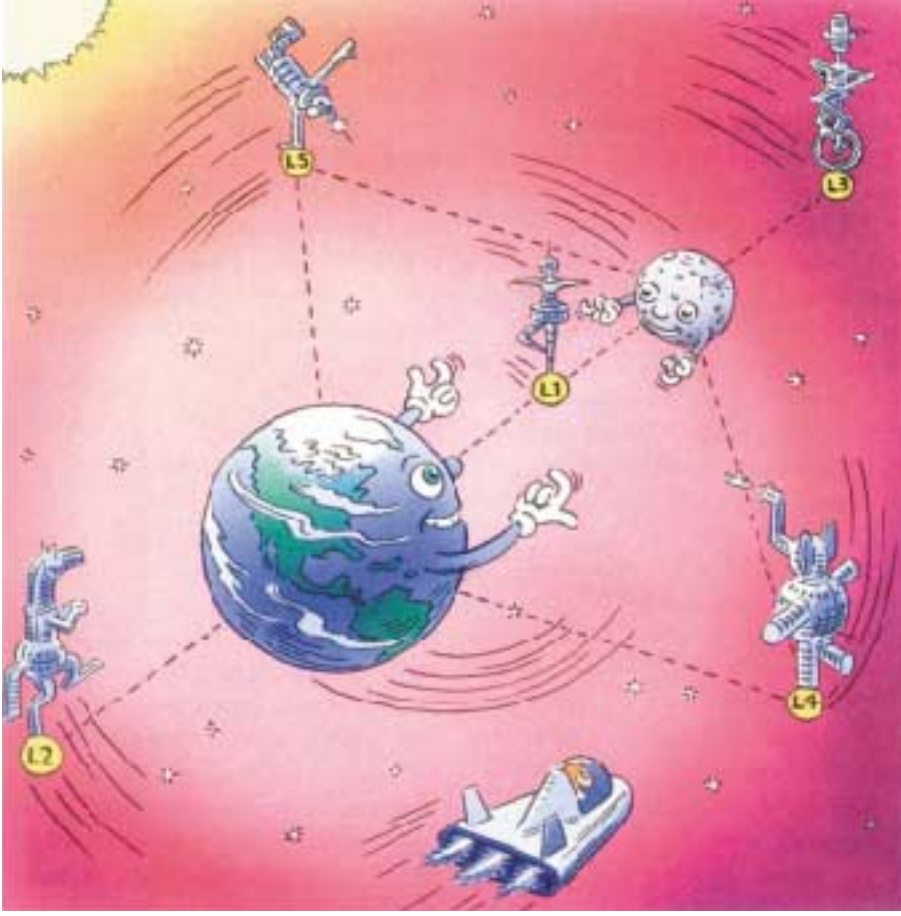




Dünya-Ay, Güneş-Dünya gibi uzayda birbirinin etrafında dolanan gök cisimlerinden oluşan her sistemin, beş Lagrange noktası bulunur. Bu noktalardaki kuvvetlerin toplamı sıfır olduğundan, Lagrange noktalarına yerleştirilen cisimler oldukları yerlerde kalırlar. Güneş-Dünya sisteminin Lagrange noktalarından ikisine iki gözlemevi yerleştirildi bile. Geleceğin uzay istasyonları için de bu noktaların en uygun yerler olduğu düşünülüyor. Bir de bu noktaları seven asteroidler olmasa!...

LAGRANGE NOKTALARI

Uzay uçuşları tarihine bakarsanız, Dünya'nın yörüngesini terk eden ilk uzay aracının Apollo 8 olduğunu görürsünüz. Bu, 20. yüzyılın büyük başarılarından biriydi. Ayın çevresinde atacakları bir tur için, Dünya'nın yörüngesinden ayrılma zamanı geldiğinde, astronotlar içinde bulundukları Satürn 5 roketinin üçüncü modülünün motorlarını ateşlediler ve kısa süre içinde saniyede yaklaşık 11 km'lik hıza ulaştılar. Ay'a ulaşmak için gerekli enerjinin yaklaşık yarısı, Dünya'nın yörüngesine ulaşmak için harcanmıştı. Bu sırada, televizyondaki bir haber spikeri, astronotların yerçekiminden kurtuldukları

nı söylüyordu. Astronotlar Ay'a doğru gidiyorlardı ve spiker, Ay'ın Dünya'nın yerçekimi kuvveti sayesinde yörüngesinde kalabildiğini düşünseydi, bu hatayı yapmayacaktı büyük olasılıkla. Gerçekte, Dünya'nın ve öteki tüm cisimlerin kütleçekimleri, uzaklık arttıkça belirgin olarak azalır; ancak sonsuz uzaklıkta sıfır olur.

