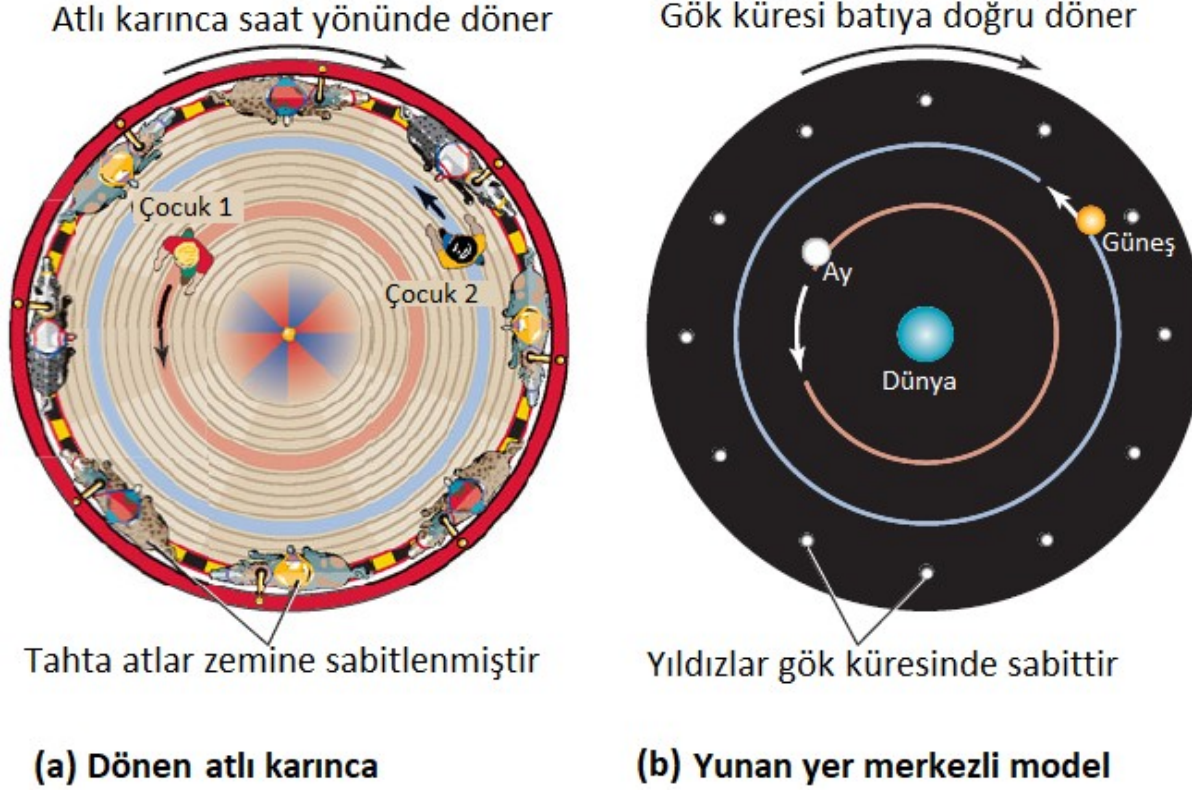


AST121 Astronomiye Giriş  
Kütleçekim ve Gezegenlerin "Dansı"

# ANTİK ASTRONOMİ

## Yer-merkezli Evren Modeli



### Şekil 4-1

Atlı karınca analojisi (a) İki çocuk farklı hızlarda atlı karınca üzerinde hareket etmektedir. (b) Analogik olarak, antik Yunanlar Güneş ve Ay'ın dönen bir gök küresi üzerinde hareket ettiklerini, yıldızların ise gök küresinde sabit olduklarını hayal etmişlerdir. Buna göre Güneş ve Ay gökyüzü boyunca doğudan batıya hareket ederken yıldızlara göre bir geceden diğerine yavaşça doğuya kaymaktadır.



“Doğa matematikle tanımlanabilir.”  
Pythagoras, İÖ 550

“Evren fiziksel yasalar tarafından yönetilir.”  
Aristotle, İÖ 350

Yer-merkezli evren modeli aşağıdaki olguları açıklar;

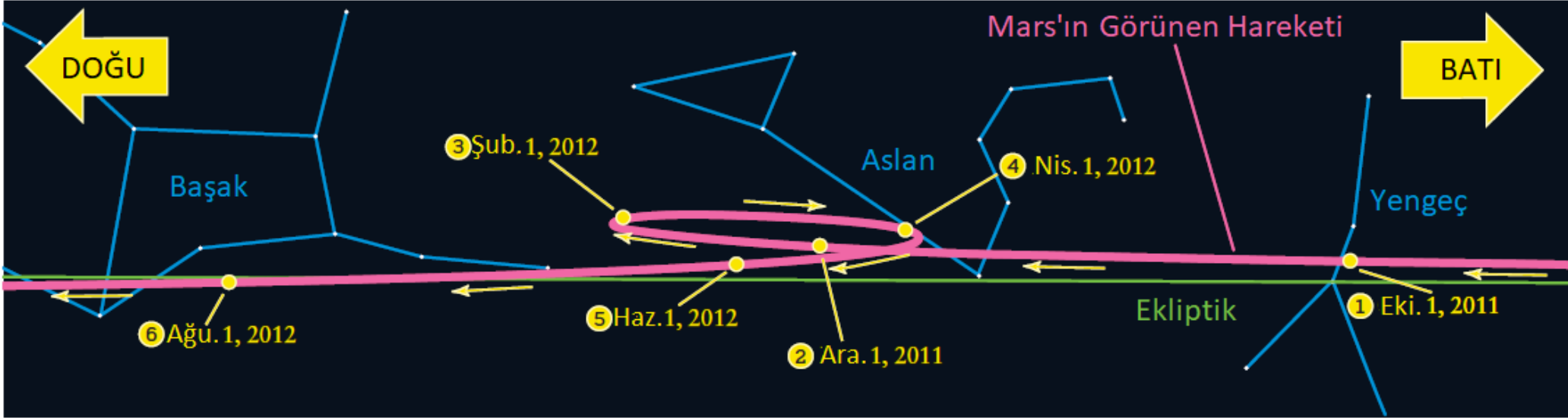
1. Yer-Ay ve Güneş'in görelî büyüklükleri
2. Yer-Ay ve Güneş'in görelî uzaklıkları
3. Tutulmalar

