	HD 39091 b	10.35	3.29	2063.818	0.62
HD 73526 b	3.0	0.66	190.5	0.34	HD 72659 b	2.55	3.24	2185	0.18
HD 104985 b	6.3	0.78	198.2	0.03	HD 70642 b	2.0	3.3	2231	0.1
HD 82943 b	0.88	0.73	221.6	0.54	HD 33636 b	9.28	3.56	2447.292	0.53
HD 82943 c	1.63	1.16	444.6	0.41	Epsilon Eridani b	0.86	3.3	2502.1	0.608
HD 169830 b	2.81	0.79	227.4	0.33	Epsilon Eridani c	0.1??	40??	280 y??	0.3??
HD 169830 c	2.33	2.75	1487	0.0	HD 30177 b	9.17	3.86	2819.654	0.30
HD 8574 b	2.23	0.76	228.8	0.40	Gl 777A b	1.33	4.8	2902	0.48
HD 89744 b	7.2	0.88	256	0.54					



Şimdiye kadar belirlenebilen Güneş-dışı gezegenlerin son listesi. Gezegenler, çevresinde dolandıkları yıldızların adlarının arkalarına b'den başlayan bir harf eklenerek adlandırılıyorlar. Listedeki gezegenlerin kütleleri, Jüpiter'in kütlesinin katları ya da kesirleriyle ifade ediliyor.

# YENİ DÜNYALARIN OLUŞUMU

Gökbilimciler, gezegenlerin toz ve gaz disklerinden nasıl oluştuklarını anladıkça, Güneş Sistemimizin varoluş öyküsü de adım adım çözüme kavuşuyor.

Son on yıl, gezegenler üzerinde çalışan gökbilimciler için oldukça çalkantılı geçti. Birkaç binyıldır süren kurgulamaların üzerine gelen yarım yüzyıllık yanlış iddialardan sonra, gökbilimciler nihayet Güneşimiz dışındaki yıldızların sahip oldukları gezegenler hakkında

belirleyici kanıtlar elde etmeyi başardılar. On yıl gibi kısa bir süre önce, bilinen tek bir gezegen sistemi vardı: Bizimkisi. Ancak bugün, boyutları ve yörüngeleri geleneksel "güneş sistemi" anlayışımızı yeniden tanımlamamızı gerektiren, bu tür 100'den fazla sistem biliyoruz. Gezegenlerin bu bariz çokluğu, kaçınılmaz olarak kaynaklarının ne olduğu sorusunu da gündeme getiriyor. Ancak, son zamanlarda yapılan yeni gözlemler, ileri düzeyli kuramsal si-

mülasyonlar ve laboratuvar çalışmaları sayesinde gökbilimciler "gezegen doğumu" adı verilen gizemli sürecin aşamalarını adım adım çözmekteler.

## Bebek Gezegenler Kreşi

Prusyalı filozof Immanuel Kant, insanlığın, evrende yalnız olup olmadığına ilişkin ezeli sorusuna, bir "gezegen-

## Zor Koşulların Çocukları

Orion Bulutsusu'ndaki disklerin keşfi, ilginç bir saptamayı da beraberinde getirmişti: diskler buharlaşıyor gibiydi. Çünkü, Orion yıldız fabrikasındaki enerji üyeler, gelişme olan yıldız sistemlerinin gezegen oluşturmak için gereksindikleri gaz ve tozu dışarıya doğru püskürtüyorlardı. Bu da, disklerin çoğundaki şekilsel çarpıklıkları açıklıyordu. Orion bulutsusunda kargaşanın sorumlula-

rından biri, ünlü Trapezyum kümesindeki Theta Orionis C (Theta C) yıldızı. Bu yıldız, disk adeta 'pişirerek' toz ve gazın buharlaşıp gitmesine neden oluyor.

Ancak bu noktada, ortada bir çelişki var. Kütle kaybı hesapları, Orion'daki disklerin yılda bir Dünya kütlesi kadar kütle kaybettiğini gösteriyor. Buysa disklerin, normalde 100.000 yıl içinde yok

olmaları demek. Ancak, kuramsal olarak biliyoruz ki bu gaz devlerinin oluşması için en az 1 milyon yıl gerekli. Öyleyse ya gezegen oluşumu tahmin edilenden çok daha hızlı gerçekleşiyor, ya da bu sistemler gaz devleri içermiyor.

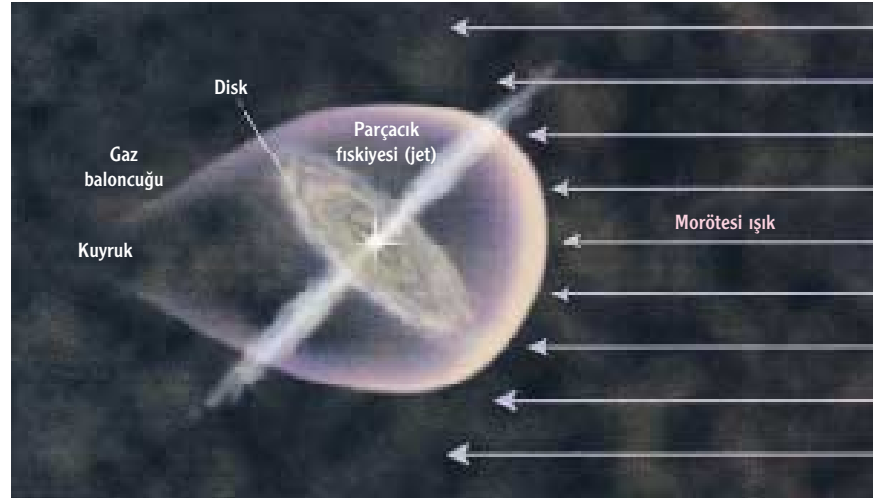
Soldaki 4 görüntü, Hubble Uzay Teleskopu'yla elde edilen ve Orion Bulutsusu'nun derinlerine gömülü disklerle ait. Şili'deki 4-metrelilik Blanco teleskopuyla çekilen sağdaki 4 resimse, Carina Bulutsusu'nun derinlerindeki diskleri görüntülüyor. İki disk grubu birbirine çok benzemekle birlikte, içinde buldukları sert koşullara gösterdikleri tepki, oldukça farklı.



ler kreşinin" var olabileceği önerisiyle karşılık veren ilk kişi. 1755'te gezegen doğumu için kurguladığı sahnenin oyuncularını, yeni doğmuş bir Güneş ve çevresinde dönen bir gaz ve toz bulutu. Bundan 200'ü aşkın yıl sonra, 1960 sonları ve 1970'lerde, Yale Üniversitesi'nden Richard Larson ve o zamanlar California (Berkeley) Üniversitesi'nde olan Frank Shu, konu üzerindeki modern kuramın öncülüğünü yaptılar. Buna göre bir yıldızın, çökmekte olan bir gaz ve toz bulutundan doğmasının ardından, artık malzeme, yıldızın içine doğru 'düşmek' yerine, çevresinde dönen bir disk oluşturur.

Hubble Uzay Teleskopu 1994'te 'gözlerini' Orion bulutsusuna çevirdiğinde, bu kuramsal senaryoyu şaşırtıcı biçimde doğrulamıştı. Sağladığı görüntüler, Orion içinde yer alan ve olsa olsa bir milyon yıl yaşındaki birçok 'bebek yıldız', gerçekten de tozlu disklerle çevrili olduklarının kanıtıydı. Aslında Orion'la ilgili bu keşif tümüyle beklenmedik değildi; çünkü gökbilimciler zaten yıldızları çevreleyen bu disklerle ilgili olarak, Hubble'ın bulgularından epey öncesinde dolaylı veriler elde etmişlerdi. Bir yıldızın ışığı toz parçacıklarınca soğrulup, kızılötesi ışık olarak geri verildiği için, diske sahip yıldızlar, diğerleriyle kıyaslandığında kızılötesi ışıkta daha parlak görünürler. Dünya'ya yakın yıldız oluşum bölgelerinde yapılan incelemeler de, yeni doğan yıldızların %50-80'inin, disklerin varlığıyla tutarlı şekilde, bir "kızılötesi fazlalığa" sahip olduğunu göstermişti. Hubble'ın bulguları, dolaysız gözlemsel kanıtları oluşturuyordu.

Genç yıldızların çevresindeki diskler, daha büyüktür; genelde Plüton'un



Hem Orion hem de Carina Bulutsularındaki gezegen öncülü diskler, yakınlardaki büyük kütleli yıldızlardan kaynaklanan, güçlü morötesi ışın etkilerine maruz kalıp hızla buharlaşıyorlar. Işınımın sistemi 'vurup' sıcak bir gaz baloncuğu oluşturmaması, disklerin kuyruklu yıldız gibi görünmelerine neden oluyor. Gaz ve tozun sistemden kaçtığı yer, kuyruk bölgesi. Orion Bulutsusu'ndaki disklerin, yılda bir Dünya kütlesine eşdeğer gaz kaybettikleri hesaplanmış. Bu, onları gezegen oluşumu bakımından verimsiz kılıyor.

Güneş çevresindeki yörüngesinin birkaç katı kadar. Milimetre-dalgaboyu teleskoplarıyla yapılan gözlemler, bu disklerin ne kadar madde içerdiğini ortaya koyuyor. Araştırmaların bir kısmı gösteriyor ki, disklerin kütleleri Güneş'inin 1-10 katı kadar. Bu miktar, bizimki gibi bir gezegen sistemi inşa etmeye yetiyor da artıyor bile.

1983'te Kızılötesi Gökbilim Uydusu (Infrared Astronomical Satellite-IRAS), genç yıldızlar çevresinde oluşan disklerin zaman içinde evrimleştiklerini gösterdi. IRAS, yaşları 10-100 milyon yıl arasında değişen bazı 'ergin' yıldızlardan, orta ve uzak kızılötesi dalgaboylarında bir ışınım fazlası belirlediyse de, yakın kızılötesi ışınımına rastlamamıştı. Bu, yıldızların hemen yakınlarda pek fazla sıcak tozun olmadığı anlamına geliyordu. Uzun dalgaboyundaki fazladan ışınım, uzaklarda görece soğuk tozun varlığına işaret ediyordu. Bu duru-

mu açıklayacak tek şey de, disklerde, gezegen oluşumunun sonucu olarak ortaya çıkmış olabilecek boşlukların varlığıydı.

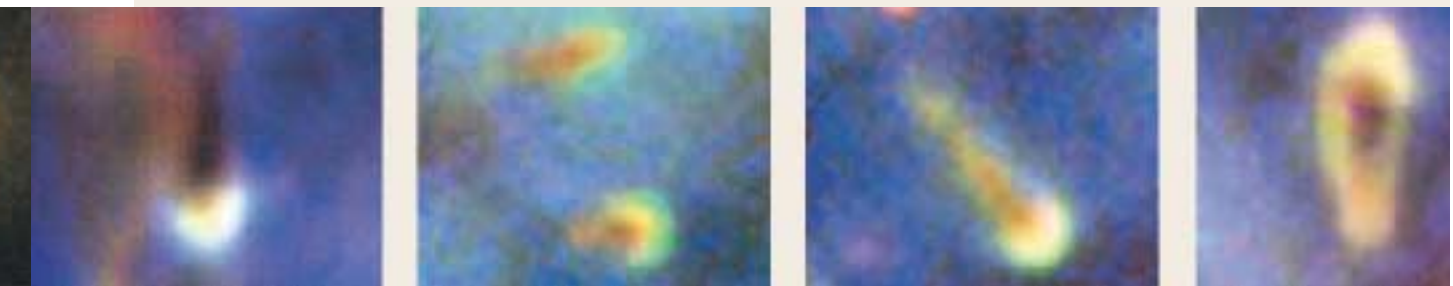
Bulguları izleyen bir yıl içinde, Hawaii Üniversitesi'nden Bradford Smith ve NASA Jet İtki Laboratuvarı'ndan Richard J. Terile, bu yıldızlardan Beta Pictoris adlı birinin çevresinde, belli belirsiz bir disk görüntülediler. Bu inanılmaz keşif, belki de bir gezegen sisteminin oluşumuna ilk kez tanık olmamızı sağlıyordu. O zamandan bu yana Beta Pictoris diski üzerinde çok yönlü yoğun çalışmalar sürüyor. Gerek Hubble, gerekse yeryüzeyindeki gözlemevlerinden alınan görüntüler de, diskte bir iç boşluğun varlığını gösteriyor. Hatta disk üzerinde bir-iki tane de hafif burulma bölgesi saptanmış. Bu bölgelerin, diske gömülü gezegenlerin kütleçekimsel etkilerinden kaynaklı olabileceği düşünülüyor. Peki ama, bu diskler

Ortalığı bulandıran başka bulgular da var. Aşağıda, soldaki dört görüntü, Carina bulutsusunun derinlerine gömülü, yeni keşfedilmiş disklerle ait. Bunlar Orion'daki disklerle benzemekle birlikte, aslında onlardan çok farklılar. Bir kere, 5-10 kat daha büyüktür. Dahası, içinde buldukları zor koşullarla da daha iyi başediyor gibiler. Colorado Üniversitesi'nden Nathan Smith'in açıklaması şöyle: "Carina Bulutsusu'nda bulunan birkaç farklı küme içinde, 60'tan fazla yıldız var. Hepsinin de kütlesi, Orion'daki Theta C'den büyük. Morötesi ışın

nım alanı da, Orion'dakinin 100 katı. Demek ki burada süreç daha hızlı işliyor. Ayrıca Carina, ötekinden daha yaşlı. Bu da, disklerin çoğunun şimdiye yok olmuş olması gerektiği anlamına gelir. Ama tüm bunlar, ortada bir çelişki olduğunun değil, bu disklerin koşullara daha dirençli olduklarının göstergesi olarak da yorumlanabilir. Yine de unutmamak gerekir ki Carina, çok farklı bir laboratuvar durumunda. İçerdiği yıldızların özellikleri, Orion'dakinden çok farklı... " Sonuçta, elmayla armudu karşılaştırmaya olma riski her zaman var.

Araştırmacılar Carina disklerinin daha yüksek çözünürlüklü görüntülerini sağlayana kadar, bu çelişki var olmaya devam edecek. Sözkonusu olan, gezegen oluşumuysa, belki de kural dışı kalan, Orion olacak. Ancak, örnek alanı yalnızca bu iki bulutsuyla kaldığı sürece, kesin bir şey söylemek de pek mümkün olmayacak gibi görünüyor.

Kaynak:  
Tytell, D. "Growing Up in a Rough Neighborhood" Sky and Telescope, Nisan 2003



gezegenleri nasıl ve ne zaman oluşuyorlar? Toz taneleri, nasıl olup da bir gezegen inşa edebiliyorlar? Son araştırmaların hedefi de bu sorular.

## Taş Taş Üstüne

Disklerin gezegen sistemlerine evrimleşmeleri için yaklaşık 10 milyon yıl süre gerektiğine ilişkin kanıtlar çoğalmakta. Kuramsal olarak, yıldız çevresinde dolanan toz taneleri birbirlerine yapışarak önce çakıltı büyüklüğünde parçaları, bunlar da birbirleriyle çarpışarak, gezegenlerin yapıtaşları sayılan, kaya büyüklüğünde parçaları ("gezegenimsiler") oluşturuyorlar.

Gezegen Bilimi Enstitüsü'nden Stuart J. Weidenschilling, süreci bilgisayar simülasyonlarıyla canlandırarak yaptığı çalışmada, çarpışmaların aslında oldukça yumuşak olduğu sonucunu çıkarılmış. Weidenschilling'e göre, küçük toz parçacıkları önce biraraya toplanarak kümeler oluşturuyor, bunlar da çarpışarak birbirlerine yapışıyorlar.

Almanya'daki Jena Üniversitesi'nden Jürgen Blum ve ekibiye, Weidenschil-



Hubble Uzay Teleskopu'yla elde edilen bu görüntü, gelişmekte olan bir gezegen sisteminin, bugüne kadar ki en iyi resmini sunuyor. Bizden 320 ışık yılı uzaklıktaki bu yıldızın çevresi, bir toz ve gaz diskiyle sarılı. Önceki gözlemler, diskin 30 astronomik birimlik (1 astronomik birim = yaklaşık 150 milyon kilometre) iç bölgesinin toz içermediğini göstermişti. Ortadaki düzensiz şekilli siyah boşluksa, merkezdeki yıldızın ışığını perdelemek ve diskin ayrıntılarını ortaya çıkarmak için, kamerada kullanılan maskenin etkisiyle oluşmuş.

ling'in savlarını deneylerle desteklemişler. Blum'un, 1998'de Discovery uzay mekiği içinde uygulanan deneylerinden birinde astronotlar, disk koşullarının benzerlerinin yaratıldığı düşük basınçlı

gazla dolu bir odacığa, mikron büyüklüğünde toz parçacıkları enjekte ederek, parçacıkların birkaç dakika içerisinde birbirlerine yapışıp telimsi kümeler oluşturduklarını gözlemişler. Yoğunlukların, mekik deneyindeki yoğunlukların yaklaşık milyonda biri olduğu gerçek diskler söz konusu olduğunda, bu sürecin yaklaşık bir yıl alması beklenir. Bu uzun ince kümelerin birbirleriyle düşük hızlarda çarpışarak iri çakıltı büyüklüğünde (ancak yoğunlukları çakıltıya göre çok daha az) topluluklar oluşturdukları, başka deneylerle de gösterilmiş durumda. Ortaya çıkan bir sonuç da, Blum'un tozdan toplarının, büyüdükçe 'dibe çökerek' çarpışma sayısını, dolayısıyla da daha fazla büyüme şanslarını artırdıkları.

Blum ve ekibinin bir sonraki hedefi, bu topların kilometre büyüklüğüne ulaşip ulaşmadıkları ya da ne şekilde ulaştıklarını araştırmak. Toz, gazın içinde asılı olduğundan, olasılıklardan biri, parçacıkların büyümekte olan yığına gaz hareketleriyle çekilmesi. Bu durumda, yüzeyine yapışan parçacıkların artmasıyla yığın, hem boyut hem kütlece büyüyecek.

