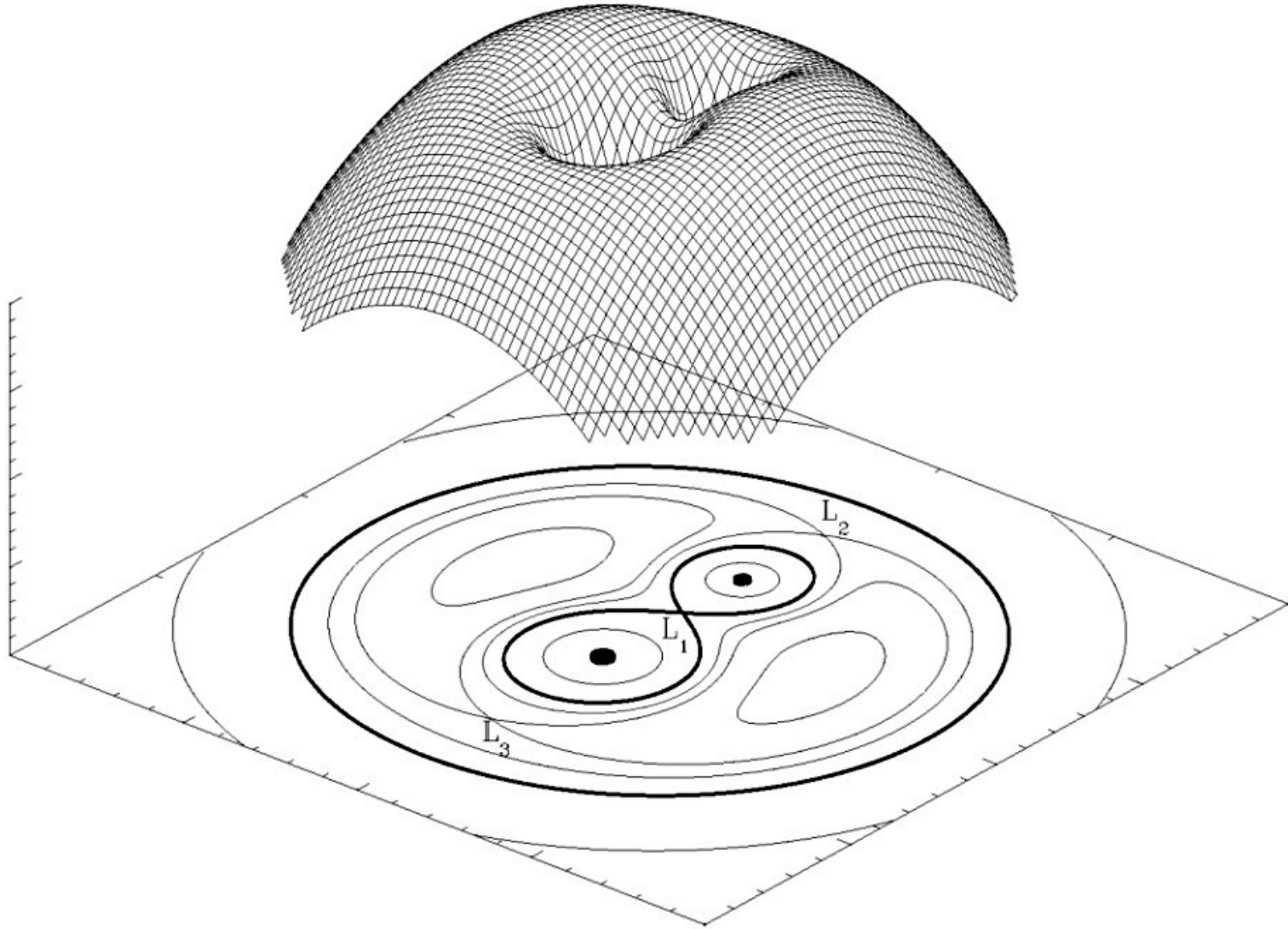


AST418

Gezegen Sistemleri
ve Oluşumu

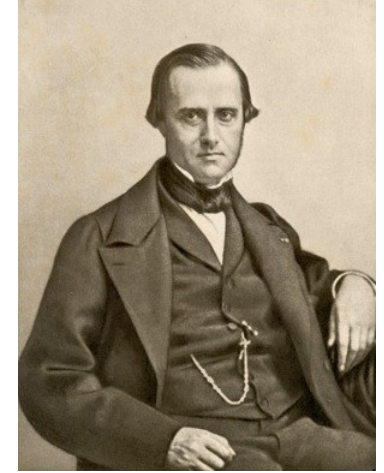
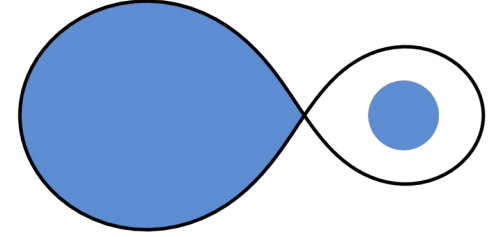
Ders 3: Roche Geometrisi