Üçüncü modülün motorları ateşlenip yeterli hıza ulaştıktan sonra, Ay'ı ıskalamamak için uzay aracının gidiş yönünü düzeltmek dışında, artık motorların itiş gücüne gerek kalmamıştı. Yaklaşık 400.000 km'lik yolculuğun büyük bölümünde, Dünya'nın yerçekimi

mi, uzay aracını kendine doğru çekecek sürekli olarak yavaşlamasına neden oldu. Bu arada, astronotlar Ay'a yaklaştıklarında, onun kütleçekimi de kendini hissettirmeye başladı.

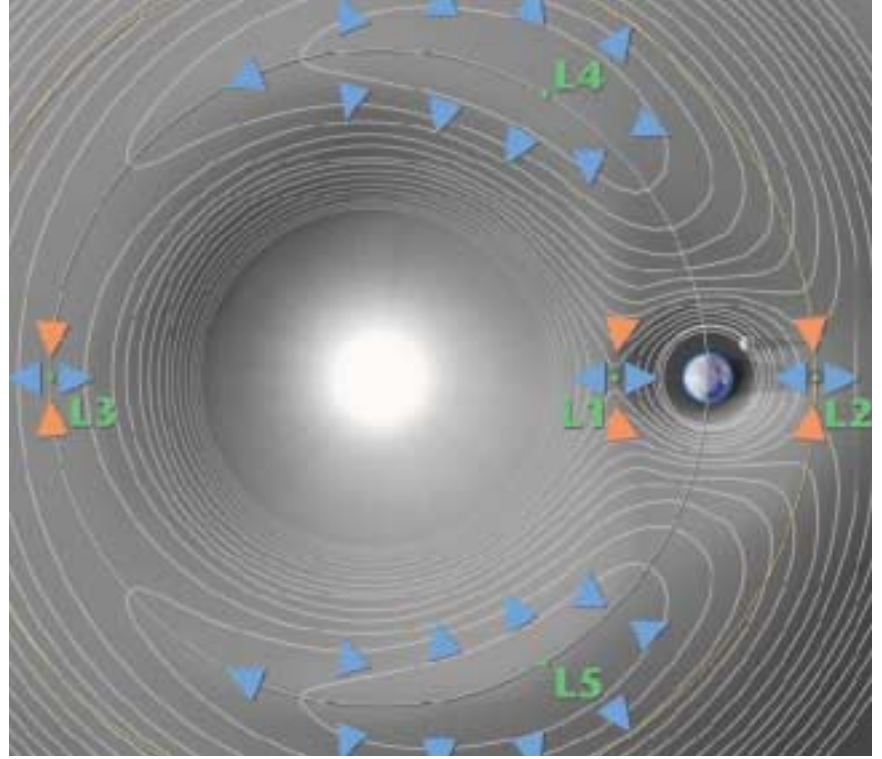
Dünya ve Ay arasında, iki gök cisminin kütleçekimlerinin dengelendiği bir nokta bulunur. Bu noktada, Dünya da Ay da uzay aracını aynı kuvvetle çektiğinden, buradaki toplam kütleçekimi sıfırdır. Uzay aracı, bu noktaya geldiğinde yavaşlaması durur. Yani, araç bir an için de olsa sabit hızla gider. Uzay aracı, bu noktayı geçip Ay'a doğru ilerlediğinde, Ay'ın kütleçekimi artık daha fazla hissedildiğinden hızlanmaya başlar.

Eğer, Dünya-Ay sisteminde, etkili olan tek kuvvet kütleçekimi olsaydı, bu nokta, iki gök cisminin kütleçekiminin birbirini dengelediği tek nokta olurdu. Ancak, Dünya ve Ay, ortak bir kütleçekim merkezi etrafında dolanırlar. Kütleçekimini, Dünya ve Ay'ı merkezlerinden birbirine bağlayan bir ip gibi düşünürseniz, ortak kütle merkezi bu ipin üzerinde yer alan bir nokta olur. Bu, kütle oranları ne olursa olsun, birbirinin çevresinde dolanan her iki gök cismini için geçerlidir. Yeniden Dünya ve Ay'ı ele alırsak, ortak kütleçekim merkezi, yerkabuğunun yaklaşık 1500 km altında (Dünya'nın içinde) yer alır. Eğer Dünya ve Ay aynı kütlede olsaydı, bu nokta tam olarak ipin ortasında yer alacaktı.