Yüzlerce metrelik kayalar oluşturduktan sonra, işimiz kolay. Büyük gezegenimsiler, kendilerine çarpan neredeyse herşeyi tutacak kütleçekim kuvvetine sahip oluyor, dolayısıyla büyümeyi sürdürebiliyorlar. Küçük olanlarıysa, ya büyüklerine yapışıp kalıyor ya da çarpışmalarla yeniden toz duman oluyorlar. Kaya parçaları, Ay'ın boyutlarına ulaştıklarındaysa çarpışmaların sıklığı azalıyor. Ancak gerçekleşen çarpışmalar, bu sefer çok daha şiddetli. Birkaç milyon yıl içinde de, Dünya ve Mars gibi kayalık gezegenler, son biçimlerine üç aşağı beş yukarı ulaşmış oluyorlar. Bu noktada, Jüpiter ve Satürn gibi dev gezegenlerin büyüme konusunda hâlâ katedecekleri yolları var. Güneş'in çok uzakları; "kar sınırı" adı verilen sınırın ötesi, diskin içinde buz oluşumuna olanak verecek ölçüde soğuk. Buzun anlamıysa, gezegen yapımı için daha da fazla katı maddenin varlığı. Buz gibi birçok 'uçucu'nun buharlaşması, Güneş'e daha yakın bölgelerde gerçekleşiyor; böylece katı yapıtaşları azalmış gezegenimsiler küçülmeye mahkum oluyor. Kimi zaman Dünya'nın kütlelerinin 10 katı kütlede dev toz ve buz çekirdekleriyle işe başlayan

## Başka Dünya'lar, Başka Jüpiter'ler...

Maryland Üniversitesi'nde yürütülen ve bilgisayar modellerine dayandırılan yeni bir çalışma, Dünya gibi kayalık gezegenlerin oluşumunu açıklayan standart modelin, ikili yıldız sistemlerine uygulandığında bile geçerliliğini koruduğunu gösteriyor. (Şimdiye kadar ikili yıldız sistemlerinin karmaşık yörünge hareketlerinin, gaz ve toz disklerini kararsız kılacağı, kütleçekim etkileşimlerinin de, oluşsa bile gezegenleri boşluğa savurabileceği düşüncesi yaygındı.) Araştırmacıların vurguladığı bir diğer sonuçta, evrendeki Dünya benzeri gezegen sayısının, tahmin edilenin çok üstünde olabileceği. Bu, aynı zamanda Güneş dışındaki yıldızların çevresinde de 'yaşanabilir' gezegenler olabileceği umudunun artması demek.

Araştırmacılar, Güneş Sistemimizin nasıl oluştuğunu açıklayan modellere dayanarak, çoğu 'tek' yıldızın, boyut ve yörünge özellikleri bakımından Dünya'ya benzer gezegenleri barındırma potansiyeline sahip olduklarını zaten varsayıyorlardı. Bu yıldızlardan, yalnızca bizim gökadamızda milyarlarca var. Ancak, tek gibi görünen yıldızların yaklaşık yarısının, aslında ikili yıldız sistemlerinden (birbiri çevresinde dolanan yıldız çifti) oluştuğu ortaya çıkmış durumda. Bu da doğal olarak, olası Dünya benzeri gezegen sayısını ikiye katlıyor.

Bu görüşü destekleyen başka çalışmalar da var. Bunlardan biri, gaz devi Jüpiter'e benzer gezegenlerin sayılarına ilişkin. Avustralya'daki South Wales Üniversitesi'nden çalışmayı yürüten

Charley Lineweaver, ışın ardındaki aritmetiği şöyle özetliyor: "Gökadamızda 300 milyar kadar yıldız var. Bunların %10 kadarı (30 milyar) kabaca Güneş benzeri. Bunların da en az %5'i (1,5 milyar), ama olasılıkla da %90, hatta %100'ü (30 milyar), Jüpiter benzeri gezegenlere sahip.

Gezegenlerin oluşumuna ilişkin temel kuram, oldukça açıklayıcı olsa da bazı eksiklikleri var. Jüpiter'in nasıl bu kadar büyük olabildiği, hatta Uranüs ve Neptün'ün nasıl olup da varolabildikleri gibi boşluklar, hâlâ tam olarak doldurulabilmiş değil. Şu ana kadar saptanabilmiş Güneş dışı gezegen sayısı, 100'ün üzerinde. Bunların çoğuysa Jüpiter'den çok daha büyük oldukları halde, yıldızlarına çok yakın -Merkür'le Güneş arasındaki mesafeden de yakın- yörüngelerde dolaıyorlar. Ayrıca Merkür, Venüs, Dünya ve Mars gibi "kayalık" gezegenlerle, Jüpiter gibi gaz toplarının oluşum süreçlerinin de farklı olduğu sanılıyor.

Lineweaver'ın tahminleri, gökadamızdaki olası Jüpiter'ler kadar Dünya'ların da olduğu. Ancak bunun, "Dünya benzeri" sözcükleriyle neyi kastettiğimize bağlı olduğunu da vurguluyor. Şu aşamada kastedilen, kayalık gezegenler. Sözelimi, yüzeyinde sıvı su barındıran kayalık gezegenler için aynı tahmin yapılamıyor.

Kaynaklar:  
[http://www.space.com/scienceastronomy/planet\\_formation\\_010810-1.html](http://www.space.com/scienceastronomy/planet_formation_010810-1.html)  
[http://www.space.com/scienceastronomy/astronomy/jupiter\\_typical\\_020128.html](http://www.space.com/scienceastronomy/astronomy/jupiter_typical_020128.html)

dış gezegenler, zamanla büyük miktarlarda gaz toparlayarak, oldukça kalın birer atmosfere sahip oluyorlar. Bu, uzun bir süreç; bazen birkaç milyon yıl kadar. Dolayısıyla karşımıza önemli bir soru daha çıkıyor: Güneş, gaz birikimlerini savurmadan önce, gezegenler bu muazzam hacimlerini nasıl biraraya getirebiliyorlar? Yanıt, dev gezegenlerin, küçük ve kayalıklı yapıdaki kuzenlerinden bambaşka bir biçimde oluştuğu gerçeğinde yatıyor olabilir mi?

Savlardan birine göre, gaz devlerinin hızla oluşması ardındaki temel etken, önce kayalık bir çekirdek, ardından da gazdan bir atmosferin edinildiği iki aşamalı bir süreçten çok, disk parçalarının, kendi çekim kuvvetleri altında doğrudan çökmeleri. 2002 yılı sonlarında Zurich Üniversitesi'nden Lucio Mayer'in, bu senaryoyu denemek için yürüttüğü bilgisayarlı simülasyon çalışması, gaz devlerinin, gerçekten de milyonlar yerine yüzlerce yıl içinde oluşabilecekleri sonucunu veriyordu; tabii ana diskin yeterli kütlede olması koşuluyla.

Beklenebileceği gibi, gökbilimciler bu soruların kesin yanıtlarını da henüz bulabilmiş değiller. Ancak, kuramsal hesaplar ve Blum'un gibi laboratuvar deneyleri, öykünün ana çizgisini en azından şimdilik doğrular durumda. Yine de, çalışmalar çok yönlü biçimde sürüyor. Bir yandan kuramcılar konu üzerindeki anlayışlarını geliştirmeye çalışırken, gözlemciler de gezegen doğum sürecinin değişik evrelerini yakalamaya çalışıyorlar.



## Toz Disklerinin Peşinde

Son beş yıl içinde, kızılötesi ve milimetre dalgaboylarında çalışan duyarlı kameraların kullanıma sokulmasıyla, gökbilimciler gezegen oluşum sürecinin değişik aşamalarındaki düzinelerce



Hubble Uzay Teleskopu'yla elde edilen bu görüntü HR 4796A yıldızı çevresindeki toz diskini gösteriyor. Diskin ince oluşu, genç yıldızın çevresinde gezegenlerin dolanıyor olabileceğinin göstergesi.

başka diski de inceleme olanağı buldular. 1998'de biri Michigan Üniversitesi, diğeri Kuzey Arizona Üniversitesi'nde çalışmakta olan iki ekip, HR 4796A adlı 10 milyon yıllık yıldızın çevresinde bir disk görüntüledi. Yıldızın yaşının, gezegen oluşumu için çok uygun olması, araştırmacıları disk içinde Güneş Sistemi boyutlarında merkezi bir boşluk bulmaya yöneltmişti. HR 4796A, aynı zamanda bir ikili sistemin üyesi. Diğer üyeye ondan yaklaşık 500 astronomik birim (astronomik birim: Güneş'le Dünya arasındaki ortalama uzaklık; yaklaşık 150 milyon kilometre) uzaklıkta. Bu keşif, yıldızlar arasındaki uzaklığın yeterince büyük olması koşuluyla ikili sistemler içindeki disklerin, gezegen oluşturacak kadar yaşayabildiklerini doğruluyor. HR 4796A çevresinde gözlenen tozun miktarı, topu topu Dünya'nın kütlesine karşılık geliyor. (Orion bulutsusundaki 1 milyon yıllık diskleri çevreleyen tozun çok çok küçük bir oranı.) Bir olasılık, tozun bir kısmının bir yerlere, belki de gezegenimsi oluşumuna katılmak üzere kaybolduğu. HR 4796A çevresinde henüz gezegen saptanabilmiş değil; elde olanlar, şimdilik yalnızca iç deliğin varlığına, bir de azalmış toz miktarına ilişkin ipuçları.

Bu çalışmayla hemen hemen eşzamanlı olarak Hawaii'deki Ortak Gökbilim Merkezi'nde yapılan başka bir çalışmada, görece yaşlı dört yıldız (Vega, Fomalhaut, Epsilon Eridani ve ünlü Beta Pictoris) ait disklerin milimetre-dalgaboyu görüntüleri ortaya çıkarıldı. Bunlardan Epsilon Eridani'yi çevreleyen ve ona yalnızca 10 ışık-yılı uzaklıktaki disk, özellikle ilginç görüntüler sunmuş durumda. Disk üzerinde merkezi bir boşluğun yanı sıra, parlak bir

## Yeni Dünyaların Arayışı

Güneş Sistemimizin içindekilere benzer yeni gezegenler ve yeni Dünya'lar arama çalışmaları, gökbilimde yepyeni bir dönemi başlatmış bulunuyor. Hawaii'deki Keck Gözlemevi'nde bulunan dev teleskop çiftine benzer teleskopların yeni tekniklerle birlikte kullanımı yoluyla, gökbilimciler şu sıralarda genç yıldızları çevreleyen diskleri ve içindeki maddeleri yoğun biçimde inceliyorlar. Temel amaçsa, bizimkine benzer başka güneş sistemlerinin de var olup olmadığını anlamamızı sağlayacak, ve belki de olgunlaştıklarında üzerlerinde yaşam barındırabilecek bebek gezegenleri bulmak.

Toz, optik gökbilimde sakıncalar doğursa da, kızılötesi ve radyo dalgaboylarında incelendiğinde oldukça ilginç sonuçlar verebiliyor. Şu sıralar, birçok gökbilimcinin yapmaya çalıştığı şey de bu durumdan olabildiğince yararlanarak, Güneş-dışı bir gezegeni görüntüleme yarışında ipi göğüslemek.

Araştırmacıların tozdan bir başka beklentileri de, bulgularının Güneş Sistemi'nin oluşumundaki sıralara ışık tutması.

Amerikan Gökbilim Topluluğu'nun (American Astronomical Society) geçtiğimiz Ocak ayında gerçekleşen tozlu toplantısında ortaya çıkan önemli sonuçlardan bazıları şunlar:

- Vega adlı yıldızın çevresinde farklı zamanlarda görüntülenen iki dev toz ve gaz kümesi, yörüngesi boyunca iki farklı noktada görüntülenmiş, gelişmekte olan büyük bir gezegen olabilir.
- SU Aurigae yıldızının ışığını her seferinde birkaç gün boyunca gölgede bırakan "toz düğümleri", ilkel gezegen "çekirdekleri" olabilir.
- HD 113766A yıldızını çevreleyen bir toz kuşağı, gelişmekte olan bir Dünya benzeri gezegeni barındırıyor olabilir.

Kaynak:  
[http://www.space.com/scienceastronomy/astronomy/dusty\\_worlds\\_020123-1.html](http://www.space.com/scienceastronomy/astronomy/dusty_worlds_020123-1.html)

# Kaybolan Disklerin Esrarı

Geleneksel kurama göre ana yıldız çevresinde bulunan ve gezegen oluşumu için gerekli hammaddeyi (gaz ve toz halinde) barındıran diskler, son bulgulara göre, tahmin edilenden daha hızlı kayboluyorlar. Eğer öyleyse, işleri çarpışık hale getiren, bu hızın, gezegen oluşumu için gerekli süreyi gezegen adayına tanıması.

Süreci kaba hatlarıyla yinelersek, diskin içindeki toz parçacıkları çarpışarak birbirlerine yapışıyor ve önce küçük çakıllı taşlar, bunların üzerine madde birikmesiyle de büyük potansiyel gezegenler, yani "gezegenimsiler" oluşuyor. Gezegenimsilerin bir kısmı büyüyerek, bol çarpışmalı ortamlardan sağ salım çıkacak boyutlara ulaşıyor; Dünya ve Mars gibi. Daha uzaktaki başkalarıysa kendi kütleçekim kuvvetlerinden yararlanarak ortamdaki gazı çekiyor ve gaz devlerine dönüşüyorlar; Jüpiter gibi. Böyle bir gaz gezegeninin inşasının 10 milyon yıl kadar alacağı düşünülmekte.

Ancak, Florida Üniversitesi'nden Elizabeth Lada gibi başka araştırmacıların da iddia ettiğine göre, kümelerdeki yıldızlardan düzinelercesi, çevrelerindeki tozun % 90 kadarını 5 milyon yıl içinde kaybediyorlar. 3 milyon yıl sonra tozundan eser kalmamış yıldızlar da oldukça fazla. Yine, disklerin dış kısımlarının, aşırı şiddetli koşullarda 100.000 yıl gibi bir sürede buharlaşabileceği de gösterilmiş durumda.

Bu veriler de yine bazı araştırmacıları, gezegen oluşum sürecinin daha kısa olabileceği sonucuna götürüyor. Lada, disklerdeki gaz ve tozun birbirine bağlı olması durumunda (ki inancı da bu yönde), sürecin kesinlikle daha kısa olacağı görüşünde.

Ancak herkes bu görüşü paylaşıyor. Vanderbilt Üniversitesi'nden Jeff Bary ve David Weintrub, Arizona'daki Kitt Peak Ulusal Optik Gözlemevi teleskopundan yararlanarak, toz disklerini kaybetmiş 12 genç yıldızın çevresinde hatırı sayılır miktarda hidrojen olduğunu keşfettiler. Yani, toz ve gaz birbirine bağlı değil; tozun ortamda bulunmayışının nedeni de, daha büyük cisimlere katılmış olmasıydı. Weintrub, bu küçük zerreciklerin büyük cisimlerin yapısına eklenmesi durumunda, gözlenememelerinin de doğal olduğu sonucuna varıyor. Ancak, yeni bir çıkarımda bulunmak konusunda da temkinli. "Tozun yok olup gittiği görüşü, kabul edilebilir bir görüş. Ama gezegen inşası sürecinin 3 milyon yıldan sonra da sürüyor olabileceği, aynı derecede kabul edilebilir olmalı. Gözleyemediğiniz bir kitlenin içinde neler olup bittiğini de söyleyemezsiniz" diyor Weintrub.

Kaynak:  
[http://www.space.com/scienceastronomy/planet\\_puzzle\\_030603.html](http://www.space.com/scienceastronomy/planet_puzzle_030603.html)

nokta da saptanmış. Yaklaşık 500 milyon yıl yaşındaki yıldızın, gezegen oluşum sürecinin temel aşamalarını çoktan geçmiş olması bekleniyor. Toz hal-kasının yıldız uzaklığının, Neptün'ün

yörüngesiyle Güneş arasındaki uzaklığa çok yakın olmasıysa, halkanın Kuiper Kuşağı'nın (Neptün yörüngesinin dışında, Güneş Sistemi'nin oluşum sürecine ait artıkları barındırdığı düşünül-

len bir kuşak) bir benzeri olabileceği düşüncesini akla getiriyor.

Büyük teleskoplardaki ayarlanabilir optik sistemlerin yaygın kullanımı sayesinde, elde edilen görüntülerin kalitesi, sonuçta da ele geçen verilerin sayısı giderek artmakta. Sözgelimi, Hawaii'deki Gemini Gözlemevi'nin 8-metrelik Gillett teleskobuyla, çok genç bir yıldızla ait ince bir disk saptanabilirdi. Yıldızın kendisi henüz iki milyon yaşında olduğu halde çevreleyen diskin ince olmasını, araştırmacılar şöyle yorumluyor: Disk içindeki tozlar, orta düzleme yerleşmiş olabilir (Blum'un deneyinde kavanozun dibine düşen toz parçacıkları gibi). Eğer durum gerçekten buysa, belki de tanık olduğumuz şey, 2 milyon yıl gibi genç bir yaşta, gezegen oluşturmaya doğru atılan ilk tedirgin adımlar.

Tüm ipuçları topluca ele alındıklarında, bu tozlu disklerin bebek gezegen sistemlerine yaklaşık 10 milyon yılda evrimleştiklerine işaret ediyorlar. Bu sistemlerse, olasılıkla birbirlerinden çok farklı özellikler barındırıyorlar. Güneş-benzeri yıldızların çevresinde şu ana kadar keşfedilmiş gezegenler arasındaki farklılıklar da, bu olasılığın güçlendirir nitelikte. Gezegen bulmak için bugüne kadar kullanılmış olan teknikte, olası hedeflerin gerçekten gezegen olup olmadıkları, ana yıl-

# Gezegenler Sanılandan Hızlı mı Oluşuyor?

Gezegen oluşumu için önerilen standart modele göre, yıldız oluşturacak olan madde çöküp yıldız ortaya çıktıktan sonra, çevresi, bu süreçten artan gaz ve tozun oluşturduğu bir diske sarılır. Gezegenlerin oluşumunda ilk aşamaysa, bu diske içerilen maddeden kayalık bir "çekirdeğin" oluşumu. Gaz ya da buz devlerine dönüşecek cisimlerse daha sonra bu kayalık çekirdek çevresinde birikiyorlar. Bu süreçse 1-8 milyon yıl kadar sürebiliyor. Bu, çok genel bir açıklama tabii. Yine de model, ayrıntılarıyla birlikte gökbilimcilerin çalışmalarına uzun süre hizmet etmiş. Ancak birkaç yıldır, araştırmacılar modelde sorunlar olduğunun farkındalar. Senaryo, buz gezegenleri Uranüs ve Neptün'ün neden büyük gaz kitleleriyle sarılı olmadığını açıklayamadığı gibi, başka yıldızlar çevresinde dolanan ve çoğu Jüpiter'den büyük, dev Güneş-dışı gezegenlerin neden yıldızlarına çok yakın yörüngelerde olduklarını da açıklayamıyor.

Standart model, başka yıldızlara uygulandığında da ortaya defolar çıkıyor. Yıldız oluşumunun sık olduğu bir bölgede dev olmaya çalışan bir gezegen, kısa süre sonra yakınlardaki büyük yıldızlardan gelen bir radyasyon seline maruz kalarak,

gereksinim duyduğu ve zorlukla toparlayabildiği malzemeden de olacak. Bu kaybetme süreci standart modelin öngördüğünden, yani gezegenin gereksinimlerini karşılayabileceği süreden çok daha hızlı gerçekleşeceği için de gezegen, hiç bir zaman oluşamayacak.