Roche Şişimi (Lobe) ve Eşpotansiyel Yüzeyler



Roche Şişimi ve Eşpotansiyel Yüzeyler

- ✓ **Roche geometrisi** bir çift sistemdeki iki kütlenin gravitasyonel potansiyellerinin geometrik yapısına verilen isimdir. Bu geometride gravitasyonel potansiyelin eşit olduğu yüzeyler **eşpotansiyel yüzeyler** olarak bilinir.
- ✓ Bu yüzeylerden iki kütleyle ilişkin potansiyellerin ilk kez bir noktada kesiştiği eşpotansiyel yüzey özel olarak önemlidir. Bu yüzeyde her iki bileşenin içinde bulunduğu hacimler **Roche şişimi (Roche lobe)** adını alırlar. Aradaki kesişim noktası ise **1. Lagrange noktasıdır (L_1)**.
- ✓ **Roche şişimi (lobu)**, çift sistem bileşenlerinin her birinin etrafında, yörüngedeki malzemenin kütleçekimsel olarak o yıldıza bağlı olduğu bölgeyi tanımlar.
- ✓ Çift yıldız sistemlerinde bileşenlerden birinin evrimi sırasında kırmızı dev koluna tırmanırken yarıçapının büyüyerek Roche şişimini doldurmasıyla “dolan” bir yıldızın potansiyel kuyusundan diğerine madde aktarımı başlar. Bu transfer L_1 Lagrange noktasından gerçekleşir
- ✓ Sistem bileşenlerinden birinin Roche şişimini doldurmasıyla sistem “**yarı değen**” (semi-detached) hale gelir. Diğer bileşenin de evrimleşerek Roche şişimini doldurması durumunda ise sistem “**değen**” (contact) çift sistem adını alır. Sistemin her iki bileşeni de Roche şişimini henüz doldurmamışlarsa bu durumda sistem “ayrık” bir çift sistemdir.



Eduard Roche,
https://en.wikipedia.org/wiki/%C3%89douard_Roche

Lagrange Noktaları

✓ **Lagrange noktaları**, bir çift sistemin etrafındaki nesnelere yerinde kalma eğiliminde olduğu konumlardır. Lagrange noktalarında, iki büyük kütle çekim kuvveti, küçük bir nesnenin onlarla birlikte hareket etmesi için gereken merkezci kuvvete tam olarak eşittir.

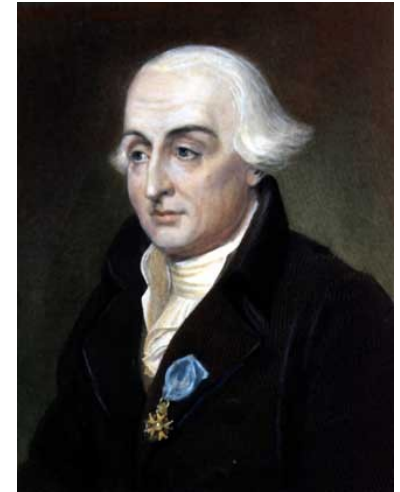
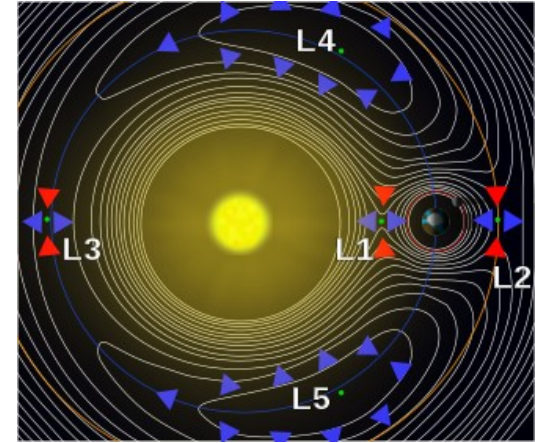
✓ Bu konumlar üç cisim probleminin genel çözümü üzerinde çalışan matematikçi Joseph-Louis Lagrange'ı onurlandırmak amacıyla bu şekilde isimlendirilmiştir.

✓ Beş Lagrange noktasından üçü kararsızdır (L_1 , L_2 ve L_3) ve iki büyük kütleli birleştirici çizgi boyunca uzanırlar. Kararlı olan ikisi (L_4 ve L_5) iki köşesinde çift sistemin büyük kütlelerinin olduğu iki eşkenar üçgenin tepe noktasını oluşturur. Yer-Güneş ikilisinde L_4 Yer'in yörüngesine öncülük ederken L_5 onu takip eder.

✓ Kararsız olanlarda dahi denge durumu nedeniyle yakıt tüketimi az olacağından uzay araçları ve teleskopların bu noktalara yerleştirilmesi tercih edilir. Yer-Güneş ikilisinin L_1 noktası Güneş'in Yer tarafından bloke edilmeden sürekli gözlemini sağladığı için çeşitli dalgaboylarında Güneş gözlemleri yapan Solar and Heliospheric Observatory Satellite (SOHO) uydu teleskobuna ev sahipliği yapmaktadır.