Cisimler, boyutları ve hızları ne olursa olsun, düz değil de dairesel hareket ettiklerinde, onları dışa doğru iten, daha doğrusu düz gitmeye zorlayan bir kuvvetle karşı karşıya kalırlar. Bu etkiye, yani bir merkez etrafında dönen bir cismin karşılaştığı etkiye "merkezkaç" deniyor. Aslında, merkezkaçın bir gerçek kuvvet olduğu söylenemez. Ancak, bu merkezkaç etkisini, bir kuvvetmiş gibi hesaplamalarda kullanabiliyoruz.

1736-1813 yılları arasında yaşamış olan Fransız matematikçi Joseph-Louis Lagrange, Ay-Dünya ilişkisi üzerine bazı hesaplamalarla uğraşırken, Ay'ın ve Dünya'nın kütleçekiminin ve burada bulunacak bir cismin üzerindeki merkezkaç kuvvetinin birbirini dengelediği beş nokta keşfetti.

Lagrange'ın ilk noktası (L1), Dünya ile Ay arasındaki kütleçekiminin dengelendiği noktadan biraz daha Dünya'ya yakın konumda yer alıyor. Bura-



L1, L2 ve L3'teki cisimler, bir eğrin üzerinde duruyor gibidir. Kırmızı oklar, buradaki cisimleri yerlerine iten kuvvetleri gösteriyor. Mavi oklarsa, cisimleri bu noktaların dışına iten kuvvetleri gösteriyor. L4 ve L5'teki cisimler bir dağın tepesindeki kraterin içinde gibidir. Kraterin kenarını aşmadıkça dışarı düşmezler.

ya yerleştirilen bir cisim, Dünya ile Ay arasındaki bu konumunda sabit kalıyor. Yani, Dünya'nın çevresinde, Ay'la aynı sürede dolanıyor. Bu noktadaki tüm kuvvetler birbirini götürse de, bir cismin hep burada kalabilmesi için çok hassas bir denge gerekiyor. Buradaki bir cisim, eğer Dünya-Ay doğrultusu dışında herhangi bir yöne doğru kayarsa, üç kuvvetin cisim üzerindeki toplam etkisi, onun yeniden L1 noktasına yerleşmesini sağlar. Ancak, cisim, Ay-Dünya doğrultusundan herhangi bir tarafa azıcık bile kaysa, kaydığı yöne göre Ay'a ya da Dünya'ya geri dönüşü olmadan düşer.