Ancak yeni bir bilgisayar modellemesi sayesinde, dev bir gezegenin inşası için kuramsal olarak gerekli sürenin 300 yıl gibi kısa bir aralığa düşebileceği gösterilmiş durumda. Araştırmacılar, sonuçların kendi Güneş Sistemimizin olduğu kadar, başka sistemlerdeki gezegenlerin sakladığı bazı sırları da açığa çıkarabileceği umundular. Zürich Üniversitesi'nden Lucio Mayer'in yürüttüğü çalışma, gökbilimcilerin gözünde, büyük gezegenlerin kayalık çekirdekten dışarıya doğru büyümek yerine, ani bir kütleçekimsel çöküş sonucunda oluşukları varsayımına büyük destek.

Carnegie Enstitüsü'nden kuramcı Alan Boss da, hızlı gezegen oluşumunu açıklayan bir kuram geliştirmiş durumda. Boss'un modeline göre bir gezegen, ana yıldız çevresindeki toz ve gaz diskinde oluşan bir "madde düğümü"nden çökme yoluyla oluşur. Boss'a göre Jüpiter benzeri bir gezegen

için gerekli hammaddeyse 1000 yıl gibi görece kısa bir sürede toplanabilir. Maddenin yoğunlaşması için daha fazla süre her ne kadar gerekse de.

Boss'un bir başka varsayımı da, Neptün ve Uranüs atmosferlerinde gaz kuşaklarının yokluğunu açıklıyor. Boss'un öyküsü şöyle: Güneş, yıldız doğumunun yoğun olduğu, vahşi bir bölgede meydana geldi. Uranüs ve Neptün'ü büyük ve az yoğun gezegenler olarak işe başladılar; ancak yakınlardaki genç bir yıldızdan kaynaklı yoğun morötesi ışınım, onları gazlarından etti. Bu arada bu iki gezegen, kalan malzemelerini yoğunlaştırmak için kendi kütleçekim kuvvetlerinden vargüçleriyle yararlanmaya çalıştılar. Öykünün sonu: Yakındaki sıcak, genç yıldız ölür ve Güneş kütleçekim etkileri sonucunda daha ıssız bir bölgeye göçetmek zorunda kalır; peşinde de dokuz gezegen...

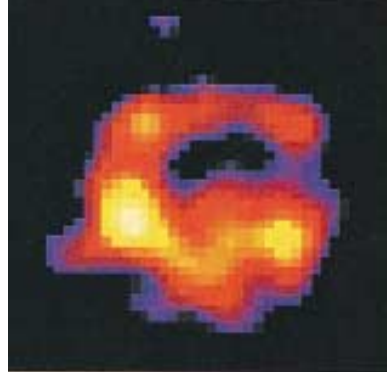
Boss'un varsayımları tartışmadan muaf değil. İyimserler de var, senaryonun olanaksız olduğunu iddia edenler de.

Kaynaklar:  
[http://www.space.com/scienceastronomy/planets\\_quickly\\_0211129.html](http://www.space.com/scienceastronomy/planets_quickly_0211129.html)  
[http://www.space.com/scienceastronomy/solarsystem/planet\\_formation\\_020709\\_1.html](http://www.space.com/scienceastronomy/solarsystem/planet_formation_020709_1.html)



dıza uyguladıkları çekim kuvveti ölçülerek, dolaylı olarak saptanabiliyor. Bu teknikse daha çok, yıldızlarına görece yakın cisimlerin belirlenmesinde yararlı oluyor. Ancak bu sınırlamaya karşın, gezegen keşifleri konusunda bazı büyük sürprizler yine de ortaya çıkabiliyor. Sözgelimi, Jüpiter kütle-sindeki Güneş-dışı gezegenlerden bazıları, yıldızlarına Merkür-Güneş mesafesinden daha yakın yörüngelerde dolanıyorlar. Bu durumun en iyi açıklaması, bu tür yakın yörüngeli gezegenlerin çok daha uzaklarda (Jüpiter'le Güneş arasındaki uzaklık gibi) oldukları ve diski oluşturan malzemenin sarmal hareketiyle, yıldız yakınına çekildikleri şeklinde.

Sürprizlerden biri de, Güneş-dışı gezegenlerin çoğunun eliptik yörüngelere sahip olmaları. Oysa gökbilimciler, yeni doğmuş gezegenlerin yörüngelerinin, içinde yer aldıkları toz ve gaz diskinde oluşacak sürtünmeden dolayı dairesel hale geleceğini tahmin ediyorlardı. Yörünge neden dairesel değil de, eliptik? Araştırmacılara göre ipuçlarından biri, kuyruklu-yıldızlarda barınıyor olabilir. Kuyruklu-yıldızların bugünkü eliptik yörüngeleri, büyük olasılıkla gezegenlerle çok



Hawaii'deki James Clerk Maxwell teleskopuyla elde edilen bu 850 mikronluk görüntü, Güneş'e en yakın yıldızlardan biri olan Epsilon Eridani adlı yıldız çevreleyen diske ait. Resimdeki en parlak bölge, olasılıkla, görünmeyen bir gezegenin yörüngesinde mahsur kalmış toz. Sağdaysa, Güneş Sistemimiz, aynı ölçekte çizilmiş. Bu iki resim karşılaştırıldığında, Epsilon Eridani'nin diskinin Kuiper Kuşağı'yla benzerliği dikkat çekiyor.

daha önceleri girdikleri yakın etkileşimin bir sonucu. Ve belki gezegenlerin kendileri de bu tür etkileşim oyunlarına katılıyorlar. Durum buysa, diyor araştırmacılar, büyük ölçüde dairesel yörüngelere sahip Güneş Sistemimiz, "normal" olanı temsil etmekten çok, bir ayrıcalığı temsil ediyor olabilir.

## Gençliğin Sıcak Parıltısı

Tüm bu farklı dinamik süreçlerin sonucu olarak, gezegen sistemlerinin

bebeklik ve yetişkinlik aşamaları büyük farklılıklar gösterebilir. Yeni doğmuş gezegenler kendi ısılarıyla parlayacaklarından, başka kaynaktan aldığı ışığı yansıtan görece yaşlı akrobalarından daha parlak görüneceklerdir. Jüpiter, uzaktan bakıldığında Güneş'in neredeyse milyarda biri parlaklıkta olacaktır. Genç bir Jüpiter içinse bu oran, 10.000-100.000'de bire düşer. Bize yakın genç bir yıldızın çevresinde dolanan yeni doğmuş bir gezegeni görüntülemek, yıldırıcı bir ışık gibi görünse de, olanaksız değil. Güneş-dışı bir gezegenin ilk görüntüsünü alma düşlerini kuran birçok gökbilimciyse, birbirleriyle yarış halinde.

İş, parlak bir yıldızın dibinde bitirmiş çok sönük bir cisim bulmakla bitmiyor. Çünkü bu solukbenizli aday, fondaki herhangi bir yıldız da olabilir. Ama eğer adayınız, gökyüzünde yıldızıyla aynı hareketleri paylaşıyor, tayfında su buharı, metan gibi gezegenlere özgü işaretler taşıyorsa, doğru yoldasınız. Ancak, bu tür sağlamaları yapmak, günümüzdeki en becerikli teleskopların bile sınırlarını zorlayacak.

İnançlarından dolayı Katolik Kilisesi'nce mahkum edilip 1600 yılında yakılarak öldürülen filozof ve eski din adamı Giordano Bruno'nun inançlarından biri de, Dünya'nın tek ve eşsiz olmadığı, yıldızların da kendi gezegenlerine sahip birer güneş oldukları yönündeydi. Bundan 400 yıl sonra, bu tür birçok gezegen sistemi belirlenmiş olduğu gibi, bunların kökenleri hakkında da yabana atılmayacak bilgi birikimine sahibiz.

## İpuçları Metal Oranında mı Yatıyor?

Güneş'imize benzeyen görece yakın 754 yıldızla yapılan çok yeni bir çalışma, bir yıldızda ne kadar çok metal varsa, yıldızın gezegene sahip olma olasılığının da o kadar çok olduğunu göstermiş bulunuyor. (Gökbilim dilinde "metal" tanımı, hidrojen ve helyum dışındaki tüm elementleri kapsıyor. Ama kolaylık olsun diye gökbilimciler, yıldızlardaki metal oranlarını karşılaştırırken, Güneş'teki demir oranını temel alıyorlar.) Çalışmayı yürütenlerden Debra Fischer (California Üniversitesi, Berkeley), ağır metallere zengin yıldızların gezegen barındırma şanslarının, metal oranı düşük gezegenlere göre 5 kat fazla olduğunu söylüyor. Bulgularsa, metalce zengin yıldızlardan % 20'sinin, gezegenleri olduğu yönünde. Bu, oldukça yüksek bir oran.

Metaller bir anlamda, gezegen oluşturma potansiyeline sahip çekirdekler. Helyumdan ağır elementler yıldızın içinde füzyon tepkimeleriyle oluşturulup, süpernova patlamalarıyla da yıldızlararası ortama salınıyorlar. Dolayısıyla gökadamızın erken evrelerinde çok az olan metallerin miktarı, zaman içinde artıyor ve birbirini izleyen her bir yıldız nesli, bir öncekine göre bu elementlerce daha zengin hale geliyor. Bu, gezegen oluşturma olasılığının da artması demek. Sonuçta, yeni oluşan yıldızların gezegen doğurma olasılıkları, geçmiş nesillere göre daha fazla.

Fischer ve çalışmayı birlikte yürüttüğü Jeff Valenti'nin (Hubble Uzay Teleskobu Bilim Enstitüsü) örnekleme, gezegeni olan 61 yıldız ve gezegensiz 693 yıldız kapsamı bakımından, oldukça geniş. Yaptıkları analiz, metal içeriğiyle gezegen oluşumu arasındaki ilişkiye kanıt oluşturur nitelikte.

İşte sonuçlar:

Metal İçeriği	Gezegene Sahip Olma Olasılığı
Güneş'teki kadar	% 5 - 10
Güneş'tekinin 3 katı	% 20
Güneş'tekinin 1/3'ü	% 3
Güneş'tekinin 1/3'ünden az	0 ya da çok az

Fischer'e göre, veriler metalce zengin yıldızların neden gezegen oluşturmaya eğilimli olduklarını da açıklıyor. Veriler, ağır elementlerin birbirlerine daha kolay tutundukları ve yeni yıldızlar çevresinde toz, taş, sonuçta da gezegen çekirdeklerinin oluşumuna daha kolay izin verdikleri varsayımıyla tutarlı. Genç yıldızla çevresinde oluşan diskin toz ve gaz bileşimleri aynı olacağı için, yıldızda gözlenen ağır metal bileşimi, diskte yer alan ve gezegeni oluşturacak hammadde-nin niteliğini de yansıtabiliyor.

Kaynak:  
NASA Basın Bülteni, 17 Temmuz 2003

Jayawardhana, R. "Planets in Production: Making New Worlds" Sky and Telescope, Nisan 2003

Çeviri: Zeynep Tozar

# YAŞAM MOLEKÜLÜ

Güneş Sistemi benzersiz olmayabilir mi? Uzayda başka bir yerlerde, Güneş Sistemi'nin ve gezegenimizin geçirdiği süreçler tekrarlanıyor olabilir mi? Bu soruların yanıtı, kimyada, özellikle de suyun kimyasında gizli. Bugün, hem NASA, hem de ESA (Avrupa Uzay Ajansı), Güneş'e benzeyen yıldızların yörüngesinde dönen, bizim gezegenimizin büyüklüğünde gezegenler aramak ve bu gezegenlerde su buharı, karbondioksit, ozon ve metan, yani yaşamın kimyasal imzalarının bulunup bulunmadığını ortaya çıkarmak üzere yeni uzay projeleri tasarlıyorlar. Bunlar, teknolojik açıdan karmaşık çözümler gerektiren projeler; ancak büyük bir olasılıkla önümüzdeki on yıl içinde yaşama geçirebilecekler. Aslında daha şimdiden, uzaydaki bazı teleskop ve gözlem araçlarıyla bu tür araştırmalar başlatıldı bile.

**Gökadalara** oluşturan neredeyse her şey, moleküler bulutlardan ortaya çıkmış ve çıkmakta. Bu nedenle de uzayda yaşamın moleküler izlerini arayan araştırmacıların ilgi alanı da bu bulutlar. Her bir atomun, molekülün ve iyonun, enerji yaydıkça üretilen ve elektromanyetik tayfta bir dizi çizgiden oluşan, kendine özgü bir tayf imzası vardır. Araştırmacılar, yıldızlararası bölgelerin kimyasını anlamak için işte bu tayf çizgilerini inceliyorlar. Örneğin, bir bulutsudaki öteki atomlar ve moleküllerle çarpıştıktan sonra su, sıcaklığa ve içinde bulunduğu bulutun yoğunluğuna göre binlerce farklı dalga boyunda ışınım yayabilir. İde-

alde, gökbilimciler, bu ışınımın yaydığı bütün tayf çizgilerini görmek isteseler de, yalnızca bir çizgiyi görerek orada su bulunup bulunmadığını ve miktarını tahmin etmeye çalışırlar.

Işınım özelliklerine göre elementleri belirleme yöntemi, son 20-30 yıldır yıldızlararası uzayda 120'den fazla molekülün belirlenmesinde kullanılmış. Bunlardan, hidrojen gibi kimileri,

jen ve su buharı, bol miktarda kızılötesi ve milimetrealtı ışınım emer ve yayar; bu da uzaydan gelenlerin örtülmesine neden olur. Bu olumsuz durumu yenmenin en iyi yolu, gözlem araçlarını yörüngeye göndermek. Bugüne kadar uzaydaki bulutlarda su ve oksijen bulunup bulunmadığını araştırmak üzere iki uydu gönderildi: 1995-1998 yılları arasında görev yapan ESA'ya ait Infrared Space Observatory (Kızılötesi Uzay Gözlemevi) - ISO ve NASA'nın, 1998 yılında fırlattığı ve 2004'e kadar görev yapacak olan Submillimeter Wave Astronomy Satellite (Milimetrealtı Dalgaboyu Gökbilim Uydusu) - SWAS.

ISO'nun görevi dört yıl kadar önce sona ermiş olsa da, topladığı veriler hâlâ yeni bulgular ortaya koyuyor. İncelemelerde, (daha karmaşık organik moleküllerin oluşmasında basamak olarak kabul edilen) halka biçimli benzen de dahil olmak üzere 20'den fazla yeni molekül bulunmuş. Ve, bir de su! Araştırmacılar, baktıkları her yerde suya rastlamışlar. Orion Bulutsusu gibi yıldız kuluçkalıklarında öyle çok suya rastlanmış ki, araştırmacılar, burada, yeryüzündeki okyanusları her 24 dakikada bir doldurmaya yetecek kadar su üreldiğini hesaplamışlar. ISO'yla, dev gezegenlerde, güneş sistemimizdeki kuyruklu yıldızlarda ve gökadalarda da su bulunduğu belirlenmiş. Araştırmacılara göre, yeryüzündeki suyun büyük bir bölümü de, uzaydaki bu dev su fabrikalarından kaynaklanıyor.

yeryüzündeki kızılötesi teleskoplarla, küçük bir bölümü de optik aygıtlarla bulundu. Ancak büyük bir çoğunluğu, moleküllerin enerjilerinin çoğunu yaydığı radyo bölgesinde gözlemlendi.

Çok yakın bir zamana kadar, yeryüzünde yaşamla doğrudan ilişkili moleküller olan su ve oksijenin uzaydaki varlığını kesin bir biçimde belirlemenin bir yolu bulunmuyordu. Dünyanın atmosferindeki karbonmonoksit, oksi-

ISO ve SWAS'ın inceledikleri böl-

# LERİNİN PEŞİNDE...

gelerin birçoğu aynı. Ancak, ISO, yıldızların çevresindeki 100-200 Kelvin'lik sıcak noktalara karşı daha hassasken, SWAS, daha geniş alanlara yayılmış, mutlak sıfırın (0° Kelvin = -273°C) 10-20° üstü soğuk bölgelere karşı hassas. Ayrıca, SWAS daha dar dalgaboylarına duyarlı olduğundan, yalnızca 0,54 milimetrelilik bir tayf çizgisini bile görebiliyor. (Bu, suyun geçirdiği bilinen en küçük değişim: en düşük enerji düzeyindeki bir molekül, bir hidrojen atomunun çarpması sonucu dönmeye başlar ve milimetre-altı dalga ışınımı olarak, ayırdedilebilir biçimde enerji açığa çıkarır). SWAS bugüne kadar Mars, Jüpiter ve Satürn'ün atmosferlerini ve ilginç radyo özellikleri nedeniyle seçilen 120 moleküler bulutu incelemiştir. SWAS'la toplanan veriler de her yerde su bulunduğunu gösteriyor.

Suyun varlığı ve bu kadar sık rastlanması, gök biliminde en büyük gizlemlerinden birinin açıklanmasına yardımcı olabilir: yıldızların nasıl oluştuğu. Dev gaz ve toz bulutları kütleçekiminin etkisiyle çöktüğünde, gaz ısınır ve genişlemek ister. Ancak, çökmenin sürmesi ve bir yıldızın doğması için gazın bir biçimde soğuması gerekir. Araştırmacılar bunun, bulutların içindeki çarpışmalar sonucu, moleküllerin ve atomların daha yüksek enerji düzeylerine çıkmasıyla çözüldüğünü sanıyorlar. Su gibi moleküller bu biçimde uyarıldıklarında, belli dalgaboylarında ışınım yayarak fazla enerjilerinden kurtulurlar.

Araştırmacılar, baktıkları her yerde suya rastlamış olsalar da, buldukları

su, yıldızların ve gezegenlerin oluşumu konusundaki kuramların birçoğunu desteklemeye yetecek miktarda değil. SWAS'ın soğuk bulutlarda gözlemlediği suyun miktarı, tahmin edilenin yalnızca % 0,1 - 1'i kadar. Üstelik şimdiye kadar hiç moleküler oksijen de bulunamamış. Yıldızların bu bulutların çökmesiyle oluştuğu biliniyor; ancak, bulutlar çökmeye başladığında, kimyasal açıdan neler olduğu bilinmi-



yor. Su, az miktarda olduğu için, başka bir "soğutucunun" işbaşında olması gerekiyor. Şimdilerde araştırmacılar, düşük sıcaklıklarda bu işi karbonmonoksitin yaptığını düşünüyorlar. Sıcaklıklar 300 Kelvin'i geçtiğindeyse, görevi su buharının devraldığı sanılıyor. SWAS araştırmacıları, suyun tahmin ettikleri kadar bol olmayışını da, toz parçacıkları üzerinde, gerçekte sanılandan çok daha fazla donmuş su

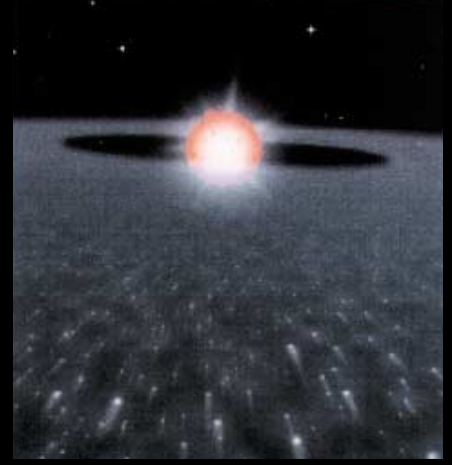
bulunabileceğiyle açıklıyorlar. Buzla kaplı toz parçacıkları kızılötesi ışınım yayıyor; ancak SWAS'ın aygıtları bu ışınımı ölçemiyor.