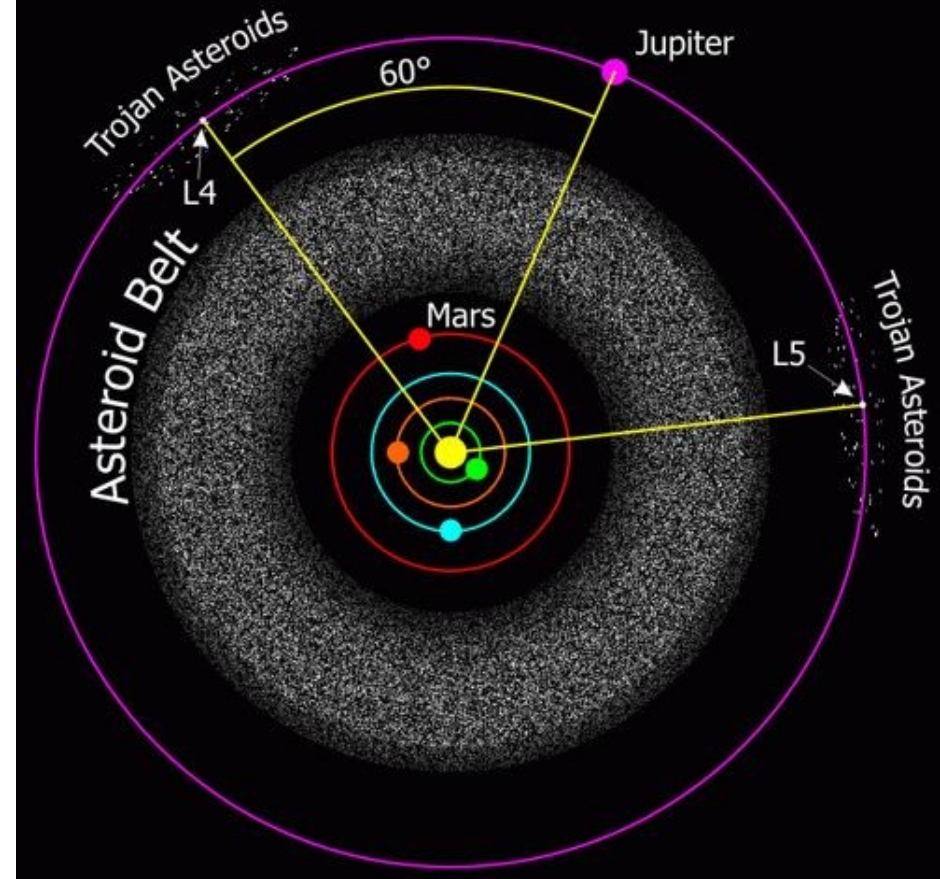
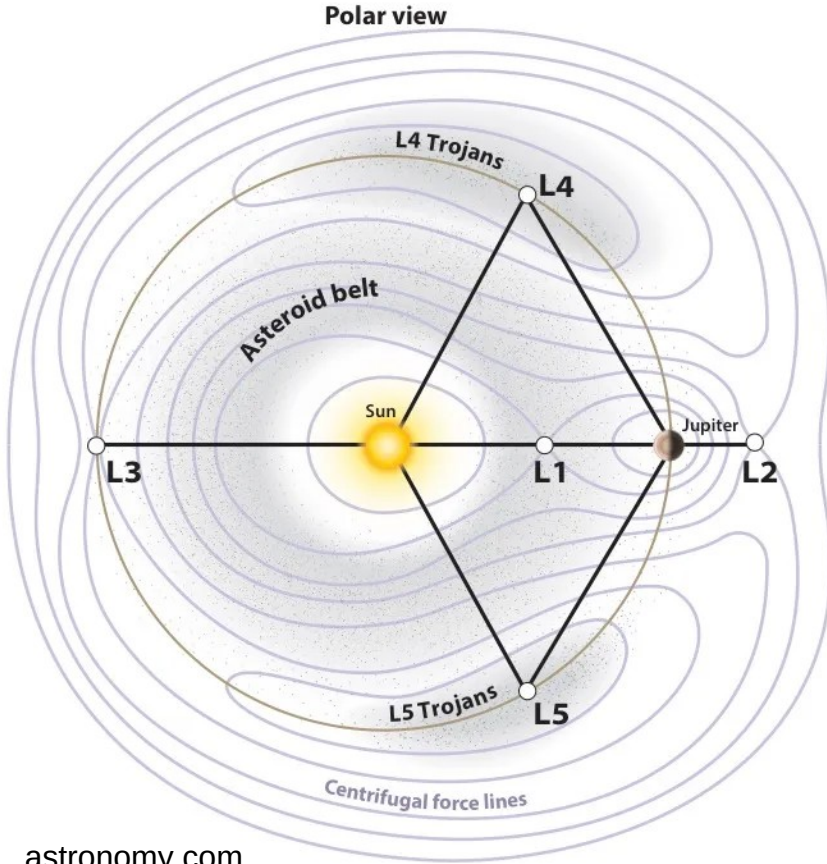
✓ L_2 noktası Yer'le iletişim kolaylığının yanı sıra uzay aracının Güneş, Yer ve Ay'ı arkasına alarak derin uzayı gözleme olanağı sağlaması açısından özeldir. Bu nedenle de WMAP ve Planck uzay teleskoplarından sonra günümüzde James Webb Uzay Teleskobu'nun bulunduğu yerdir.

✓ L_4 ve L_5 noktaları 1/25'ten küçük çift sistem kütle oranları (q) için karardır. Jüpiter, Mars ve hatta Satürn'ün bazı uydularının etrafındaki bu noktalarda bulunan asteroidler **trojan asteroidleri** olarak bilinir.