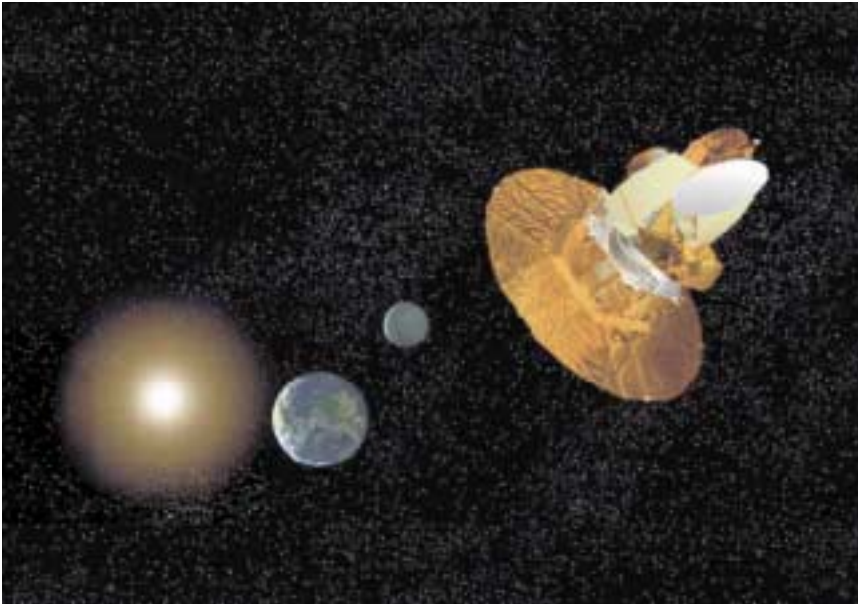
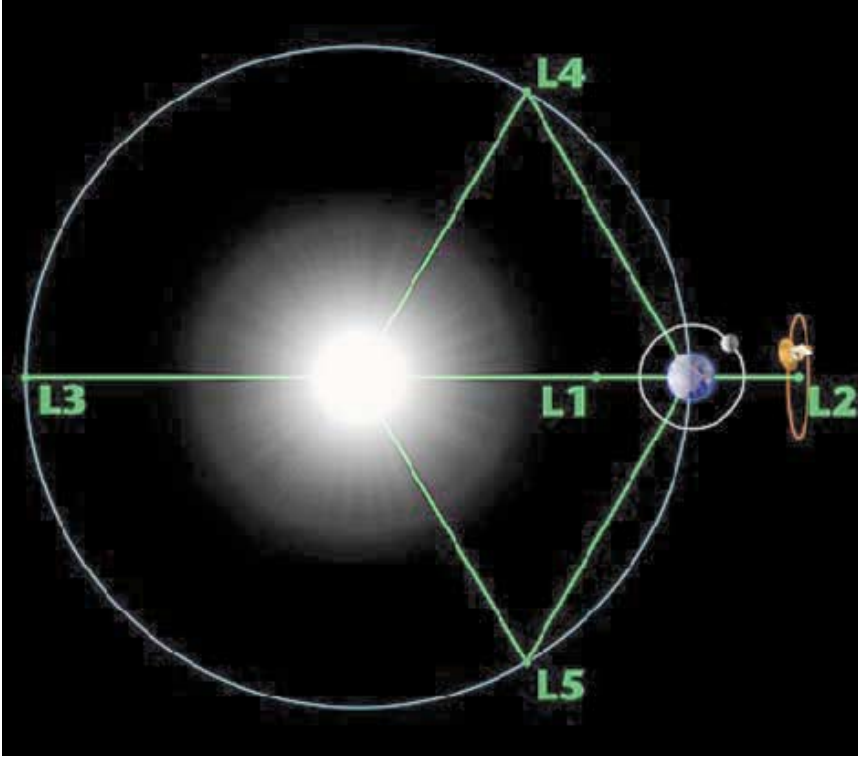
İkinci ve üçüncü Lagrange noktaları (L2 ve L3) da Dünya-Ay doğrultusunda yer alır. Ancak, her iki nokta da Dünya ve Ay'ın arasında yer almazlar. L2, Ay'ın öteki tarafında, L3 de Dünya'nın Ay'a göre arkasında yer alır. Bir kez daha, bu noktalarda kütleçekimleri ve dönen sistemin merkezkaç kuvveti dengelenir. Bu noktalara yerleştirilen cisimler de benzer biçimde Ay'ın Dünya çevresinde dönme süresine denk bir dönemde dolanırlar.

L2 ve L3'deki denge, L1'deki kadar hassas değildir. Eğer bu noktalardan birinin yakınındayken Ay'a ya da Dünya'ya doğru düştüğünüzü fark ederseniz, az miktarda yakıtla yeniden doğru noktaya dönebilirsiniz.

İlk üç Lagrange noktası, biraz hassas denge gerektirmekle birlikte yine de oldukça kullanışlı yerler olabilirler. Ancak, denge bakımından onlardan çok daha iyisi var: L4 ve L5. İki kenarını Ay ve Dünya'nın oluşturduğu bir eşkenar üçgen düşünürseniz, L4 bu üçgenin öteki ucunda yer alıyor. Benzer olarak yine Ay ve Dünya'nın iki köşesini oluşturduğu bir komşu üçgen düşündüğünüzde, L5 bu üçgenin bir köşesini oluşturuyor. L4 ve L5, Ay ve Dünya'ya göre simetrik konumdadır.



L4 ve L5 noktaları, devasa uzay istasyonlarının kurulabileceği yerler olarak görülüyor.