Oksijenin az bulunmasının nedeni açıklamaksa daha güç; çünkü, bu moleküllerin toz parçacıkları üzerinde donma olasılıkları yok gibi. Öte yandan, ISO'nun topladığı veriler, sanılandan çok daha fazla miktarda oksijenin moleküler değil, atom biçiminde olabileceğini gösteriyor; ancak ne yazık ki ISO'nun aygıtları da atom biçimli oksijeni belirleyemiyor.

Yine de, yaşamın en temel yapıtaşlarından olan suyun, uzayda yalıtılmış bir biçimde bulunmadığının anlaşılması sevindirici. Suyu hemen hemen her yerde rastlanması, bizim Güneş Sistemimize benzer sistemlerde de yaşamın ortaya çıkmasını destekleyecek miktarlarda bulunuyor olabileceği anlamına gelmiyor. Araştırmacılara göre, sorun, suyun gaz halindeki biçiminde ender olması.

Gelecekte, SWAS'la ve başka uzay araçlarıyla yapılacak deneyler, yeryüzündeki okyanusların nereden geldiği sorusunun yanıtını bulmada yardımcı olabilir. Dünya gibi gezegenler, yıldızların oluşum artıklarından yapılsa, okyanusların bir bölümü de buzla kaplı toz parçacıklarındaki suyun serbest kalmasıyla oluşmuş, daha sonra da bu parçacıklar bir araya gelerek kuyruklu yıldızları oluşturmuştur belki de.

Yeryüzündeki su, Dünya'yı oluşturan kayalara bağlanmış da olabilir; % 50'si su olan kuyruklu yıldızlar ve % 10'u su olan asteroidlerce taşınmış da olabilir. (Yeryüzünün oluşumunun ilk başlarında, kuyruklu yıldız ve asteroid çarpmalarının çok sık olduğu sanılıyor). ISO araştırmacıları, Dünya'nın



Hem Kızılötesi Uzay Gözlemevi (ISO), hem de Milimetrealtı Dalgaboyu Gök bilim Uydusu (SWAS), yıldızlar arasındaki bulutlarda ve yıldız oluşturan bölgelerde su aramak üzere tasarlanmış. SWAS'ın tek bir gözlemi, Corona Australis yansıma bulutsusunda önemli sayılabilecek miktarda su bulunduğunu ortaya koymuş (solda). Eagle bulutsusunu, ISO uzay aracıyla çekilmiş kızılötesi görüntüsünde, bulutsunun çevresindeki soğuk toz kozası (mavi) görülüyor. Bunun gibi tozlu bölgelerde SWAS, sanıldığından çok daha az bulmaya devam ediyor (ortada). Kırmızı dev yıldız CW Leonis'i çevreleyen su buharı bulutunun kaynağının, hep birlikte yavaşça buharlaşan bu yüz milyarlarca kuyruklu yıldız olduğu sanılıyor (sağda).

oluşumunun başında bir milyar yıl boyunca her bin yılda bir kuyruklu yıldız çarpmasının, tüm okyanusları ve gölleri doldurmaya yetecek kadar su sağlamış olabileceğini hesaplamışlar. Son yıllarda, asteroidlerin de Dünya'daki

suların oluşumunda sanıldandan daha önemli bir rol oynamış olabileceği düşünülüyor.

SWAS araştırmacıları, çalışmalarını, gökadamadaki birkaç yüz farklı bölgeye daha yayarak ölçümlerini güçlen-

dirmeyi; ve farklı sıcaklık ve yoğunluk koşullarındaki bölgeleri de inceleyerek toz taneciklerinde donmuş su bulunup bulunmadığını sınımayı planlıyorlar.

Bunların yanı sıra, "karbon yıldızlar" gibi, hiç su bulunmadığı düşünülen bölgeler de araştırmacıların listesinde yer alıyor. Örneğin, Dünya'dan 500 ışık yılı uzaklıktaki IRC+10216 karbon yıldızını incelediklerinde, burada tahmin ettiklerinden 10.000 kat daha fazla su bulmuşlar. Bu suyun, yıldızın yörüngesinde dönen (Güneş'in Kuiper Kuşağı'na benzer bir biçimde) ve su buharı açığa çıkaran yüz milyarlarca buzlu gökcisminden kaynaklandığını düşünüyorlar. Böylece, ilk kez kuyruklu yıldızlarla ilişkisi olan bir başka yıldızın çevresinde suya rastlanmış oluyor. Araştırmacılar bunun, Güneş Sistemimizin yapısının benzersiz olmadığı anlamına gelebileceğini düşünüyorlar. Bu bulguları desteklemek için, başka karbon yıldızları da incelemek istiyorlar. Örneğin, ESA'nın 2007 yılında uzaya göndermeyi planladığı Herschel Space Observatory (Herschel Uzay Gözlemevi) - HSO, uzak kızılötesi ve milimetrealtı dalgaboylarını SWAS'ten daha sıkı ve verimli bir biçimde keşfedebilecek. HSO'nun aygıtları, hem suyun, hem de öteki elementlerin daha fazla sayıda tayf çizgisini ölçmek üzere tasarlanıyor.

NASA'nın Terrestrial Planet Finder (Dünyadışı Gezegen Bulucu) ve ESA'nın Darwin projeleri de bu alan-

## Lazerler İşbaşında

Son 40 yıldır lazerlerin gücü, her yıl iki katına çıkıyor. Bugün artık, Güneş'ten 5000 daha parlak kısa bir lazer atımı yaratmak olası. Bizden daha gelişmiş uygarlıklar, kendi güneşlerinden milyonlarca kat daha parlak lazer atımları üretebiliyor olabilirler.

1997 yılında, SETI'nin (Dünyadışı Akıllı Yaşam Araştırmaları), kaynaklarının bir bölümünü optik araştırma yöntemlerine yönlendirmesiyle, dünyadışı yaşam araştırmaları yeni bir döneme girmiş oldu. SETI, uzun yıllar boyunca yalnızca radyo dalgalarını ele aldı. Ancak, dünyadışı bir uygarlık, bizlere kendini belli etmek için radyo dalgaları yerine lazer ışınları da yolluyor olabilir. Radyo dalgaları atmosferden daha kolay geçebilirse de, lazerler bilgileri daha verimli bir biçimde taşır ve yıldızlararası ortamda daha az dağılır. Ayrıca, radyo gökbilimciler için gittikçe büyüyen bir sorun olan sinyallerin birbirine karışması, optik dalgaboylarında sorun oluşturmuyor. Araştırmacılar, optik tayfin herhangi bir bölümündeki parlak ışınmaları kolaylıkla arayabiliyorlar.

Işık dalgalarının da dünyadışı yaşam araştırmalarında kullanılabileceği düşüncesi, bundan 40 yıl kadar önce ortaya atılmış. Ancak, OSETI (optik SETI) olarak adlandırılan bu proje, 1990'lı yılların sonunda yaşama geçirilebilmiş. Bu iş için, 1997 yılında, sıradan ışığın, "bir kerede tek bir foton" modelinin tersine, hepsi aynı anda gelen ve tekrarlayan foton patlamaları gibi görünen, ve saniyenin milyarda biri (nanosaniye)

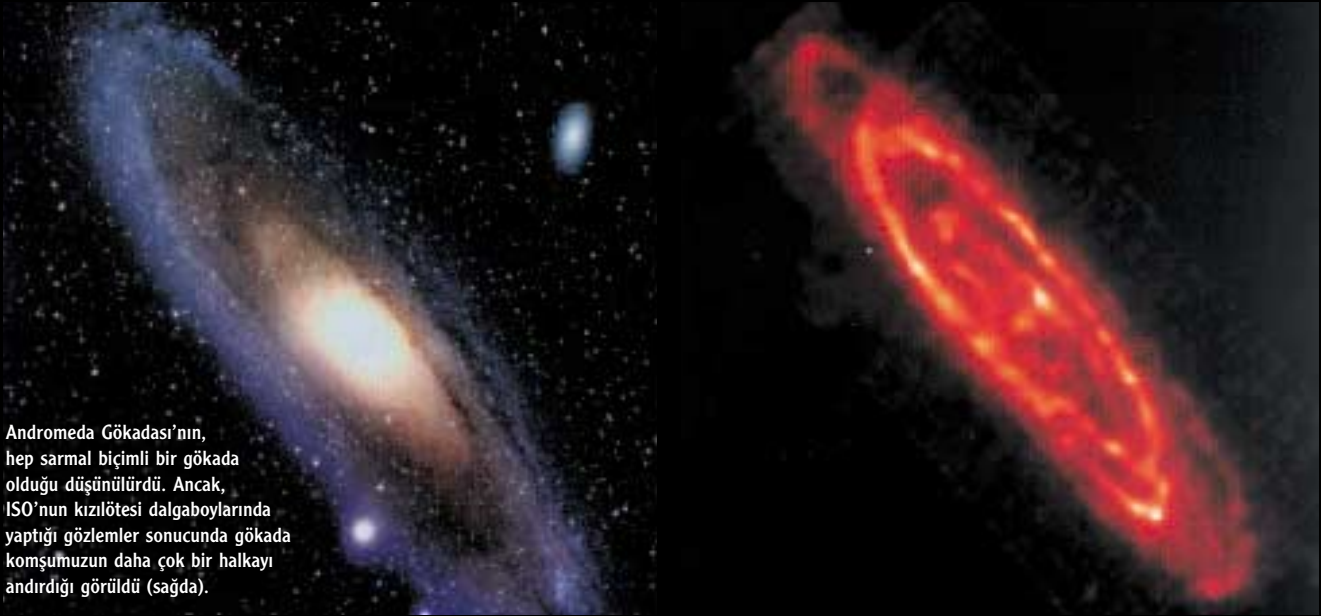
kadar süren lazer atımlarını (pulse) belirleyebilen bir aygıt kurulmuş. 1998 yılında, aygıt biraz daha geliştirilerek Harvard Üniversitesi'nde çalışmalar başlamış. 1999, 2001 ve 2002 yıllarında araştırmalara yeni gruplar katılmış.

Ancak, lazer atımlarıyla dünyadışı yaşam araştırmalarının bazı olumsuz yönleri de yok değil. Lazer ışınları araştırmalarında, yalnızca, başka bir uygarlığın istemli olarak bizim gezegen sistemimize gönderdiği atımları görebiliriz. Ancak, gökadalardan toz, lazer demetlerinin yoğunluğunu, geldikleri uzaklığa bağlı olarak azaltabilir. Bu da, OSETI'nin menziline, yaklaşık 1000 ışık yılı uzaklıkla sınırlı kalmasına neden olur. Bu yarıçap içindeyse, kabaca, bir milyon kadar yıldızın yer aldığı söylenebilir.

Peki, başka uygarlıklar için doğal sayılabilecek başka hangi iletişim yollarını gözardı ediyor olabiliriz? Araştırmacılar, uzak gezegenlerdeki akıllı canlıların, henüz araştırmaya yetecek düzeyde aygıtlara sahip olmadığımız, belli bir formda parçacıklar ya da x-ışınları lazerler de gönderiyor olabileceklerini düşünüyorlar. Ya da, kızılötesi lazer ışınlarıyla iletişimi de seçebilirler. Kızılötesi lazer ışınları, toz bulutlarından optik lazerlere göre daha kolay geçer ve yıldızların ışığından ayırdedilmeleri de daha kolay olur. Dahası, bugün, hem kızılötesi lazer ışınlarını uzaya gönderebilecek, hem de uzaydan gelenleri belirleyebilecek teknolojiye sahibiz. Bu nedenle, araştırmacılar, dünyadışı akıllı yaşam araştırmalarında bir sonraki adımın, uzayda kızılötesi lazer atımlarını aramak olacağını düşünüyorlar.

A S I Z Ü L Â L

Kaynak: Nadis, Steve. "Using lasers to detect E.T.". Astronomy, Eylül 2002.



Andromeda Gökadası'nın, hep sarmal biçimli bir gökada olduğu düşünülürdü. Ancak, ISO'nun kızılötesi dalgaboylarında yaptığı gözlemler sonucunda gökada komşumuzun daha çok bir halkayı andırdığı görüldü (sağda).

da çok büyük birer adım olacak. Bu iki uzay aracı, Dünya benzeri gezegenleri bulmak üzere tasarlanıyorlar: boy, sıcaklık ve yıldızlarına olan uzaklıkları bakımından Dünya'ya benzeyen gezegenleri bulmak ve bu gezegenle-

rin atmosferinde su buharı, oksijen ve karbondioksit gibi, yaşama dair ipuçları bulunup bulunmadığını araştırmak üzere tasarlanıyor. Ancak araştırmacılar, sürprizlere karşı da hazır olmaya çalışıyorlar; çünkü başka dünya-

larda yaşama evsahipliği yapacak başka kimyasal süreçler de ortaya çıkmış olabilir.

Nadis, Steve. "Searching for the molecules of life in space", Sky&Teleskope, Ocak 2002.

Çeviri: Aslı Zülâli

## Uzak Dünyalarda Yaşam İşaretleri

İlk güçlü vericilerin yapılmaya başlandığı 1930'lu yıllardan bu yana, radyo ve televizyon yayınlarımızın uzaya "sızdığı" biliniyor. Evimizden uzakta, başka bir gezegende de temel iletişim araçlarının kullanılıyor olabileceğinden hareketle, dünya dışı akıllı yaşam araştırmacıları, radyo teleskoplar aracılığıyla uzayda benzer sinyaller arıyorlar.

"Yaşamın" uzaya gönderebileceği başka işaretler de var elbette. Bugünlerde astrobiyologlar, yalnızca "akıllı" canlıların değil, herhangi bir canlının uzaya yayabileceği işaretlere dikkat çekiyorlar. Çünkü, örneğin yalnızca radyo dalgaları yaşam işareti olarak alınacak olursa, bu, radyo dalgaları yayacak biçimde gelişmemiş yaşam biçimlerini göz ardı etmek olur. Öte yandan, yeryüzünde yaşam günümüzden milyonlarca yıl önce ortaya çıkmıştı; oysa biz insanlar, bir yüzyıldan daha kısa bir süredir radyo dalgalarını kullanıyoruz.

1970'li yıllarda, İngiliz bilimadamı James Lovelock, yaşamın, yalnızca canlıların soluk alıp vermesiyle bile Dünya'nın atmosferinin bileşimini etkilediğine dikkat çekmişti. Lovelock, teleskoplarla yapılacak gözlemlerle, başka gezegenlerde benzer etkilerin araştırılmasını önermişti. Bir atmosferin bileşimini, gezegenin ışığını gökkuşağı renklerine ayırarak inceleyebilirsiniz. Bu tayfta, gezegenin atmosferindeki çeşitli kimyasal maddelerin neden ol-

duğu koyu renk çizgiler bulunur.

Dünya'ya benzer gezegenleri belirlemek zaten güç; peki araştırmacılar bunların hangilerinde yaşam olabileceğine nasıl karar verecekler? ESA'nın 2014 yılında uzaya gönderilmesi planlanan Darwin uzay aracı, uzak gezegenlerde oksijen arayacak. Çünkü oksijen, canlıların birçoğunun kullandığı, birçoğunun da atık olarak ürettiği bir element. Araştırmacılar, yaşam yoksa bir gezegenin atmosferindeki serbest oksijenin tümünün 4 milyon yılda yok olacağını düşünüyorlar; çünkü oksijen, öteki kimyasal maddelerle çok kolay tepkimeye giriyor. Darwin, doğrudan

oksijen bulmaya çalışmayacak, bunun yerine, oksijenin biçimlerinden biri olan ozonu "görecektir". Karbondioksit, su ve bazı durumlarda metanı da inceleyecek. Araştırmacılara göre, ozon, sıvı su ve karbondioksit aynı anda bulunursa, bu, o gezegende yaşamın varlığına dair çok güçlü bir kanıt olacak.

Yeryüzünde yaşam, su buharı, oksijen ve karbondioksite bağlı. Bu nedenle, uzayda yaşam arayan araştırmacıların bazıları da bu moleküllerin peşine düşüyorlar; ancak, sürprizlere de hazırlıklı olmaları gerektiğini biliyorlar. Darwin en yakınımda bulunan ve sayıları binlerce olan gezegen-yıldız sistemlerini inceledikten sonra da araştırmalar sürecektir. Üzerinde yaşam bulunan bir gezegen bulunursa, bu kez de o gezegendeki canlıları tanımaya çalışma yarışı başlayacak. Bu, daha özel biyoişaretçilerin aranacağı anlamına geliyor. Gelecekteki uzay projelerinde araştırmacılar, sözcüğü, (bitkilerin ve bazı bakterilerin ışığı enerji kaynağı olarak kullanmalarını sağlayan) klorofil gibi başka işaretçilerin peşine düşecekler. Bu nedenle, yeni kuşak biyoişaretçilerin belirlenmesi de bu çalışmaların araştırmacılar açısından en ilgi çekici yönlerinden birini oluşturuyor.