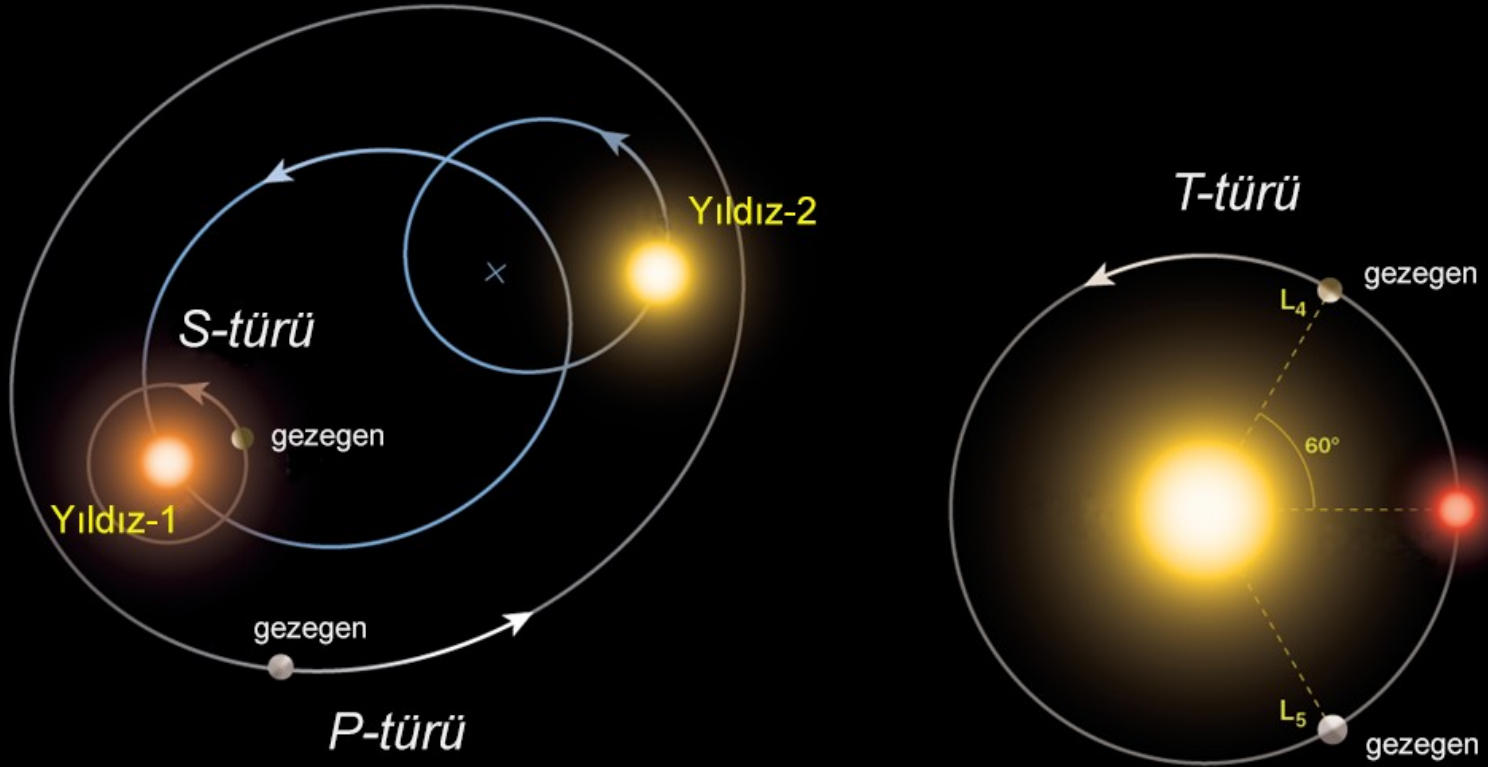
Joseph-Louis Lagrange,
https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph-Louis_Lagrange