Evrendeki mikrodalga fon ışımasını gözlemek amacıyla tasarlanan ve 30 Haziran 2001'de fırlatılan MAP (Microwave Anisotropy Probe) uydusu, aylardır Güneş-Dünya L2'sinde veri topluyor. Uydunun buraya ulaşması birkaç ay sürdü. Bu noktanın kararsız bir dengeye sahip olmasına karşın, MAP'ın bu noktanın yakınında kalabilmesi için fazla yakıta gereksinimi yok.

L4 ve L5 noktalarında, öteki Lagrange noktalarında olduğu gibi tüm kuvvetler dengede. L4 ve L5 noktalarının öteki noktalardan farkı, büyük kütleli ile küçük kütleli cismin kütle oranı 25'i aştığında, bu noktalardaki denge kararlı oluşu. Bu oran, hem Dünya-Ay, hem de Güneş-Dünya sistemlerinde sağlanıyor. Yani, buraya yerleştirilmiş olan bir cismin kendiliğinden Ay'a ya da Dünya'ya düşmesi mümkün değil. Cisim ne yöne kayarsa kaysın,

buradaki kuvvetler, cismi bu noktalara doğru iter. L4 ve L5 noktaları, bir dağın tepesindeki krater benzer. Bu kraterin içine bir top koyduğunuzdu düşünürseniz, ne yöne doğru iterseniz itin, top kraterin kenarını aşmadıkça kraterin ortasına geri dönmek isteyecektir.

Topu, kraterin kenarına yakın bir yerden bıraktığınızda, top kraterin tabanından geçerek karşı tarafta tekrar yükselir ve yeniden geri döner. Sür-

tünmesiz bir ortamda, bir sarkacın hareketi gibi bu hareket sonsuza değin sürer. İşte L4 ve L5'e yerleştirilebilecek cisimler, ya tam olarak bu noktalarda duruyor ya da bu noktaların çevresinde dolanıyor olacaklardır.

L4 ve L5 bölgeleri, uzay kolonilerinin kurulabileceği en uygun bölgeler olarak görülüyor. Bu bölgelerde istasyon kurmak kolay. Yapacağınız tek şey malzemeyi buraya göndermek. Kaybolma riskleri yok, çünkü kuvvetler onları burada tutuyor. Ayrıca, malzeme üzerinde kütleçekiminin neredeyse hiç etkisi olmayacağından burada devasa uzay istasyonları inşa edilebilir. Bunun Dünya'nın yörüngesinde yapılması zor; çünkü, yörünge üzerindeki bir cismin üzerindeki kütleçekimi kuvvetinin merkezkaç etkisiyle sıfırlanmasına karşılık, devasa bir istasyonda hem sürekli yön değiştirmenin etkisiyle, hem de farklı uzaklıklardaki bölümler üzerinde değişik miktarlarda kütleçekimi olacağından, istasyon sürekli bir gerilim altında kalacaktır.

L4 ya da L5 bölgelerine yerleştirilecek, halka biçimli devasa istasyonları döndürerek, merkezkaç etkisi oluşturulabilir ve bu sayede yapay bir yerçekimi yaratılabilir. Burada kurulabilecek bir istasyon için, bir çok senaryo yazılabilir. Nitekim, bunun için 1975 yılında L5 Topluluğu adında bir grup bile kuruldu.

L4 ve L5 noktalarında bir istasyon kurulması düşüncesi üzerine, Arthur C. Clarke'ın da bir şeyler yazmış olması beklenemezdi. Clarke, 1961'de, "A Fall of Moondust" adlı romanında, bu konuyu ele aldı. Clarke'ın yörüngelere özel bir ilgisi vardı. 1945'te, bir uydunun yeryüzünün üzerinde sabit kalmasını yani, 24 saatte bir dönmesini sağlayacak yörünge yüksekliğini hesapladı. Bu yüksekliğin anlamı o zamanlar kavranmamıştı; ancak, iletişim teknolojilerinin gelişmesiyle, bu yörünge önem kazandı. Özellikle, iletişim uydularının yeryüzünün üzerinde sabit bir konumda durması, radyo ve televizyon yayınlarının ve birçok başka iletişim yayınları için büyük önem taşıyor.

Lagrange noktalarına dönersek, bu noktaların sadece Dünya-Ay sisteminde olduğunu söylemek yanlış olur. Birbirinin çevresinde dolanan her iki cismin beş Lagrange noktası vardır. Bunlar arasında bizim için en kullanışlı

olanlarından biri, Güneş-Dünya sistemindeki Lagrange noktalarıdır. Bu sistemdeki Lagrange noktaları Dünya'nın çevresinde yılda bir kez dönüyormuş gibi görünür. Buna karşın, Hubble Uzay Teleskopu gibi Dünya'nın alçak yörüngelerinde dolanan cisimler, gökyüzünün ancak yarısından biraz fazlasını görebilirler.