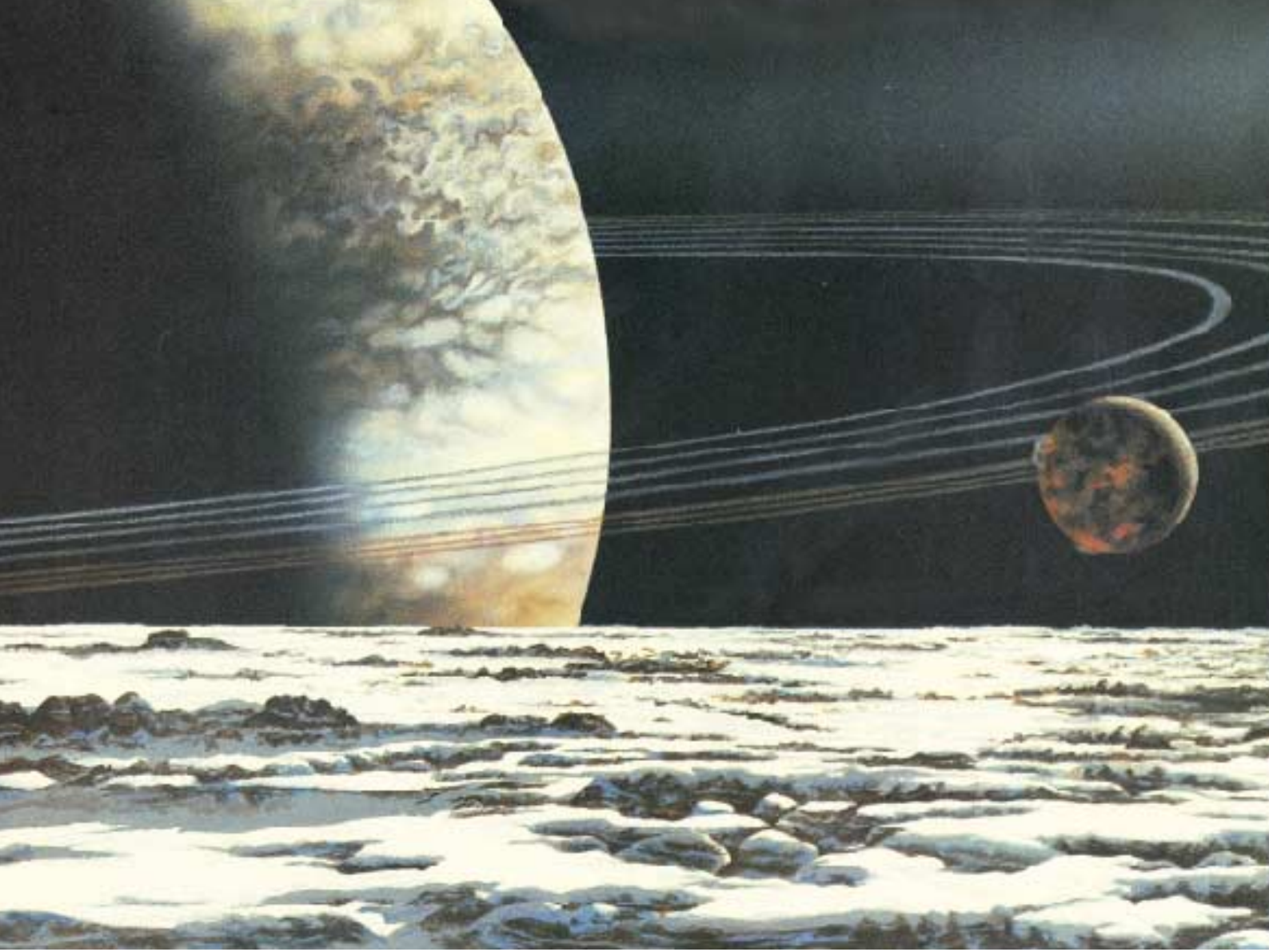
Aslı Zülâli

Kaynak  
"Vital signs of life on distant worlds" ESA Basın Bülteni, 16 Ocak 2003



2014 yılında uzaya gönderilmesi planlanan Darwin uzay aracı.

# EPSILON ERİ



Bir zamanlar, gökbilimciler Güneş Sistemi dışında bir gezegen bulmanın, uzaylıları bulmaktan daha zor olduğunu düşünüyorlardı. Ancak, 1990'lı yıllardan başlayarak, Güneş dışı gezegenlerin keşfedilmesi, beklenenden çok daha çabuk gerçekleşti. Şimdiyse, Epsilon Eridani yıldızının yörüngesinde bir gezegen olduğuna dair kanıtlar birbiri peşi sıra ortaya çıkıyor. Epsilon Eridani, yalnızca 10.5 ışık yılı uzaklıkta olduğu için, bu gezegenin Güneş Sistemi dışında saptanan en yakın gezegen olabileceği düşünülüyor.

16. yy'da İtalyan keşifçi ve filozof Giordano Bruno "dünyaların çokluğu" düşüncesini ileri sürene kadar, gökbilimciler bunun düşünüyü kurmuş olsa da, kimse başka bir yıldızın gezegenini görmedi. Bir gezegeni bulmanın güçlüğü, yörüngesinde döndüğü yıldızından yüzlerce milyon kez daha sönük olmasından kaynaklanıyor. Varolan hiçbir teleskop, birbirinden yalnızca bir açısıniyesi uzaklıktaki iki cisim arasında bu denli parlaklık zıtlığıyla baş edemez. Gökbilimciler, bunun yerine, başka dünyaları belirlemek için "dolaylı" yöntemlere bel

bağlıyorlar. Yörüngedeki bir gezegenin kütleçekimi, çevresinde dolandığı yıldızın dönüşünü etkiler. Bu, yıldızın görüşümüz doğrultusundaki hızında küçük farklara yol açar. Doppler etkisi nedeniyle bu farklılıklar, yıldızın tayfsal çizgilerinin dalgalı boylarını yavaşça değiştirir. Dalgalı boylarındaki değişimler, yüz milyonda birlik küçük ölçeklerde olur. Fakat, şu anda bu küçük değişimler, özel olarak tasarlanmış hassas spektroskoplarla belirlenebiliyor.

1995 yılında, İsviçreli gökbilimciler Michel Mayor ve Didier Queloz'un

# DANI YARIŞI

açıklamalarından bu yana Güneş benzeri bir yıldızın (51 Pegasi) etrafındaki Güneş dışı ilk gezegenin keşfini ilan ettiklerinden beri, pek çoğu radyal hız değişimleri yöntemiyle olmak üzere, 100'den fazla gezegen ortaya çıkarıldı. Bunların yarısından çoğu, Amerikalı gökbilimciler Geoffrey Marcy ve R. Paul Butler yönetimindeki ekip tarafından keşfedildi. Bunların büyük bir kısmı, "sıcak Jüpiterler" olarak bilinen, yıldızlarına çok yakın mesafede dolanan gaz dev gezegenler. Keşfedilen onca gezegenin bu tanıma uymasının nedeni, seçilme etkisi (selection effect): Sıcak Jüpiterler, büyük radyal hız farklılıkları üretirler ve yörüngedeki dönüşlerini, yıllar ve on yıllar yerine günler ve aylar içinde tamamlarlar. Güneş benzeri yıldızların pek az kısmı bu özelliğe gezegenlere sahip görünüyorlar.

Güneş dışı gezegenleri keşfetmekte kullanılan başka bir yöntem de, gökyüzü düzlemindeki yıldızların görüş çizgimizdeki değil, gerçek (yanal) hareketlerini ölçmek. Ne yazık ki, yıldızından uzakta yörüngede dolanan büyük bir gezegen için bu hareket büyük mesafeler anlamında gelir. Bu nedenle, gezegenin, yörüngedeki dönüşünü etkilerinin belirledebileceği yeterli sayıda yapması ve bunun için de yıldızın uzun yıllar izlenmesi gerekir. Dahası, yıldız bizden ne kadar uzaktaysa, gezegenin yıldızın hareketinde yolaçtığı yalpanın anlaşılması da o kadar zorlaşır. Güneş dışı hiçbir gezegen şimdiye kadar bu yöntemle bulunamadı. Ama, gelecekteki uzay projeleri, aralarında Dünya benzeri küçüklerde olmak üzere binlerce gezegen bulmayı hedefliyor. 2004 ve 2006'da NASA, FAME (Tüm gök Astrometrik Haritalama Uydusu) ve SIM (Uzay Girişim Uydusu)'i fırlatacak. Yakın bir zamanda da, Avrupa Uzay Ajansı 2009'da fırlatılmak üzere, GAIA'yı (Küresel

Astrometrik Girişimölçer) önemli bir görevle seçti.

## Epsilon Eridani

Kış takımyıldızı Eridanus (Irmak)'ta 3.7 kadir parlaklıktaki Epsilon Eridani, çıplak gözle görülebilen üçüncü en yakın yıldız. Güneş'in çapının %70'i, 5,200 Kelvin yüzey sıcaklığı (Güneş'in yüzey sıcaklığı 5.800 Kelvin) ve Güneş'in parlaklığının %30'uyla, bizim yıldızımızdan daha küçük, soğuk ve donuk. Epsilon Eridani, bir milyar yıldan daha az olan yaşıyla da, Güneş'ten çok daha genç. Göreceli gençliğini, Güneş'in kendi çevresinde 27 günlük dönüş hızına kıyasla, 11 günlük dönme süresiyle de gösteriyor. Bu hızlı dönüş, Epsilon Eridani'ye güçlü bir manyetik alan; dolayısıyla da daha büyük "yıldız lekeleri" ve değişken bir tayf sağlıyor.

Gökbilimciler, çok uzun yıllar, bu yıldızın gezegenleri olup olmadığını merak ettiler. 1974 yılında, Peter van de Kamp, gökyüzünde yıldızın konumunda 25 yıllık bir salınım bulunduğunu

ileri sürdü ve daha sonra doğru olduğunu ortaya çıkan altı Jüpiter kütleli bir gezegeni belirlediğini açıkladı. Kanadalı gökbilimciler Bruce Campbell ve Gordon Walker'ın 1980'lerde yaptığı (radyal) hız gözlemleri de bu olasılığa işaret etti. Ancak, kullandıkları spektroskop yeterince hassas ve elde ettikleri veriler tümüyle güvenilir değildi. Daha güçlü bir delil, hiç beklenmedik şekilde geldi. IRAS (Kızılötesi Gökbilim Uydusu), 1983 yılında, beklenenden daha fazla kızılötesi ışın yayan birkaç yakın yıldız keşfetti. Bunlar, yıldız ışığıyla ısınmış, daha uzun kızılötesi dalgaboylarında ışınım yapan tozla çevriliydiler. Yıldızların kendileri toz emilimi işareti vermediklerinden, gökbilimciler tozun yıldız çevreleyen küresel bir kabuk değil, düz bir disk biçiminde olması gerektiğine karar verdiler. Bu fazla kızılötesi ışınımına sahip olan yıldızlardan biri de Epsilon Eridani'ydi.

Görece genç olan bir yıldızın çevresindeki toz diski, gezegenler sisteminin bir kalıntısı olabilir mi? Bazı kuramcılara göre, gaz ve toz diskinden yola çıktığı zaman gezegen oluşumundan kaçınmak neredeyse imkansız. Beta Pictoris'in tayfında Kuyruklu yıldızların işareti görülür. Belki de, Epsilon Eridani'nin gezegen sistemi çoktan gelişimini tamamladı. Toz diski, Neptün'ün yörüngesinin ötesindeki Kuiper Kuşağı'na benzer şekilde, yıldız oluşum artıklarını gösteriyor olabilir. Bu senaryonun doğrulanması, 1998'in başlarında, Epsilon Eridani'nin milimetreden küçük dalgaboylarıyla gözlemlenmesiyle geldi. Epsilon Eridani'nin toz diski doğrudan görüntülendi. Disk, en az bizim Güneş Sistemimiz kadar büyük bir merkezi boşlukla, bir çöreği andırıyor. Belki de diskin içi, toz zerreciklerinin birleşmesiyle oluşan gezegenler tarafından temizlenmiştir.



1995 yılında, İsveçli astronomlar Michel Mayor ve Didier Queloz Güneş benzeri bir yıldızın (51 Pegasi) etrafındaki güneş sistemi dışı ilk gezegeni ilan ettiler. Ekip, bu kütleli bulmak için ışınal hız yöntemini kullandı.



850-mikron'luk görüntüde Epsilon Eridani etrafındaki toz diski görülüyor. Bu görüntü, Hawaii'de Mauna Kea'nın tepesindeki James Clerk Maxwell Submillimeter Telescope'un üzerindeki SCUBA aracıyla çekildi (solda). Bu disk, Kuiper Belt'e çok benziyor. Öyleyse, Epsilon Eridani'nin gezegen sistemi bizim güneş sistemimize benzer olabilir.

Daha heyecan vericisi, çemberdeki parlak damla; Vega, Formalhaut ve Beta Pictoris'in toz disklerinin milimetreden küçük görüntülerinde de belirlenen asimetrik özellik. Bu damlalar, daha büyük bir kütle etrafında yakalanan toz derişimi olabilir; ya da daha büyük bir olasılıkla, çember içinde 30 astronomik birim (1AB=150 milyon km) uzaklıktaki bir yörüngede dönen büyük bir gezegenin neden olduğu kütleçekimsel etkilerden de kaynaklanıyor olabilir. Kuramcı Jack Lissauer'e göre, Epsilon Eridani'nin toz çemberindeki damla, iyi bir kanıt ancak, yeterli değil.

## Yeni Bir Dünya

30 Astronomi Birimlik, yani aşağı yukarı Neptün'le Güneş arasındaki uzaklık kadar yörünge çapına sahip bir gezegenin, şu anki yöntemlerle bulunması oldukça uzak bir ihtimal. Yıldızın hem radyal hızının değişimi, hem de gökyüzünde aldığı yol çok küçük ve yavaş olabilir. Fakat, Epsilon'a yakın dünyalar tespit edilebilir. Aslında yıldız 13 yıl süreyle Gözleyen Marcy ve Butler, 1999 yılında yıldızın Doppler ölçümlerinde 6.9 yıllık bir periyodik değişimin varlığını açıkladılar. Ancak, yıldızın manyetik değişkenliği nedeniyle, veriler yeterince güvenilir bulunmadı.

Ancak, ertesi yıl William Cochran ve Artie Hatzes, dayanamayıp, yıldız çevresinde 6.9 yıl yörünge periyotlu, Jüpiter kütleli bir gezegenin duyurusunu yaptılar. Yine de, pek çok gökbilimci, yapıldığı varsayılan bu keşfin güvenilirliği hakkında şüphe içinde kalmayı sürdürdü.

Epsilon Eridani'den 500 milyon kilometre uzaklıktaki yörüngede dönen bu gezegen, şimdiye kadar bulunan keşifler arasında Jüpiter'e en çok benzetelebilir olanı. Ancak, yörüngesi hayli eliptik. Eğer Güneş etrafında dönüyor olsaydı, Mars'ın yörüngesinin içinden Jüpiter'in yörüngesinin dışına hareket ediyor olurdu.

Yıldızın bilinen kütlesiyle birlikte radyal hız değişiminin genişliği, gezegenin kütlesinin alt limitini verir: 0.8 Jüpiter. Gerçek kütle, yörünge düzleminin bizim görüş çizgimize olan eğimine bağlı olarak, daha fazla çıkabilir, ama farkın çok büyük olması beklenemez. Gökbilimcilerin, radyal hız yöntemiyle ölçtükleriye, gezegenin kütlesi değil, kütle X yörünge eğiminin sinüsü; yani "m sin i". Bu, gezegenin kütlesinin genellikle %15 daha düşük tahmin edilmesine yol açar.



3.7 kadir parlaklıktaki Epsilon Eridani, çıplak gözle görülebilen üçüncü en yakın yıldız.

## Doğrulama

Belki de, 100 trilyon kilometrelik bir uzaklıkta, Epsilon Eridani'nin yörüngesinde dev bir gezegen dönüyor. Peki ama, tahminlerin ötesine geçip, bu gezegenin gerçekten var olup olmadığını nasıl bulacağız?

Gezegenin yörüngesi ne kadar büyükse, geçişlerini görme olasılığı da o kadar küçüktür. Bu nedenle, bu yöntemle bulunması neredeyse imkansız. İkinci olası doğrulama yöntemi Epsilon Eridani'nin tayfı içinde, yıldız ışığının bir yansımalarını belirlemek. Yansıtılan ışığın izi, gezegenin yörünge hareketi nedeniyle önemli miktarda Doppler kayması gösterebilir. Bu yöntemin öncüsü, Andrew Collier Cameron. Ne yazık ki, bu yöntem de yıldızından uzak bir gezegen için çalışmaz. Gezegen yeterince aydınlatılmamış ve yörünge hızı farkedilebilir bir Doppler değişimi yaratmak için fazlaca küçük olabilir.

Gezegenlerin varlığını doğrulamak için kullanılan en umut verici yöntem astronometri. Cochran'a göre, yörüngede dönen gezegenden kaynaklı olarak yıldızın gökyüzündeki yer değişimi, 2 miliarksaniye olmalı. Bu, olasılıkla Hubble Uzay Teleskopu gibi uzaya yerleştirilmiş araçlarla elde edilebilir. Hatta, ayarlanabilir optiklerin kullanımıyla, yerdeki astrometrik araçlarla bile elde edilebilir. Elbette, gezegenin yörüngede dolanma süresinin 6.9 yıl olduğu öne sürüldüğü için, biraz sabır gerekli. Üstelik, Epsilon Eridani kesin ölçümlerin yapılmasını zorlaştıracak kadar parlak. Yine de, ilk doğrulamanın bu yöntemle geleceği düşünülüyor.

## Yıldız Yok Etmek

Her şeye karşın, çok büyük bir gaz devi olan bu gezegeni görmek mümkün mü? Epsilon Eridani'den 3,3 Astronomik Birimlik uzaklığı, Dünya'dan görüldüğü şekliyle tam bir arksaniye'ye eşdeğer. Eğer yıldız bu kadar parlak, gezegen de bu kadar donuk olmasaydı, karar vermek oldukça kolay olurdu. Ancak, şu anda kullanılan ayarlanabilir optik sistemler bile, bununla başa çıkamaz gibi görünüyor. Nedeni, Jüpiter kütleli bir gezegenin, 10,5 ışık yılı uzaklıktan Jüpiter'den 27,5 milyar kez daha soğuk görüneceği!..



## Yokedici Girişim



Ama, durum bu kadar da umutsuz olmayabilir. Yerden yapılan ayarlanabilir optik gözlemleri, optik değil, kızılötesi dalgaboylarında, yani gezegenlerin daha parlak ve yıldızların daha donuk olduğu dalgaboylarında yapılacaktır. Böylece, kontrast sorunu ortadan kalkacaktır. Dahası, tayfın kızılötesi kısmı, atmosferik gazların tayfsal izlerini incelemek içinde umut verici kısım.

Epsilon gezegeninin görüntüsünü elde etmek için ilk girişim yapıldı bile. Bruce Machintosh liderliğindeki bir ekip, Keck Gözlemevi'nin ayarlanabilir optik sistemiyle yıldızın görüntülerini aldı. Veriler halen inceleniyor, ama gözlem Ağustos ayında yapıldığı için, gezegen yıldızın en yakın yörüngesel noktasında görüntülendi. Bu durum, gezegenin görülmesini zorlaştıracak olsa da, Machintosh, bu yöntemden oldukça umutlu. Genç bir gezegen sıcaklığını koruyacağından, araştırmacı, ayarlanabilir optik yöntemiyle 150 ışık yılı uzaklıktaki bir yıldızdan 50 Astronomik Birim mesafede bir gezegenin gözlemlenebileceği iddiasında.