Jüpiter ve Trojan Asteroidleri



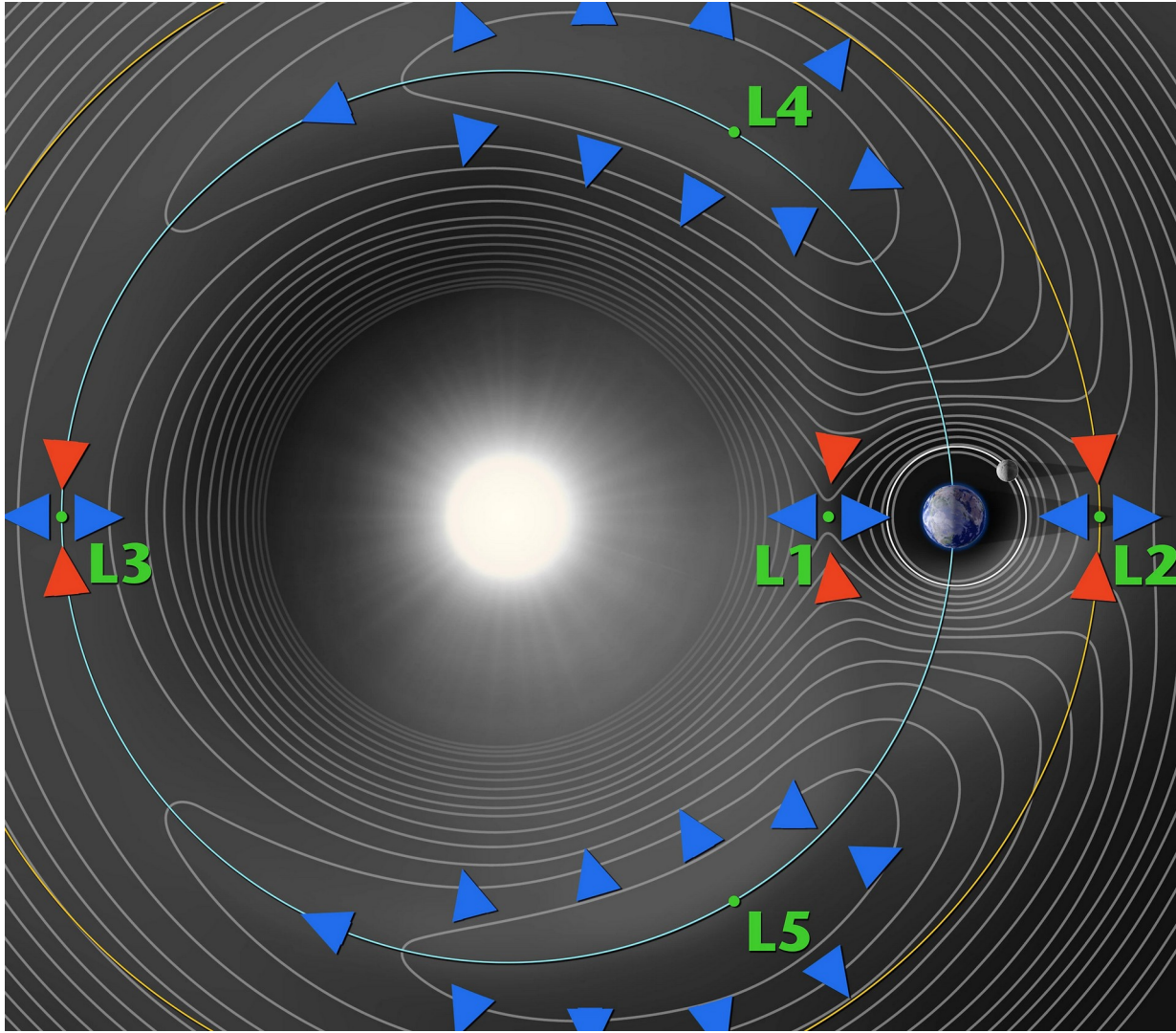
Jüpiter - Güneş sisteminin L₄ ve L₅ noktaları kararlı olduğundan Jüpiter civarındaki asteroidler zamanla bu bölgelerde toplanmışlardır. Bu bölgelerdeki asteroidler Jüpiter ile birlikte, Jüpiter'in her iki tarafında yaklaşık 60° uzaklıkta onunla birlikte dolanırlar ve **trojan asteroidleri** olarak adlandırılırlar.

Çift Yıldız Gezegenleri ve Trojanlar



Çift yıldız bileşenlerinin etrafında dolanan gezegenler **P-türü** (planet-type, circumbinary planets) olarak bilinirken, bileşenlerden birinin etrafında dolanan gezegenlere ise **S-türü** (satellite-type, circumstellar planets) adı verilir. Ayrıca sistemin L₄ ve L₅ noktalarında da gezegenler bulunabilir. **T-türü** (trojan) adı verilen bu tür gezegenlerin henüz keşfedilmiş bir örneği bulunmamaktadır.

Kütle oranı $q = m_2 / m_1 > 1/25$ olan çift sistemler için L₄ ve L₅ noktaları kararlı olmadığından burada toplanabilecek küçük cisimler tüm yörüngeye yayılır ve IAU'nun 2006 Res. 5/6 ile gezegen tanımına getirilen "yörüngesini temizlemiş olma" koşulu aşılmış olur. IAU 2018 F2 ile yapılan ötegezegen tanımında bu koşul $q < 1/25$ olarak yerini bu nedenle almıştır.



NASA

Kütleçekimsel potansiyelin eşit olduğu eşpotansiyel yüzeylere karşılık gelen konturlar (iki boyutlu olduğu için yukarıdaki şekilde açık gri renkteki eğrilerle gösterilmiştir) arası uzaklık ne kadar azsa yakındaki kütle çekim etkisi o kadar büyüktür. L_1 , L_2 , L_3 civarında gradyent vektörü iki yönde azalırken (kırmızı oklar: çukur), iki yönde artar (mavi oklar: tepe); bu nedenle bu noktalar civarında konturlar eğri (ing. saddle) yapısındadır. L_4 ve L_5 ise birer tepe üzerindedir; her yöndeki eğrinin ikinci türevi negatiftir.