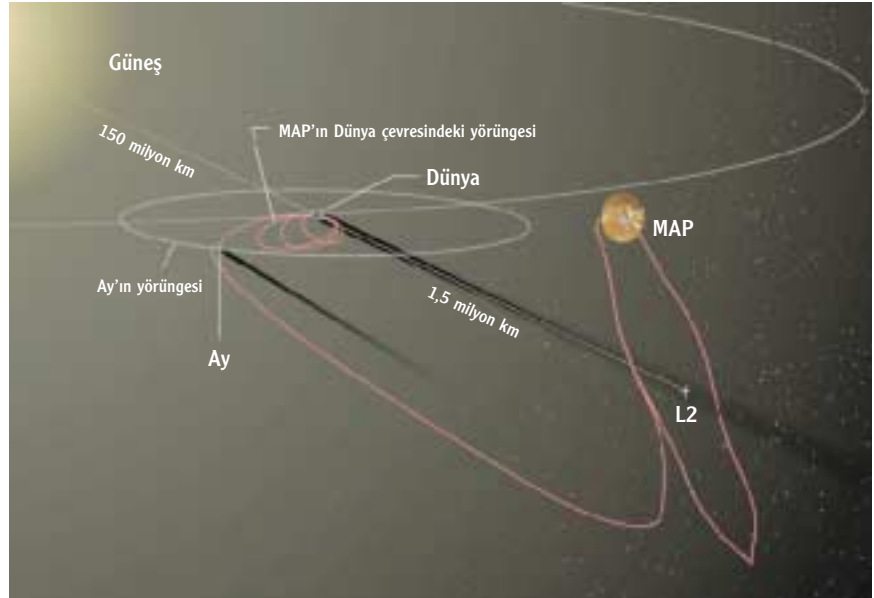
Güneş-Dünya L2 noktası, Dünya'dan yaklaşık 1,6 milyon km uzaklıkta, Güneş'in bulunduğu yönün tersinde yer alır. Bu uzaklıktan, Dünya, Ay'ın Dünya'dan görüldüğü büyüklükte görünür. Buraya yerleştirilen bir teleskop, neredeyse 24 saat boyunca her yönü gözleyebilir.

Evrendeki mikrodalga fon ışımasını gözlemek amacıyla tasarlanan ve 30 Haziran 2001'de fırlatılan MAP (Microwave Anisotropy Probe) uydusu aylardır Güneş-Dünya L2'sinde veri topluyor. Uydunun buraya ulaşması birkaç ay sürdü. Bu noktanın kararsız bir dengeye sahip olmasına karşın, MAP'ın bu noktanın yakınlarında kalabilmesi için fazla yakıt gereksinimi yok. Uyduda, şu anda buraya ulaşmak için kullandığı yakıtın %10'u kalmış durumda. Bu kadar yakıtla bile uydu, yaklaşık yüz yıl boyunca L2'de kalabilecek.

NASA'nın tasarlamakta olduğu Yeni Kuşak Uzay Teleskopu (NGST) için düşünülen yer de Güneş-Dünya L2'si. Aslında buraya yerleştirilen uzay araçlarının tam olarak bu nokta üzerinde bulunma zorunluluğu olmadığından, aynı anda birçok uzay aracı buraya yerleştirilebilir.

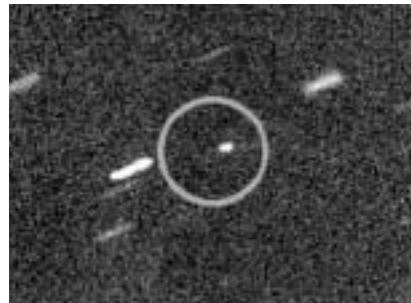
Lagrange noktalarından birine yerleştirilmesi planlanan uzay araçlarından biri de, NASA'nın Genesis adlı aracı. Genesis, Güneş-Dünya L1'ine yerleştirilecek ve Güneş'ten güneş rüzgarıyla gelen maddeden örnekler toplayacak. L1 noktası, Güneş'le Dünya arasında yer alıyor ve Dünya'ya yaklaşık 1,5 milyon km uzaklıkta bulunuyor. Genesis, yaklaşık 2,5 yıl süresince Güneş'ten gelen parçacıkları toplayacak ve bunlar bir kutu içinde Dünya'ya gönderilecek. Bu sayede Güneş ve onu oluşturan bulutsuyla ilgili veri miktarı artmış olacak. L1 noktası, şu anda yine bir Güneş gözlemevi olan SOHO uydusuna ev sahipliği yapıyor.