Diğerleri, ilk doğrudan tespitin interferometri'den geleceğini düşünüyorlar; yani iki teleskoptan gelen ışığın tutarlı birleşiminden. Bu birleşim, etkili ve daha büyük bir teleskop etkisi yaratıyor. Görsel ya da kızılötesi interferometre'de iki ya da daha fazla teleskoptan dalgalanan ışık, bir fazda birleşiyor; yani bireysel dalga tepeleri ve çukurları eşleşiyor. Uzun yıllardır radyo gökbilimcilerce kullanılan bu yöntem, çözünürlüğü artırabilecek. Daha önemlisi bu yöntem, merkezdeki yıldızın çevresini görüntüde tutarken, yıldızın ışığını silebilecek; yani gezegeni, yıldız ışığının etkisinden kurtarabilecek.

Bunun yanında, öteki gökbilimciler seçimlerini, daha basit bir yöntem olan koronografi'den yana kullanıyorlar.

Bu yöntemde, yıldızın ışığı bir maskeyle fiziksel olarak kesiliyor. Merkezdeki yıldızın ışığını kesmek için koronograf ile işbirliği yapan yörüngedeki yüksek çözünürlüklü görüntüleme teleskopunun en iyi yol olduğunu savunuyorlar. Üstelik, üç büyük teknolojik gelişmenin son zamanlarda koronografi'nin başarı şansını desteklediği düşünülüyor: Eğrilikleri duyarlı biçimde değiştirebilen aynalar, uzaya yerleştirilebilecek ucuz hafif aynalar, dalga cephesi kontrol yöntemleri. Bu görevi yerine getirmesi beklenen Eclipse adlı uzay aracının projesi NASA'ya sunuldu bile. Bu araçta, 1,8 m'lik bir teleskop ve dağınık ve kırılan ışığı en aza indirecek şekilde tasarlanmış bir koronografik kamera bulunacaktır.

Çoğu gökbilimci, ilk doğrudan görüntülenen gezegenin Epsilon Eridani'nin gezegeni olacağı konusundaki şüphelerini koruyor. Paralarını Tau Bootis'in Jüpiter kütleindeki gezegenine yatanlar daha çok. Bu arada, daha gelişkin yeni araçlar da ortaya çıkarılmak üzere takvimdeki yerlerini almış durumda. Kuzey Şili'deki, dev Atacama Milimetrik Teleskop Dizgesi, 2006 yılında gözlemlerine başlayacak; bu gözlem aracının onlarca ışık yılı uzaktaki genç ve sıcak Güneş dışı gezegenleri belirlemesi bekleniyor. Gelecek projelerden biri de, Yeni Nesil Uzay Teleskopu (Next Generation Space Telescope). 2009 yılında fırlatılmak üzere hazırlanan bu teleskopun, 30 ışık yılı uzaklığa kadarki büyük Güneş dışı gezegenlerden gelen kızılötesi ışımaları belirlemesi ve görüntülemesi bekleniyor. NASA'nın sunduğu, Karasal Gezegen Kâşifi (Terrestrial Planet Finder) de, 2012 yılında fırlatılmak üzere hazırlanıyor. Planlanana göre bu araç, yıldızın ışık etkisini ortadan kaldırabilen interferometri yöntemini kullanarak Dünya

büyükliğindeki gezegenleri de görüntüleyebilecek.

Gökbilimciler, o zamana kadar binlercesi olmasa da yüzlerce yabancı dünyayı dolaylı yollarla belirlemeyi hedefliyorlar. Zaman ilerledikçe, daha uzun periyotlu gezegenleri de belirleyebilmelerine izin verecek kadar uzun zamanlı radyal hız araştırmaları yapılmış olacak. Yerdeki büyük teleskoplar, spektroskopik yöntemlerle sıcak Jüpiterleri yıldızlarından ayırarak; hatta gökbilimcilerin, bu gezegenlerin atmosferlerini "koklamalarına" olanak tanıyacak. Kepler'le geçişlerin belirlenmesi olağanlaşırken, FAME, SIM ve GAIA gibi uydular, pek çok gezegenin kütleçekim izini belirleyecek.

Önümüzdeki on yıl, tıpkı Giordano Bruno'nun düşlediği gibi, gökbilimcilere adeta ne yapacaklarını bilemeyecekleri "dünyalar" zenginliği yaşatacak. Gezegen sistemlerinin bazıları şaşırtıcı ve karmaşık olurken, bazıları da belki bizim Güneş Sistemimizi andıracak. Belki bunların bir kısmı yaşama elverişli dairesel yörüngelerde Dünya benzeri gezegenleri barındırıyorlardır. Hatta belki de, Epsilon Eridani'nin yörüngesinde Dünya'nın "ikiz kardeşi" dolanıyordur.

Bu "ikiz kardeş"de zeki uzaylıların ya da fotosentez yapan bitkilerin yaşayıp yaşamadığı da kafalarda yanıt bekleyen başka bir soru. Şimdiye kadar, bu konuda yapılan çalışmalardan başarılı bir sonuç elde edilemedi. Yine de, gökbilimciler bu konuda iyimserler. Henüz, Güneş dışı gezegenlerle yaklaşmamız yeni başlıyor. Belki de, Dünya benzeri bir gezegenin ilk işaretleri, orada yaşayanların radyo yayınlarıyla elde edilecek!..

Schilling, G., The Race to Epsilon Eridani, Sky & Telescope, June 2001

Çeviri: Banu Binbaşaran Tüysüzöğlü

# AVA KATIL@TRAN

CCD kameralarına ve mütevazı bütünlarda teleskoplara dayalı yeni gözlem programı, gökbilimcileri güneşdışı (extrasolar) gezegenleri araştırmak için bir araya getiriyor.

Başka bir yıldızın yörüngesinde dolanan ilk gezegenin keşfedildiği 1991'den bu yana 100'den fazla güneşdışı gezegen bulundu. Büyüyen bu yabancı güneş sistemleri portresi, gökbilimciler arasında büyük heyecan yarattı.

Bu sistemleri keşfetme işi, araştırmacıları Güneş dışı gezegenlerin zayıf ışıklarını algılayabilecek duyarlı ölçümler için yeterli gereken büyük teleskoplarla çalışmaya yöneltti. Şimdi gelişkin CCD kameraları da, gökbilimcilerin aday yıldızları izlemelerine, eğer şanslılarsa yeni gezegenler keşfetmelerine yardım ediyor.

Güneşdışı gezen avına katılmak isteyen gözlemciler için hazırlanan "Rüya Takımı" paketinde, teleskop, CCD, dizüstü bilgisayar ve yazılım programı bulunuyor. Paketin fiyatı 7500 dolar.

## Transitsearch.org İşbirliği

Bu başarılı gözlemlerin artması, deneyimli amatör gökbilimcilerin Güneş dışı gezegen sistemlerinin geçişini keşfedip keşfedemeyecekleri sorunu aklara getiriyor.

www.transitsearch.org'un kurulmasının nedeni, bu sorunun yanıtının evet olduğuna inanılması. The Transitsearch'ün stratejisi, olası bir geçiş sırasında gezegene yıldızların eşzamanlı ölçümlerini yapabilecek dünya çapında bir teleskoplar ağı kurmak. Eğer birçok bağımsız gözlemci, önceden tahmin edilen zamanlarda yıldızda bir kararına ya da parlamayı eşzamanlı olarak ölçerse, yıldızın geçiş yapan bir gezegene sahip olduğunun kanıtı güçlenir. Doğrulamaysa, bir sonraki öngörülen geçiş izler.

Gökbilimciler Doppler yöntemini kullanarak yeni bir sıcak Jüpiter keşfettilerinde, haberler birçok profesyonel gözlemine iletilir. Buralarda tahmin edilen tutulma pencereleri boyunca bir geçişin olup olmadığını saptamak için fotometrik ölçümler yapılır. Ancak, 1 haftadan uzun periyotlu, eliptik yörüngeli bir dev keşfedildiğinde, geçiş saptayabilecek bir sistematik izleme programı şimdilik yok.

Amatörlerle işbirliği programı başladığında profesyoneller HD 209458b'nin başarılı gözlemlerinin yapılabilmesi için gerekenleri belirlediler. Bu işlem, geçiş avına katılmak isteyen gözlemcileri

bekleyen güçlüklerin ortaya çıkarılmasına yardımcı oldu. İşbirliğinin yöneticileri, yeni katılımcılara gözlemlere başlamadan önce HD 209458 ya da tutulum zamanları bilinen ikili yıldız sistemleri üzerinde denemelerini öğütüyorlar.

### Gözlemcilerin Donanımı

Özellikle yaygın, ulaşılabilen parçaları kullanılan bir gözlem sistemi seçilmiş. Bu paketin fiyatı yaklaşık 7500 dolar. Pakette teleskop, CCD kamera, yazılım programları, bir dizüstü bilgisayar ve birçok başka parça bulunuyor. Bu malzemelerin bir kısmına zaten sahip olan katılımcılarsa, eksikliklerini tamamlama yolunu seçebilirler.

"Transitsearch.org Observatory", standart üç ayak (tripod) ve Meade LX 200 20-cm f/10 teleskop içeriyor. Bu Santa Barbara Instruments Group ST7E 765x510 pixel CCD kamera ile donatılmış teleskopla CCD arasına, 36-24 açdakikası görüş alanı veren bir odak azaltıcı yerleştiriliyor. Ayrıca, geniş bantlı bir renk filtresi kullanması öneriliyor. The Sky ve CCDSoft yazılımıyla çalışan sıradan bir dizüstü bilgisayar teleskopun konumunu idare ediyor, kamera denetimini yapıyor ve görüntü depolamayı sağlıyor. Ancak, donanımdaki bu özel seçim tek seçeneğe değil elbette; herhangi bir uygun donanım da işe yarar sonuçlar verebilir. Eğer gözlemciler hevesli ve sabırlıysalar geçiş avına katılabilirler.

### Nasıl Çalışıyor?

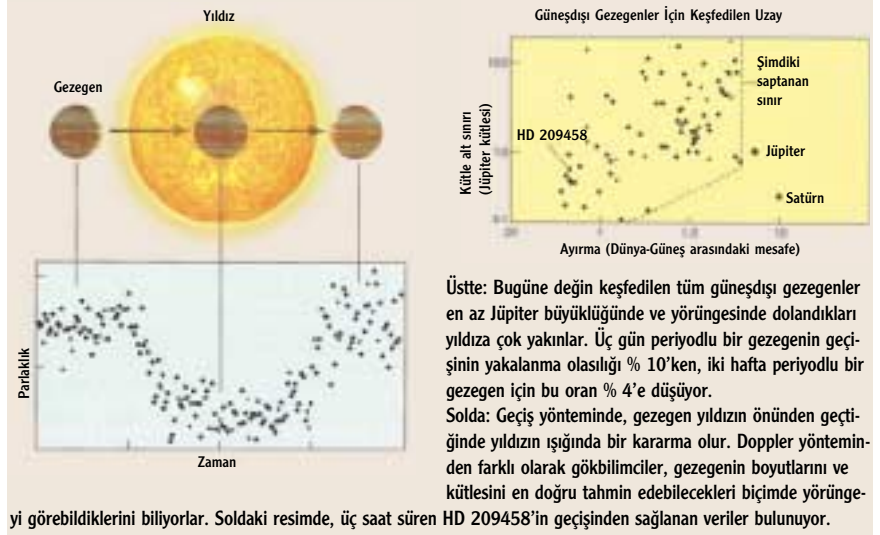
Bütün gece gözlemlerinin amacı, geçiş sırasında hedef yıldızın parlaklığında görece değişimleri, CCD'nin görüş alanındaki diğer yıldızlarla karşılaştırarak ölçmek. Yukarıda sözü geçen teleskopta görüş alanı, neredeyse dolunay genişliğinde. Bir gözlemci, iki ya da daha fazla yıldızın parlaklığını, aynı CCD görüntülerinde eşzamanlı ölçerek, bulutlara bağlı olarak atmosferdeki şeffaflık ya da CCD'nin verdiği yanıtlardan kaynaklanan farklılıkları düzeltebilir. Çok sayıda yıldız karşılaştırılarak, atmosferik kararına (yıldızın ufka yaklaştıkça soluklaşması) ya da renge bağlı kararına (kırmızı yıldızların, atmosferik kararmadan mavi yıldızlara göre daha az etkilenmesi) nedeniyle ortaya çıkan yanılsamalar azaltılıyor. Bu teknik, gözlemcilere bir gece boyunca yıldızların yüksekliğinin belirgin bir şekilde değişmesine karşın, hedef yıldız ve karşılaştırılan yıldızın parlaklık farkını izleme olanağı veriyor.

Dolunay genişliğindeki görüş alanı genellikle, karşılaştırma yıldızı olarak kullanılacak parlaklıkta en az bir yıldız içerir. Gözlemci, aday geçiş yıldızını ve karşılaştırma yıldızını görüş alanının merkezine alıyor. Sonra bir rehber yıldız CCD'nin otorehberindeki konumuna oturtuluyor, sıraya konuluyor ve bilgisayar CCD'ye hızlı bir dizi görüntü çekme komutu veriyor. Çok sayıda görüntü, ortalama bir değer saptanmasına ve böylece olası sistematik hataların önlenmesine olanak veriyor. Ancak, tek bir fotoğraf bile bilgisayar diskinde 1 megabyte yer iş-

# SITSEARCH.ORG

## Güneş Dışı Gezegen Çeşitleri

Yeni keşfedilen dünyaların listesi uzadıkça, gökbilimciler gezegenleri dört ana sınıfa ayırıyorlar. Bunlar arasında belki de en dikkat çeken kategoride “sıcak Jüpiterler” adı verilenler bulunuyor. 1995’te, Güneş benzeri bir yıldız çevresindeki ilk gezegen keşfedildi. Sıcak Jüpiterler, üç günden bir haftaya kadar olan çok kısa yörünge periyotlarıyla diğerlerinden ayrılıyorlar. Tipik bir sıcak Jüpiter’in yıldız çevresindeki yörüngesi, kabaca Dünya’nın Güneş’e olan uzaklığının 1/20’si kadar. Sonuç olarak, bunlar kor halindeki kömür kadar (yaklaşık 1200°C) sıcak. Küçük yörüngeleri, uzun mevsimlere yol açıp gezegenlerin bir yarıkürelerinin, yörüngesinde dolandıkları yıldızla sürkli yüz yüze kalmasına neden olur. Bu zaman dönemleri ya da mevsimler, aynı zamanda yörüngelerin neredeyse kusursuz daireler şeklinde olmasına yol açar. Bu gezegenler, tıpkı Jüpiter’inkine benzer kütle-



yi görebildiklerini biliyorlar. Soldaki resimde, üç saat süren HD 209458’in geçişinden sağlanan veriler bulunuyor.

lere sahip. Bölgemizdeki Güneş benzeri yıldızların yaklaşık %1’inin yörüngesinde, bir sıcak Jüpiter dolanıyor olabilir.

İkinci ve en çok üyeye sahip kategori, eliptik yörüngelerde dolanan devler den oluşuyor. Bu sınıfın 90 üyesi, oldukça ağır gezegenler. Periyodu 10 günden 1000 güne değişen yörüngeleriyle genellikle eliptik. Güneş benzeri yıldızların

Üstte: Bugüne değin keşfedilen tüm güneşdışı gezegenler en az Jüpiter büyüklüğünde ve yörüngesinde dolandıkları yıldız çok yakınlarda. Üç gün periyodlu bir gezegenin geçişinin yakalanma olasılığı % 10’ken, iki hafta periyodlu bir gezegen için bu oran % 4’e düşüyor.

Solda: Geçiş yönteminde, gezegen yıldızın önünden geçtiğinde yıldız ışığında bir kararma olur. Doppler yönteminde farklı olarak gökbilimciler, gezegenin boyutlarını ve kütlelerini en doğru tahmin edebilecekleri biçimde yörüngeyi

yaklaşık %7’sinin çevresinde eliptik yörüngeli devler dolanıyor gibi. Bu da, yalnızca Samanyolu’nda bu gezegenlerin milyarlarcasının olması gerektiğini gösteriyor. Bu devlerin uzun yörüngeleri, geçmişlerinde bir felaket yaşadıklarının ipuçlarını da veriyorlar. Birçoğu büyük olasılıkla, kararlı yörüngelerin yerlerini gezegen çarpışmalarına ya da sistemden

gal ettiğinden, bir gözlem gecesinde alınacak yüzlerce görüntü, geniş bir disk hacmi gerektiriyor. Bu sayede yer yer bulutlu sıradan bir gecede, parlaklıktaki % 0,3 kadar küçük değişiklikler bile saptanabiliyor.

### Sonuçlardan Ne Haber?

Transitsearch.org, geçiş yapan, özellikle yörüngesinin boyutları Merkür’ün hemen hemen yarısı olan, birkaç haftalık periyotlu devleri bulmaya özellikle elverişli.

Amatör gökbilimciler bir geçiş saptadıkları anda, profesyoneller Hubble Uzay Teleskopu’nu kullanarak bu bilgiyi doğruluyor ve saptanan ışık eğrileri sayesinde gezegenin kesin boyutlarını ve yoğunluğunu bulabiliyorlar. Bu bilgi, kuramcılara gezegen özellikleri konusunda bir boşluğu doldurma şansı veriyor. Bu boşluk, dış atmosferi-151° C’de donan bizim Jüpiter’le, 1120° C’de pişen şışmiş HD 209458b arasında yatıyor. Ayrıca uzun periyotlu eliptik yörüngede dolanan bir dev saptanırsa, sabit halkalarının ya da büyük uydularının varlığı da HST fotometri gözlemleriyle anlaşılabilir.

Bilimadamları, güneşdışı gezegenlerin sayımını yaparken, geçiş yapan gezegenlerin sayısını da aşağı yukarı kestirebilmenin olası olduğunu söylüyorlar. Sıcak Jüpiter grubunda bilinen 14 gezegen için geçişe uygun konumdakilerin sayısının biri aşma olasılığının zayıf olduğu söyleniyor. Sıcak Jüpiter kulübünün mevcut üyelerinin tümü dikkatle incelendi ve bu çabalar, HD 209458b’nin keşfine ön-

cülük etti. Eliptik yörünge dolanan devler için geçiş olasılıkları da ayrı ayrı hesaplandı. Olasılık Epsilon Eridan’ın yörüngesinde dolanan gezegen için %0,2’den, HD 80606b için % 15’e kadar değişiyor. İstatistiksel olarak geçiş yapan gezegenlerin beklenen sayısı bilinen eliptik yörüngeli devler arasında 1,07 civarında.