Tedirginlik Kuvvetleri



(b)

Figure 4-27
Universe, Tenth Edition
© 2014 W. H. Freeman and Company

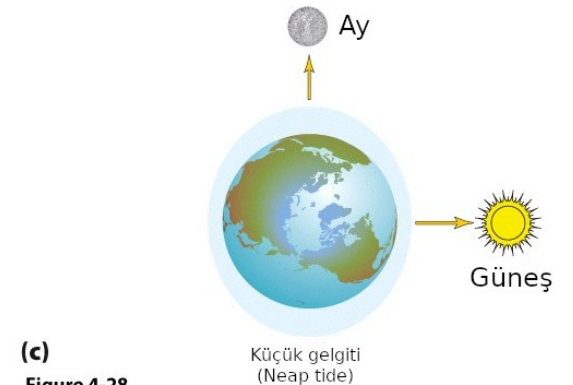
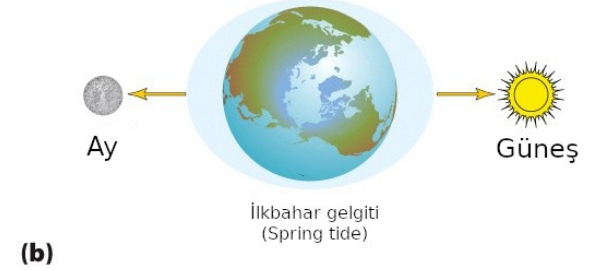
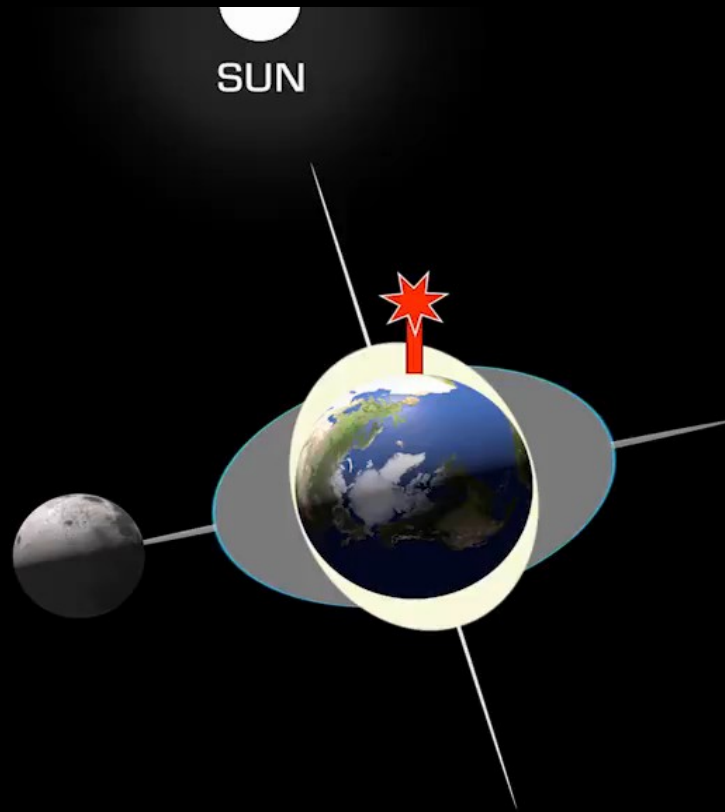