Henüz L3 noktası için bir kullanım amacı bulunmuş değil. Burası, Dünya'dan bakıldığında tam olarak Gü-



neş'in arkasında kalıyor. Bu da buradaki bir cismin Dünya'dan görülemeyeceği anlamına geliyor. Doğal olarak bu durum bilim kurgucuların ilgisini çekmiş. Burada, bilinmeyen bir gezegen "X Gezegeni" olduğu öne sürülmüş. Tabii, L1 noktasında bulunan bir cismin dengedeki kararsızlık nedeniyle en iyimser yaklaşımla birkaç aydan fazla burada kalamayacağı ne bilimkurgu romanı yazarlarınca, ne de bir Hollywood klasiği olan "X Gezegeninden Gelen Adam" filmini çekenlerce dikkate alınmış.

L4 ve L5 noktalarının kararlı dengeye sahip olduğu düşünülürse, bu noktaların çevresinde göktaşları gibi, gezegenlerarası ortamda avare gezen maddenin yakalanabileceği akla geliyor. Nitekim, bunun örneklerine de rastlanıyor. Lagrange, bu noktaları keşfettikten sonra, kütleçekimsel olarak çok güçlü olan Güneş-Jüpiter sistemindeki Lagrange noktalarında bazı gök cisimlerinin yakalanmış olabileceğini öne



Güneş-Dünya sistemindeki L4 ve L5 noktaları, Jüpiter'de olduğu gibi asteroidlere ev sahipliği yapıyor olabilir. Gök bilimciler bunun için Güneş-Dünya sisteminin L4 ve L5 noktalarını gözleyiyorlar. Henüz burada bir asteroidin varlığı kanıtlanmadı. Ancak, fotoğrafta görünen nokta, bunun için bir aday.

sürdü. Bundan yaklaşık yüz yıl sonra, 1905'te, ilk Troya ailesi asteroidleri keşfedildi. Bugün biliyoruz ki Güneş-Jüpiter sistemindeki L4 ve L5 bölgelerinde binlerce asteroid bulunuyor.

Bu kadar büyük cisimler olmasa da Güneş-Dünya ve Dünya-Ay sistemlerinde de bu tür gök cisimleri yer alabiliyor. Son yıllarda yapılan araştırmalar, sadece dev gezegenlerin değil, küçük gezegenlerin de L4 ve L5 noktalarında yakalanmış asteroidler olabileceğini gösteriyor. Gök bilimciler, İç Güneş Sistemi'nde asteroidlerin bulunup bulunamayacağını bilgisayar canlandırmaları yardımıyla bulmaya çalışıyorlar. Çalışmalar sonlanmış değil; çünkü çok yüksek sayıda işlem yapmak gerekiyor. Ancak, ilk veriler Venüs, Dünya ve Mars'ın da Troya asteroidlerine sahip olabileceğini gösteriyor. Merkür için bu olasılık düşük. Çünkü hem küçük bir gezegen hem de yörüngesi pek düzgün değil. 1990 yılında Mars'ın yörüngesi üzerinde keşfedilen 5261 Eureka adlı asteroidin Mars'ın Lagrange noktalarından birinde olduğu anlaşıldı.

Gök bilimciler, başka asteroidler bulabilecekleri düşüncesiyle Mars ve Dünya'nın Lagrange noktalarını iyice gözlediler. Eureka ve yine bir başka Marslı Troya asteroidi dışında bir cisme rastlamadılar. Yakın gelecekte, bu bölgelerin daha büyük teleskoplarla daha ayrıntılı olarak gözlenmesi düşünülüyor.

Alp Akoğlu

Kaynaklar
Tyson, N., The five Points of Lagrange, Natural History, Nisan 2002
<http://map.gsfc.nasa.gov>
<http://www.nature.com/nsu/001214/001214-6.html>
<http://www.genesismission.org/>