California Üniversitesi’nde (Santa Cruz) gökbilim konusunda yüksek lisans yapan Scott Seagrove, başarılı bir sonuca ulaşmak için ne kadar teleskopla gerek duyulacağını ve bu işin ne kadar zaman alacağını gösteren bir bilgisayar programı yazmış. Seagrove’un simülasyonuna göre, örneğin Kansas City’de bulunan bir gözlemcinin eliptik yörüngeli bir devin geçişini saptama olasılığının % 50 olması için 10 yıldan fazla bir süre gerekiyor. Elbette bu kötü bir haber! Ama, yine de gördüğünü kadar kötü olmayabilir. Hesaplamalar, tüm dünyaya dağıtmış 20 teleskoptan oluşan bir ağına, geçiş yapan eliptik yörüngeli dev 1 yıl içinde bulabileceğini gösteriyor. Kuzey ve Güney yarımküreleri kapsayan bir ağına sahip olmak, yörüngesinde gezegen bulunabilecek tüm yıldızları görmemizi sağlıyor.

51 Pegasi, gibi gözlemlenen bir sıcak Jüpiter için, öngörülen geçiş zamanı oldukça kesin, çünkü yörüngesi çok iyi saptanmış durumda. Eğer 51 Peg yıldızının önünden geçiyor olsaydı, geçiş süresini 10 dakika civarında tahmin edecektik. Buna karşılık, birçok eliptik yörüngeli dev için geçiş süresi daha kısa tahmin ediliyor. Eğer bir gezegenin kütle-

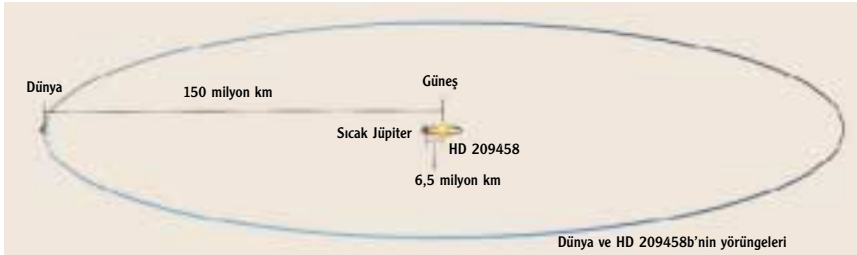
küçükse ya da yörüngesinde dolandığı yıldız pek iyi gözlenememişse, Doppler hız saptama tekniği, gezegenin yörüngesinin tam tarifini vermekte biraz güçlük çekiyor. Bu da, kimi gezegenlerin geçiş tahminlerinin kesinliğini engelliyor.

Çoklu gezegen sistemleri için, durum bir parça daha karmaşık. Örneğin, G3876’nın yörüngesindeki iki gezegen birbirlerine çok güçlü yerçekimsel etki uygularlar. Hesaplamalara göre, eğer iç gezegen (30 günlük periyodu olan) geçiş yapıyorsa, sonraki 4 geçiş 30,27- 30,06-30,39 ve 30,15 günlük aralıklarla gerçekleşir.

### Transitsearch.org’un Rolü

Web sitesi kurulurken çok basit bir çalışma biçimi seçilmiş. Transitsearch.org, katılımcılarına, tahmini geçiş zamanlarını içeren bir liste, işe nasıl başlanacağını gösteren bir açıklama ve bir tartışma forumu sağlıyor. Katılımcı gözlemci, hedef yıldızları gözlemek için istediği bir zamanda kayıt oluyor. Bunu yapmayı seçen gözlemciler, sitede kendi işlenmiş ışık eğrilerini açıklayabiliyorlar. Site üzerindeki tartışma grubundaysa, geçiş olasılıkları üzerinde fikir alışverişinde bulunuluyor. İlginç gelen durumlar, öngörülen geçiş zamanına kadar izlemeye alınıyor ve sonuç denetleniyor. Transitsearch.org’da yapılan keşifler hem gözlemcinin şahsına, hem de tüm ağına atfediliyor.

Kısacası Transitsearch.org, deneyimli amatör gökbilimcileri, heyecanlı bir araştırmaya katılmaya davet ediyor.



Üstte: HD 209458 adlı yıldız, bir "sıcak Jüpiter"e evsahipliği yapıyor. Gezegenin HD 209458'in etrafındaki kısa yörüngesinin periyodu yalnızca 3,5 gün.

Solda: Birçok güneşdışı gezegen, radyal hız ya da gezegen çekim gücüne bağlı olarak yıldızın spektrumundaki değişiklikleri gösteren Doppler yöntemi kullanılarak bulundu. Doppler etkisi gözlemcinin görüş hattı boyunca salınımları ölçer. Kötümser senaryoda, gezegeni hareketin çok küçük olduğu tepeden görüyoruz. Gezegenin yörüngesinin bize dönük olmaya yönelmesi, gezegenin minimum kütle hakkında bir tahmin yapmamızı sağlayabilir. Eğer yörüngeyi yatık görüyorsak, yıldız geri çekilir ve bizim görüş hattımızda ilerler. Bu da, gerçek kütleli hesaplamamızı kolaylaştırır.



atılmaları, bozulmuş, elipsleşmiş yörüngelere bıraktığı çetin, fırtınalı ortamların ayakta kalabilmiş kazazedeleri.

Güneş Sistemimize benzeyen son iki sınıfta, hemen hemen dairesel ve uzun periyotlu Jüpiter ve Satürn gibi alışılmış dev gaz gezegenlerini içeriyor. 47 Ursae Majoris'in iki gezegeni ve 55 Cancri'nin yörüngesindeki en dış gezegen de bu sınıfta. Dördüncü grupsa Güneş Sistemimizdeki Merkür, Venüs, Dünya ve Mars gibi karasal gezegenleri ve PSR 1257+12 nötron yıldızının yörüngesindeki üç gezegen gibi küçük kütleli kayaç gezegenleri içeriyor.

## Güneş Dışı Gezegenleri Keşfetmek

Bilinen tüm sıcak Jüpiterler ve eliptik yörüngeli devler, Doppler hız tekniği kullanılarak keşfedildi. Bir gezegenin bir yıldızın yörüngesinde olması, yıldızla küçük bir yalpa verir. Yalpanın bizim görüş hattımızdaki bölümü, yıldızların tayf hatlarında gökbilimcilerce belirlenebilen Doppler kaymalarına yol açar.

Doppler yöntemi, gezegenin yörünge hareketinin doğru bir resmini üretebilir; ama ciddi bir kusuru var. Bu yöntemle gezegenin gerçek kütlelerinden çok, yalpaya yol açabilecek minimum kütle saptanabiliyor. Nedeni, gözlenen periyodik yalpanın iki uç durum arasında kalan çok sayıda değişken durumun ürünü olması. Bu uç durumlardan birincisinde, yörünge düzlemi, yıldızla uzanan görüş hattımız üzerinde olan bir gezegen var. Bu durumda, belirlenen kütle, gezegenin

nin gerçek kütleleridir. Diğer durumsa, gezegenin izlediği yörüngeyi tepeden görüyor olmamız. Bu durumdaysa saptanan yalpa tüm yalpanın küçük bir kesri olduğundan gezegenin gerçek kütleli saptanabilenden çok daha büyük. Gökbilimciler, sistemin bize göre hangi açıda konumlandığını belirleyene kadar, Güneş dışı gezegenlerin kütleli belirsiz kalmaya mahkum.

Bununla birlikte, belirsizliği ortadan kaldırmamanın bir yolu var: Gezegenin yörünge düzlemi bizim görüş hattımıza yeterince yakınsa, Dünya'dan bakıldığında gezegen her yörünge turunda bir kez yıldızla Dünya arasından geçer. Sonuçta oluşan tutulma ya da geçiş, yıldızın ışığının bir kısmının Dünya'dan görülmesini engeller. Parlaklıktaki bu gölgelenme, yörünge düzleminin görüş hattımıza olan açısını kesinleştirir ve gökbilimciler bu sayede gezegenin kütleli saptayabilirler. Ayrıca, yıldızın engellenen ışığının miktarını ölçerek, gökbilimciler gezegenin fiziksel boyutu ve yoğunluğunu da hesaplayabilirler. Geçiş sırasında yıldızın ışık eğrisi, gezegenin halkaları ya da uydularının olup olmadığını da gösterebilir. Geçişin gözlenebilme olasılığı yıldızla



rına yakın gezegenler için daha fazla. Üç gün yörünge periyotlu bir sıcak Jüpiter'in geçişinin görülme olasılığı % 10. Buna karşılık, iki hafta periyotlu bir gezegen için geçişin görülme olasılığı % 4. Bir başka deyişle, uzun periyotlu gezegenler için olasılık azalıyor. Dünya gibi 365 günlük periyodu olan bir Güneş dışı gezegen için geçiş üretebilmek için gezegenin yörünge düzleminin bizim bakış doğrultumuza en fazla 0,3° yatık olması gerekiyor. Bu durumda %0,5'lik bir izlenebilir geçiş olasılığı yakalanabiliyor.

Şimdiye kadar, yalnızca bir Güneş dışı gezegenin (HD 209458 yıldızına eşlik eden) yıldız önünde geçişi saptandı ve doğrulandı. Ev sahibi yıldız Güneş'e çok benziyor ve Pegasus'tan 154 ışık-yılı uzakta. HD 209458b adlı bu gezegen, 3,5 günlük yörünge periyoduyla sıcak Jüpiter sınıfına dahil. Kütleli Jüpiter'inin % 70'i kadar ve üç saatlik geçişler süresince yıldızın 7,65 kadirlik ışığının % 1,7'sini engelliyor. Gezegenin kütleli Jüpiter'den küçük olmasına karşın, yarıçapının % 35 daha büyük olması yörünge uzaklığındaki olağanüstü sıcaklığın yol açtığı şişmeden kaynaklanıyor olabilir. HD209458b için yeni bilgisayar simülasyonları, yıldızın gezegen üzerindeki tayfsal çekim etkilerinin, atmosferinde, tayf çizgilerinde gözlenebilecek karmaşık akışlara yol açabileceğini gösteriyor.

Gökbilimciler HD 209458b'yi 1999'da Doppler tekniğiyle keşfettiler. Gökbilimciler gezegenin ışığını, gezegenin geçişi saptayabilmek umuduyla izlediler ve geçiş, iki profesyonel gözlemci grup tarafından neredeyse aynı zamanda gözlemlendi. O günden bu yana, birçok amatör gökbilimci 20-35 cm teleskoplar, CCD detektörler ve standart teleskop denetim yazılımları kullanarak HD 209458b'nin geçişini saptayabiliyorlar.

Gezegen tutulmanın içindeyken de, dışındayken de birçok kereler yıldızın parlaklığını ölçtüler. Amatörler HD 209458'in parlaklığını, geçiş sırasında parlaklığı sabit kalan birçok yakın yıldızla karşılaştırıyorlar. Değişken ışık ölçümü adı verilen bu teknik "doğruluk denetimi" olarak iş görüyor. Teknik, gözlemcilerin yıldızın bulutlara ya da yıldızın ufukta alçalmasına değil, gezegene bağlı olarak kararması ya da parlaması konusunda emin olmalarını sağlıyor.

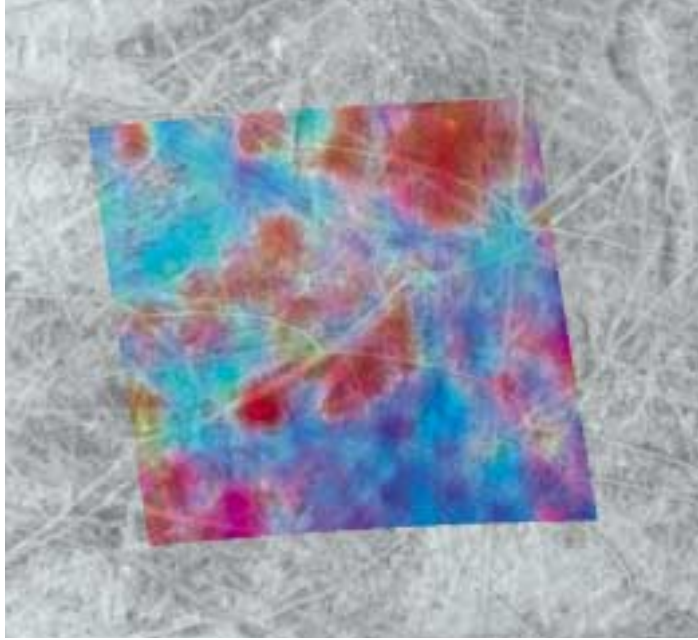
Laughlin G., Castellano T., "Join the Hunt@transitsearch.org", Astronomy, Ocak 2003.

Çeviri: Elif Yılmaz

# DÜNYA DIŞI OKYANUSLAR

Su, gezegenimizin yüzeyinin üçte ikisini kaplıyor ve Dünya'yla ilgili olarak bildiğimiz her şeyle sıkı sıkıya bağlantılı. Levha tektoniği, volkanizma ve yeryüzünün biçimi üzerinde de etkili. Deniz seviyesindeki birkaç metrelik bir alçalma ya da yükselme, Dünya'yı, tanımakta güçlük çekeceğimiz bir biçime sokabilir. Ancak en önemlisi, yeryüzündeki tüm yaşam -bildiğimiz tek yaşam- var olmak için doğrudan doğruya suya bağımlı. Temellerinde suyun olmadığı bir yaşam biçimini canlı olarak algılayıp algılayamayacağımız bile bir soru. Bu nedenle yaşam barındırabilecek veya yaşanabilecek yerler aramak üzere gözlerimizi evrene çevirdiğimizde her şeyden önce "su eşittir yaşam" gözlüğümüzü takarız.

Suyun yaşama olanak vermesi için sıvı halde olması şart. Yeryüzündeki sıvı suyun tamamına yakın bölümünü barındıran okyanusların varlığıysa bazı özel koşullara bağlı. Güneş Sistemi'ndeki en yakın iki komşumuzdan Venüs'te aşırı sıcaktan dolayı su tümüyle buhar şeklindeyken, Mars'ta tüm su, düşük sıcaklıktan dolayı donmuş halde bulunuyor. Bu iki uç örnek, bilim adamlarını yaşanabilir bölgenin sınırlarını çizerken, Dünya benzeri bir gezegenin Güneş'ten ne kadar uzakta olması gerektiğine dayanan bir yöntem belirlemeye yöneltti. Gezegenin kütlesi ve Güneş'ten uzaklığına dayanan bu yöntemin belirlediği alan, Venüs ile Mars arasındaki uzaklık düşünüldüğün-



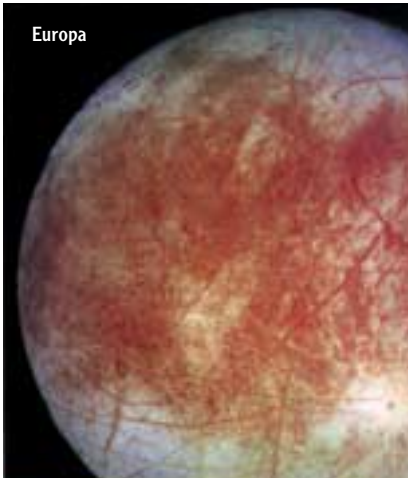
de bile oldukça dar. Ne var ki, Güneş dışı gezegenlerle ilgili bilgilerimizin artması ve bazı yıldızlara oldukça yakın yörüngelerde dolanan dev gezegenlerin keşfiyle birlikte, Dünya benzeri gezegenlerin ender olduğu düşüncesi ortaya çıktı. Böylece, zaten evrende oldukça sınırlı olduğunu düşündüğümüz yaşam barındırabilecek alanlar iyice daraldı.

Ancak, yakın zamanda yapılan çalışmalar, sıvı su okyanuslarının bulunabileceği sınırları oldukça genişletmemize neden oldu. Bu şaşırtıcı keşiflerden sonra sıvı sudan oluşmuş okyanusların evrende oldukça yaygın olarak bulun-

duğu ve varlıklarının gezegenin kütlesi, Güneş'ten uzaklık gibi dar kıstaslar içinde değerlendirilemeyeceği anlaşıldı. Güneş Sistemimiz içinde bile yeryüzünün sahip olduğundan çok daha büyük okyanusların var olduğunun anlaşılmasıyla yaşanabilir bölgelerin belki de evrenin her yerinde bulunabileceği düşünülmeye başlandı.

## Evrende En Bol Bulunan Yoğunlaştırıcı: Su

Su molekülünü oluşturan hidrojen ve oksijen, evrende en bol bulunan birinci ve üçüncü elementler. En bol ikinci element olan helyum, soygaz olduğundan kimyasal tepkimelere girmez. Oksijen, bol miktarda hidrojen bulunduğu sürece su, oksijenin doğal bir taşıyıcısı olur. Hidrojen ve Helyum, yıldızlar arası boşluğun olağan koşullarında ya da gezegen oluşumu sırasında yoğunlaşmaz, yani katı ya da sıvı hale geçmez. Ancak su yoğunlaşır ve gezegenlerin ya da gezegen çekirdeklerinin yapı taşlarını oluşturur. Güneş Sistemi'ndeki suyun çok büyük bir bölümünü barındıran dış gezegenler bu şekilde yoğunlaşarak oluşmuş. Su, bu cisimlerin ana öğelerinden biri. Ganymede, Callisto ve Titan'ın küttele yaklaşık yarısı, su. Europa, Triton ve Plüton'un su içerikleri oransal olarak Dünya'ninkinden fazlayken, dev gezegenlerin -Jüpiter, Satürn, Uranüs, Neptün- gaz olmayan kütlelerinin en önemli bileşeni,



Europa



Callisto



Neptün



olasılıkla yine su. Güneş Sistemi oldukça sulak bir yer olsa da, suyun çoğu sistemin soğuk bölümünde. Dünya gibi iç gezegenlerse diğerleriyle karşılaştırıldığında çöl gibi kalıyor. Tuhaf gelse de, Dünya'nın su içeriği oldukça düşük; kütlelerinin yalnızca binde biri sudan oluşuyor. Aslında su, Dünya'da şans eseri bulunuyor. Dört buçuk milyar yıl önce Jüpiter yakınlarında oluşup, kütleçekim etkisiyle Dünya'yla kesişen yörüngelere saçılan küçük kaya ve buz kütlelerine gezegenimize ulaştırılmış.

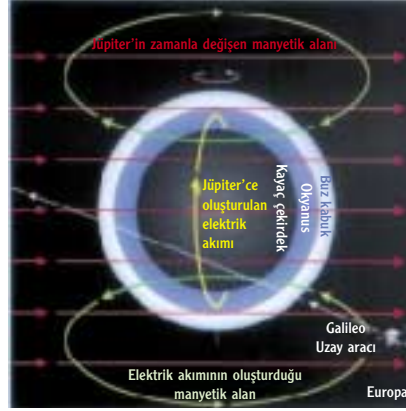
#### Çıplak, Kapalı ya da Örtülü Okyanuslar

Suyun büyük bölümünün sistemin oldukça soğuk bölgelerinde toplanmış olması, ilk bakışta Dünya dışı sıvı su okyanuslarını olanaksız gibi gösterse de su molekülünün kendine özgü özellikleri, bunu mümkün kılar.