Figure 4-28
Universe, Tenth Edition
© 2014 W. H. Freeman and Company

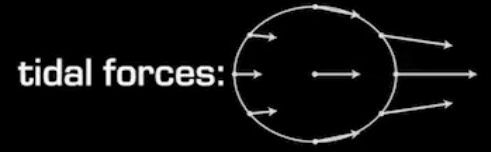
TIDES

NEAP TIDES

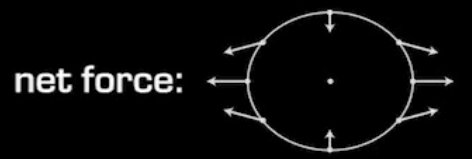


- Lunar tide
- Solar tide
- Lunar+Solar tide

Tidal force balance on Earth



minus: →



 Low Tide

Earth's tides:
Moon $\frac{2}{3}$ + Sun $\frac{1}{3}$

2020 APR-01 11:15UT

Not to scale

James O'Donoghue @PhysicsJ
with NASA imagery & data

Roche Limiti ve Hill Yarıçapı

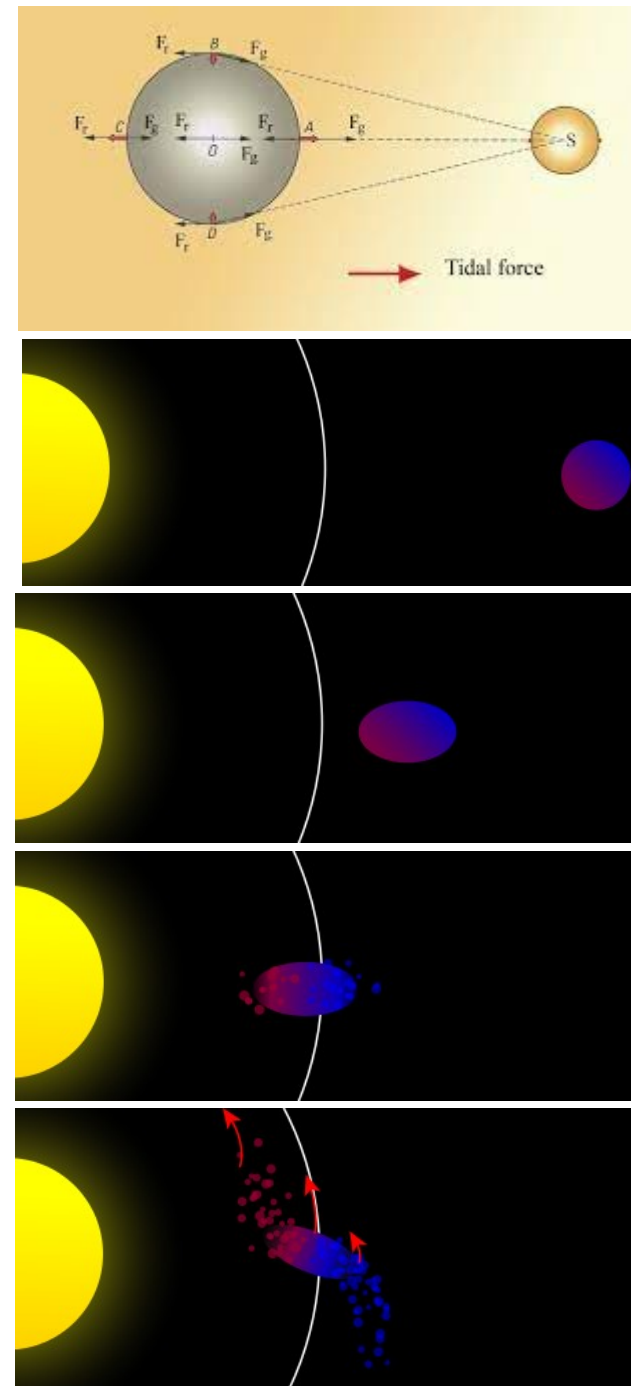
✓ **Roche limiti** ya da **Roche yarıçapı** olarak da adlandırılan uzaklık yalnızca kendi yerçekimi kuvvetiyle bir arada tutulan ikinci bir gök cisminin, daha büyük kütleli ve ona yakın başka bir cismin uyguladığı kuvvetli tedirginlik etkileri nedeniyle artık kendini bir arada tutamayarak parçalanacağı mesafedir. Roche limiti içinde, yörüngedeki malzeme dağılır ve halkalar oluşturur (örn. Satürn'ün halkaları) ya da bir süre sonra büyük cismin üzerine düşerken (örn. Shoemaker-Levi kuyruklu yıldızı), limitin dışındaki malzeme birleşme eğilimi gösterir.

✓ **Roche limiti**, birinci cismin yarıçapına ve cisimlerin yoğunluklarının oranına bağlıdır. Nitekim ikinci cismin tedirginlik kuvvetlerinden ne oranda etkileneceği yoğunluğuna ("katılığına") bağlıdır. Yer-Ay ikilisinde Yer yüzeyindeki karasal bölgeler bu kuvvetlerden etkilenmezken, su kütlesi (okyanus ve denizler) etkilenir.

✓ M ve m sırasıyla büyük ve küçük kütleleri, ρ onların yoğunluk, R yarıçaplarını göstermek üzere sırasıyla yüksek (katı) ve düşük (akışkan) yoğunluklu kütleler için Roche limiti:

$$d_{\text{katı}} = R_M \left(2 \frac{\rho_M}{\rho_m} \right)^{1/3} = R_m \left(2 \frac{M_M}{M_m} \right)^{1/3} \approx 1.26 \sqrt[3]{\frac{2\rho_M}{\rho_m}} R_M$$

$$d_{\text{akışkan}} \approx 2.44 R_M \left(2 \frac{\rho_M}{\rho_m} \right)^{1/3}$$



Hill Yarıçapı

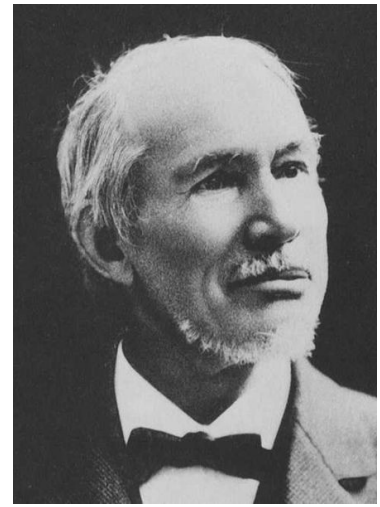
✓ **Hill yarıçapı** bir ikili sisteme ek üçüncü bir cismin bu ikili sistemin küçük bileşeninin etrafında (yıldız-gezegen sistemlerinde gezegen) bir yörüngeye sahip olup olmayacağını (aynı tür sistemlerde bir uydu olup olmayacağını) belirleyen ikinci cisme limit uzaklığıdır. Daha küçük kütleli cismin bu limit yarıçapa sahip Hill küresinin içinde bulunan bir üçüncü cisim ikincinin etrafında bir yörüngede dolanır.

✓ Ay, Yer'in Hill küresinin içindeyken; Güneş Sistemi gezegenleri Güneş'in Hill küresi içinde olduklarından yakın yıldızlar ya da Galaktik merkezdeki süper kütleli karadelik yerine Güneş'in etrafında dolanırlar.