Dünya'nın çıplak bir okyanusu var. Uzaydan bakıldığında, yansıyan görünür ışık ya da kızılötesi ışımla okyanusların varlığı kolayca anlaşılır. Ancak, Dünya gerçek anlamda çıplak değil; üzerimizi örten bir atmosfer tabakası var. Sıvı halde okyanusların varlığını da atmosferin bir özelliği olan "sera etkisine" borçluyuz. Sera etkisi sayesinde ısı, gezegenin yüzeye yakın bölümde tutulur. Güneş enerjisi atmosferi kolaylıkla geçerek yüzeye ulaşır; fakat, verimli bir şekilde geri yansıyamaz; çünkü atmosfer gazları çoğunlukla ısı-kızılötesi ışıma karşı saydam değildir. Su buharı yeryüzündeki en önemli sera gazı olsa da, sera etkisinin sağlanması karbondioksit de için gereklidir. Sera etkisinin gücüne en çarpıcı örnek, Venüs. Gezegen o kadar güçlü bir sera etkisine sahip ki, yüzey sıcaklığı 400 C iken, 65 kilometre yukarıda bulut tabakasının üzerinde, sıcaklık suyun donma noktasının altında olabiliyor.

Sera etkisi, soğuk yerlerde sıvı suyun bulunmasını mümkün kılan etkenlerden biri. Dış yüzey sıcaklığı ne olursa olsun herhangi bir gezegen ya da uydusu bir enerji kaynağına ve enerji kaçışını engelleyecek bir tabakaya sahipse, sera etkisi destekli bu yüzey sıcaklığı suyun donma noktasının üzerinde bir sıcaklığa çıktığında, gezegen sudan bir okyanusa sahip olabilir. Bu durumda, sera etkisini sağlayan tabakanın üzerindeki sıcaklığın bir önemi yok.

Donmuş suyun öz kütlelerinin sıvı suyunkinden az olması nedeniyle buzun suyun üzerinde yüzdüğü herkeşce bilinir. Bu, buz tabakasını doğal bir yalıtkan yapar. Yeryüzünde, yüzeyi donmuş göllerin balıkları, yaşamlarını suyun bu özelliğine borçludur.



Suyun donma sıcaklığı da suyun bulunduğu koşullara bağlı. Yüksek basınç ya da suda çözünen maddeler, suyun donma sıcaklığını düşürür. Kışın buzu eritmesi için yollara serpilen tuz, bunun en bilinen örneği.

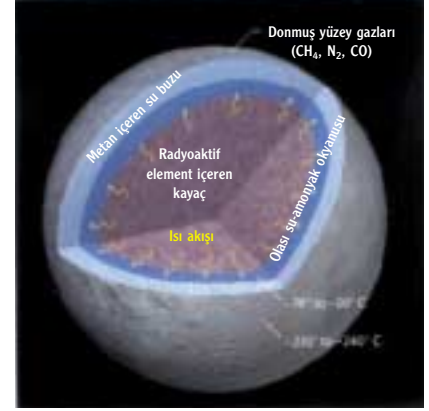
Ancak evrende suyun donma noktasını en iyi düşüren ve en bol bulunan madde, amonyak. Nitrojen de evrende oldukça bol bulunur ve ortamda büyük miktarda hidrojen olduğunda, onunla tepkimeye girerek amonyak oluşturur. Bire iki oranında amonyak-su karışımının donma sıcaklığı -100°C'dir. Bu sıcaklıkta su, bal kıvamındadır.

Tüm bunların ışığı altında, alışkın olduğumuzdan farklı iki yeni okyanus biçimi, fiziksel olarak mümkün. Üzeri tümüyle buzlarla kaplı ve varlığını bu buz tabakasına borçlu olan kapalı okyanus tipi ve üzerini örten yoğun atmosfer tabakasıyla korunan örtülü okyanus tipi. Bu örtü o kadar kalın ve yoğun olabilir ki, altında uzanan okyanusu göremeyebiliriz.

#### Europa ve Callisto

Jüpiter'in dört uydusundan biri olan Europa'nın kütlelerinin büyük bölümü her ne kadar kayaçlardan oluşsa da, uzun zamandır yüzeyinin su-buzuyla kaplı olduğu ve kütlelerinin yaklaşık %10'unun sudan oluştuğu biliniyor. Galileo uzay aracının yakın geçişleri sırasında uydunun kütle çekim alanından anlaşıldığı üzere, Europa'nın en az 200 km kalınlığında bir su tabakası var. Ne yazık ki, kütleçekim alanı ölçümleri, bu su kütlelerinin çoğunlukla katı mı yoksa sıvı mı olduğuna dair ipucu vermiyor. Çünkü, katı ve sıvı su arasındaki özkütle farkı ancak %8.

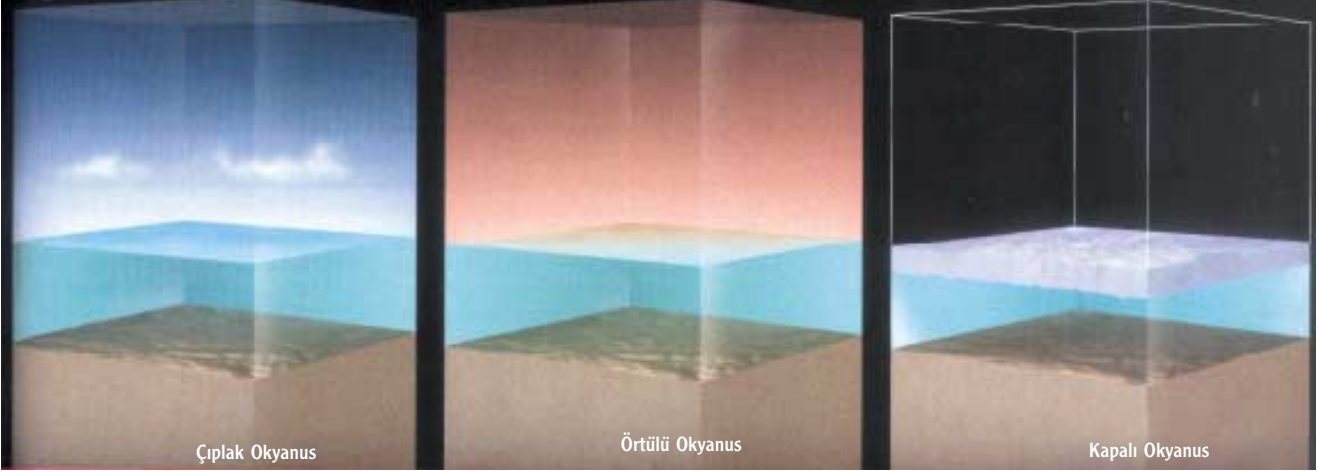
Gökbilimciler on yıllardır bu su tabakasının altında olası bir okyanusun varlığı konusunda tartışıyor. Bu tartışmada Europa'nın da, kütleçekimi etkisiyle büzülüp genişlerken Io gibi



(ondan daha az) ısındığı tahmini ön plana çıkıyor. Io, Europa ve Ganymede'nin, Jüpiter çevresindeki dönüşleri bir dansa benzer. Gök cisimlerinin eliptik yörüngeleri, birbirlerinin ve Jüpiter'in kütleçekim alanından farklı oranlarda etkilenmelerine neden olur. Europa'nın her dönüşüyle gezegene olan uzaklığı değiştiğçe, üzerindeki kayaçlar ve buz kütleleri arasındaki hareket ve sürtünmeden dolayı ısınır. Europa'nın Galileo ve Voyager uzay araçlarından çekilen fotoğrafları, oldukça hareketli, yaygın kırıkların olduğu bir yüzeye sahip olduğunu kesin bir biçimde gösterdi. Bu durum pek çok yer bilimci tarafından, ince buz tabakasından oluşan bir yüzeyin altında bir okyanusun varlabileceği şeklinde yorumlandı. Spektroskopik analizler de, uydunun yüzeyinde tuz bulunduğunu gösteriyordu. Bu tuzun, kırıklardan dışarı çıkan tuzlu suyun donmasıyla oluştuğu düşünülüyordu. Ancak bu kanıtların hepsi, ikinci dereceden dolayı kanıtlardı. Ne jeolojik kanıtlar ne de spektroskopik veriler, Europa'da bir okyanusun varlığını kanıtlamıyordu. Uydunun yüzeyindeki belirgin jeolojik etkinlik, yüzeydeki kırılmalı buzun, altındaki daha sıcak ve yumuşak buz tabakaları üzerindeki hareketinden kaynaklanıyor olabilir. Yüzeydeki tuzun kaynağı da, derinlerdeki küresel bir tuzlu su okyanusu değil, buz içindeki yerel erimeler olabilir. Ancak, Galileo uzay aracının manyetometresinden gelen bir kanıt; Europa'nın yüzeyinin altında bir okyanusun var olduğunu güçlü bir biçimde gösterdi. Galileo'nun Europa'ya ilk yakın geçişinde aracın manyetometreleri Europa'da bir manyetik alanın varlığını gösterdi.

Elektrik ve manyetizma yasalarına göre, zamanla değişen bir manyetik alan, iletken madde içinde bir indüksiyon akımı yaratır. Bu akımda kolayca belirlenebilen bir manyetik alan oluşumuna yol açar. Europa, zamana bağlı olarak değişen bir manyetik alan içerisinde: Jüpiter, Dünya'ninkine benzer hafifçe eğik bir manyetik alana sahip. Kendi çevresinde döndükçe, Europa üzerinden geçen manyetik alan çizgileri de değişiyor. Böyle bir manyetik alan dalgalanması, Europa ya da herhangi bir küresel cismin iletken bir tabaka içermesi durumunda, manyetik alan oluşmasına yol açabilir. Galileo'nun Europa'ya daha sonra yaptığı yakın geçişler, manyetik alanın bir iletken tabakadan kaynaklandığını kuşkuyla yer bırakmayacak biçimde ortaya koydu.

Peki bu iletken tabaka ne olabilir? Su buzu, tuzlarla yüklü olsa bile yalıtıktı. Katı ka-



yalar da öyle. Metaller bu işi kolaylıkla görebilirdi; ince bir grafit tabakası bile yeterliydi. Ancak, Europa'da bu maddelerin de var olduğu düşünülüyor. Bir iyonosfer tabakası da gerekli etkiyi sağlayabilirdi; ancak, doğrudan ölçümler, iyonize gazların da yeterli olmadığını gösterdi. Tuzlu su, Dünya'nın manyetik alanında değişimlere yol açan okyanuslar gibi en uygun iletken adaydı.

Hesaplamalar, okyanus tuzluluğunun Dünya okyanuslarındakine eşit olması durumunda gözlenen manyetik alanın oluşması için, en az 10 kilometre kalınlığında bir okyanus tabakası olması gerektiğini gösteriyor. Suyun tuzluluğu, iyon veren herhangi bir mineralden kaynaklanabilir; ancak bunun sodyum klorür olmadığı biliniyor. Suyun üzerini örten buz tabakasının kalınlığı da büyük tartışma konusu. Tahminler daha çok 10-40 km arasında değişirken, okyanus tabakasının kalınlığının 100 km'den bile fazla olabileceği düşünülüyor.

Europa'da bir okyanusun varlığının kanıtlanması, çok şaşırtıcı bir gelişme değildi. Ancak manyetometre ölçümleriyle Callisto'dan da oldukça benzer manyetik alan sinyalleri alınması ve bu uydunun yüzeyinin altında da benzeri bir okyanusun varlığını gösterilmesi gerçek bir şok etkisi yarattı. Daha önceki kuramsal çalışmalar, buz ve kayadan oluşan Callisto boyutlarındaki bir cismin, yalnızca radyoaktif bozunmayla sağladığı ısının, sıvı bir okyanus oluşturmaya yetmeyeceğini söylüyordu. Ancak buz akış yasaları ve ısı iletim verimiyle ilgili bugünkü bilgilerimiz, okyanus oluşumu için ısı yalıtım yoluyla ısınmanın yeterli olduğunu söylüyor. Özellikle kayaçlardaki potasyum, (oldukça kararsız ve bozularak ısı üreten bir element) evrendeki gibi bolsa. Okyanustaki tuz ve buzun faz geçiş etkileri de okyanusun varolma olasılığını artırıyor. Callisto'nun okyanusu yüzeyden 150-200 km aşağıda olabilir. Bu derinlikte, 2000 atmosfer basınçta suyun donma noktası -20 C.

#### Titan, Triton, Plüton ve İlerisi

Halen Satürn yolunda olan Cassini uzay aracının en önemli hedefi, Satürn'ün uydusu Titan. 2004'ün başından itibaren, bu uydunun hakkında pek çok şey öğrenmeyi umut ediyoruz. Boyut ve kütlece Jüpiter'in uyduları Ganymede ve Europa'ya benzeyen Titan, kimyasal yapısı ve yoğun atmosferiyle onlardan oldukça farklı.

Titan'ın olasılıkla suca zengin bir denizi var; ancak, Satürn'ün manyetik alanı eğik olmadığı için, Titan'da sıvı sudan oluşan bir okyanusun varlığını manyetik alan çalışmalarıyla belirlemek oldukça zor. Sorumuzun cevabını almak için Cassini'nin Titan'a varmasını beklemek zorundayız.

Daha varsayımsal olsa da, Titan'dan daha küçük olan Plüton ve Neptün'ün uydusu Triton'un da buzlu yüzeylerinin altında, su-amonyak karışımı okyanuslar bulunduğunu ileri sürebiliriz. Bu cisimlerin bileşimleri ve iç yapıları hakkında bilinmeyenler, bu konuda bir karara varmayı şimdilik olanaksız kılsa da, Plüton-Kuiper Kuşağı görevi için 2006'da fırlatılması planlanan araç, bu sorulara cevap bulabilir.

Uranüs ve Neptün'ün derinliklerindeyse hidrojen, amonyak, metan ve başka moleküllerle karışmış olarak, çok büyük miktarda su bulunduğu düşünülüyor. Bu gezegenlerde suyun çok miktarda bulunduğu derinlikler, sıvı bir okyanus oluşturmaya elvermeyecek ölçüde sıcak. 2500 km'de, sıcaklık 1000 C'nin üzerine çıkıyor. Bu koşullarda sıvı bir fazda olması beklenmeyen su molekülleri olasılıkla diğer tüm moleküllerle birlikte, bir karışım halinde. Bu gaz devrelerindeki yüksek sıcaklığın nedeni, yüzeyi kaplayan hidrojenin neden olduğu sera etkisi. Sıcaklığın kaynağıysa Güneş ışığı değil, ısınım ve milyarlarca yıldır gezegenin oluşumu sırasında içeriye sıkışıp kalmış olan ısı. Fakat, Neptün ve Uranüs benzeri, ancak daha küçük cisimler, suyun sıvı olarak bulunabileceği ısı sistemlerine sahip olabilirler. Bu durumlarda gezegenin yüzeyi ne kadar soğuk olursa olsun, içindeki su, okyanuslar oluşturmak üzere yoğunlaşabilir.

#### Güneş dışı okyanuslar

Güneş dışı gezegenleri ve özelliklerini düşünürken, kaçınılmaz olarak Güneş Sistemi'ndekilere benzer gezegenler hayal ediyoruz. Bu kesinlikle yanlış, Güneş Sistemi'nde olası tüm gezegen çeşitlerinin bulunduğunu iddia etmek için hiçbir nedenimiz yok. Ancak, kendimizi yine de gezegen oluşumu için elde bulunan elementlerle ve onların göreceli bolluklarıyla sınırlamalıyız. Örneğin Jüpiter kütlelerinde, ama büyük bölümü demirden oluşmuş bir gezegen tasarlamak mantıklı değil; çünkü demir bu kadar bol bulunan bir element değil. Fakat gezegen oluşumuyla ilgili şu anki anlayışımız, bizi Ganyme-

de'ninkine benzer bileşimde ve Dünya kütlelerinde ya da Uranüs veya Neptün'ün bileşiminde, ancak daha küçük kütleli gezegenlerin var olabileceğini tasarlamaktan alıkoymuyor. Bu kütlelerin okyanusları olması gerektiğini, yalnızca suyun evrendeki bolluğuna dayanarak söyleyebiliriz. Gezegenlerin dışarıdan bir Güneş'le ısıtılması da gerekli değil; ısınım ya da oluşum ısı, gerekenden fazlasını sağlıyor. Bu yüzden su okyanuslarına gök cisimleri evrenin herhangi bir yerinde bulunabilir; buldukları yer bu cisimlerin okyanusu olup olmayacağını belirlemez. Yoğun hidrojen atmosferlerinin altında yüzey okyanuslarına sahip Dünya benzeri gezegenler, yıldızlar arası boşlukta dolaşabilir bile olabilir. Bu cisimler, bizimkine benzer bir Güneş Sistemi'nde oluşmuş ve sonradan dev bir gezegenin kütleçekim etkisiyle uzaya fırlatılmış olabilirler.

#### Yaşam Sorunu

Eğer su okyanusları yaygın ve yaşamın gelişmesi için doğal yerlerse, yaşam evrende oldukça yaygın demektir. Yaşamın ortaya çıkışıyla ilgili günümüz bilgi birikimi bu soruya cevap vermek için oldukça yetersiz. Jüpiter'in ayları, en uygun ve en kolay ulaşabileceğimiz kapalı okyanusları barındırıyor. NASA'nın Europa'ya göndermeyi planladığı uzay aracı, bu sorulara cevap bulmayı kolaylaştırabilir. Bu okyanusların tabanında, yaşamı destekleyebilecek volkanik etkinlikler ve sıcak su dolaşimleri olabilir (en azından bir zamanlar). Henüz Güneş ışığı yokluğunun, yaşamın gelişmesini olanaksız hale getirdiğine ilişkin bir kanıt yok.

Yaşam ve evrimiyle ilgili düşüncelerin bir kısmı, anlaşılabilir biçimde Dünya merkezli. Bunlar, özellikle karasal organizmalarca kullanılan metabolik ve biyokimyasal yollar üzerine odaklanmıştır. Ancak enerji bütçesi az olan, kapalı ya da örtülü okyanuslarda gelişebilecek pek çok farklı biyokimyasal ve metabolik yol olabilir. Elbette bu tür biyosferler daha küçük ve kolayca belirlenecek tarzda değil. Yine de, en azından basit yaşam biçimleri için, uygun ortamların evrenin her yerinde bulunabileceğini biliyoruz. Yalnızca aşırı sıcak yerler bunun dışında bırakılabilir. Daha yaygın olan soğuk yerlerdeyse dış görünüşü aldatıcı olabilir.

Stevenson, D. J., Planetary Oceans, Sky & Telescope, Kasım 2002

M u r a t G ü l s a ç a n