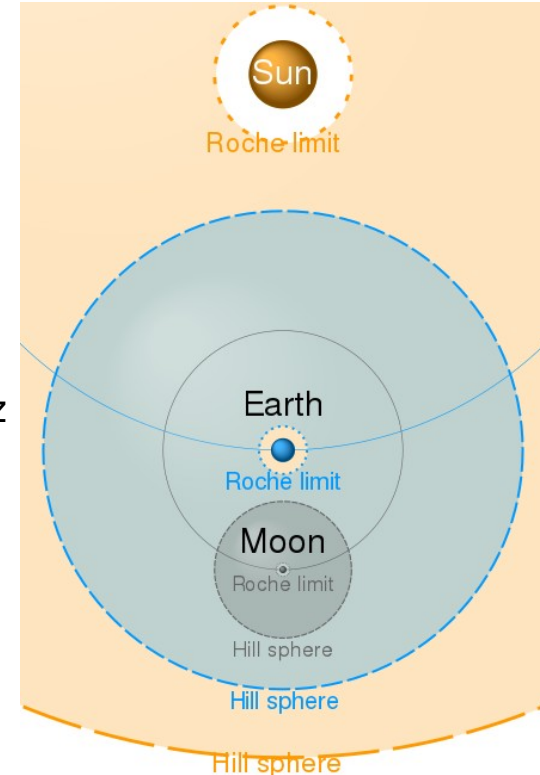
✓ Daha formal bir ifadeyle, **Hill küresi**, ikili bir sistemdeki küçük kütleli cismin kütleçekimsel potansiyelinin daha büyük bir cismin uyguladığı tedirginlik kuvvetlerini aştığı uzayı tanımlar. Fransız astronom Édouard Roche'un çalışmasına dayanarak Amerikalı astronom George William Hill tarafından tanımlanmıştır ve **Roche küresi** olarak da adlandırılır.

✓ Hill küresi çift sistemlerin küçük kütleli bileşeninin etrafında L_1 ve L_2 Lagrange noktaları arasındaki uzaklığı çap olarak alır. Bu kürenin biraz dışında bile olsa üçüncü cismin yörüngesi zamanla büyük kütlelinin tedirginlik etkileri kaynaklı olarak kararsız hale gelir ve sonunda büyük kütleli cismin etrafında bir yörüngeye girer.

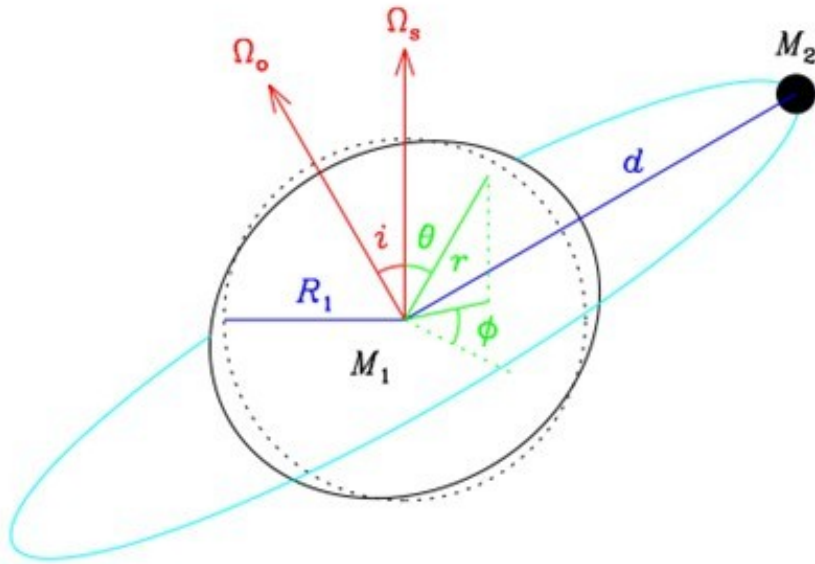
$$r_{Hill} \approx a(1-e) \left[\frac{m}{3M} \right]^{1/3}$$



George William Hill,
https://en.wikipedia.org/wiki/George_William_Hill



Yıldız - Gezegen Tedirginlik Etkileşmeleri Gezegen Yörüngesinin Evrimi



Tedirginlik (Gelgit) Etkileşmelerinin Geometrisi
(Ogilvie 2014)

✓ Dönme dönemi ile yörünge dönemi farklı ve / veya dönme eksenini ile yörünge eksenini hizalanmamış iki cisim için cisim dönmeleri ile yörünge hareketi arasında bir momentum transferi gerçekleşir. Bunun nedeni cisimlerin farklı bölgelerinin farklı kütleçekimine maruz kalmaları nedeniyle kütle dağılımının değişimidir.

✓ **Denge tedirginlik (gelgit) etkileşmelerinde (ing. equilibrium tides)** cisimlerdeki şekil bozulması ve kütle dağılımı yörünge hareketi boyunca sabit kabul edilirken, **Dinamik tedirginlik etkileşmelerinde (ing. Dynamical tides)** değişkendir. Bu durumda Yörünge hareketi boyunca yıldızın maruz kaldığı kütleçekim kuvveti periyodik olarak değişir ve bu da yıldız plazmasında çekim dalgalarının (ing. Internal gravity waves) yayılmasına neden olur. Yıldızın konvektif zarfı bu şekilde enerjiyi soğurmuş olur.

Sıcak Jüpiterler gibi kısa yörünge dönemli sistemlerde yıldız açısal momentum kazanıp daha hızlı dönerken, açısal momentum kaybeden gezegen daha küçük bir yörüngeye geçer. Ay-Yer ikilisi için Yer'in dönme hızı, Ay'ın yörünge hareketi sırasındaki hızına göre daha büyük olduğundan durum tersidir ve Ay bizden yılda 3.8 cm uzaklaşır. Yer ve Ay (büyük ölçüde) katı cisimler olduğundan denge tedirginlik etkileşmeleri çerçevesinde ele alınırken, birer gaz küre olan yıldız ve dev gaz gezegen etkileşmelerinde dinamik etkileşmeler kritiktir.