Aşağıdaki olguları ise açıklayamaz:

1. Bazı gök cisimlerinin diğerlerine göre daha hızlı hareketi,
2. Gök cisimlerinin değişen hızlarla hareketi,
3. Bazı gök cisimlerinin gökyüzündeki geri-yönlü hareketi



# Gezegenerin Geri-Yönlü (Retrograd) Hareketi



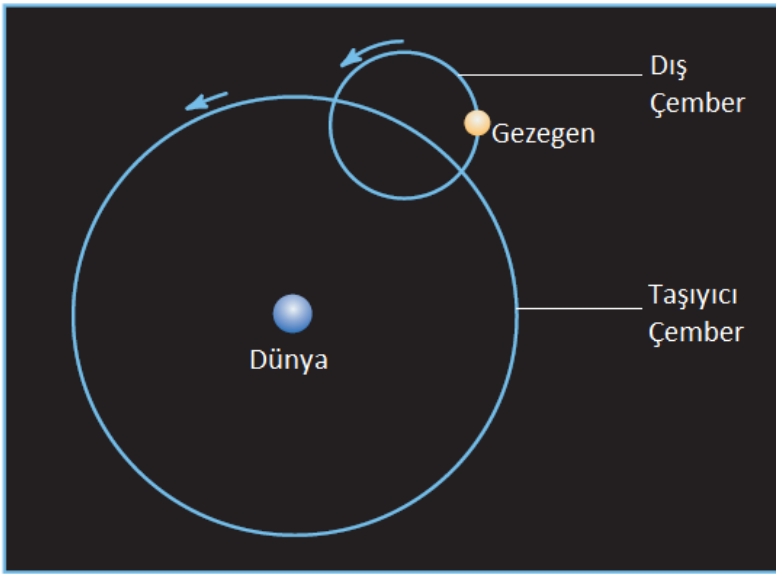
Şekil 4-1

**Mars'ın Görünen Hareketi (2011-2012)** Ekim 2011 ile Ağustos 2012 arasında Mars, zodyak takımyıldızlarından Yengeç, Aslan ve Başak üzerinde hareket edecektir. Mars'ın görünen hareketinin büyük bir kısmı düz olacaktır (batıdan doğuya ya da

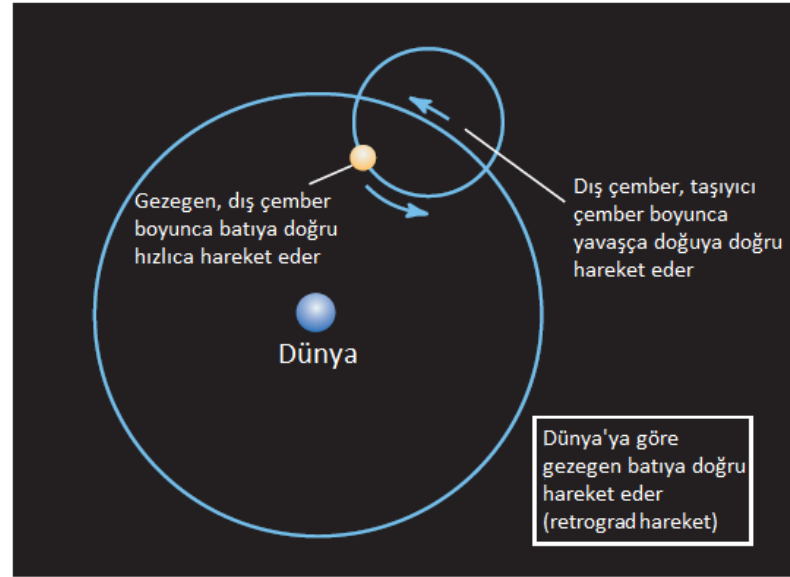
şekilde olduğu gibi sağdan sola) fakat 2011 yılında Şubat - Mart arasında retrogradyönde hareket edecektir. Mars'ın yıldızlara göre olan hızı sabit değildir: gezegen, Ekim 1 ile Aralık 1 arasında Aralık 1 ve Şubat 1 arasına göre daha fazla yol alır.



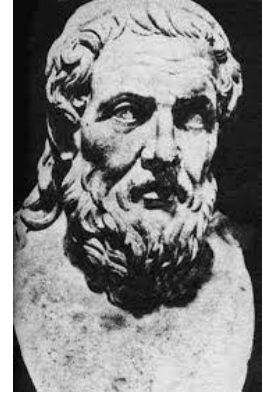
# Dış Çemberlerle (Epicycle) Geri-Yönlü Hareketi Açıklama Çabası



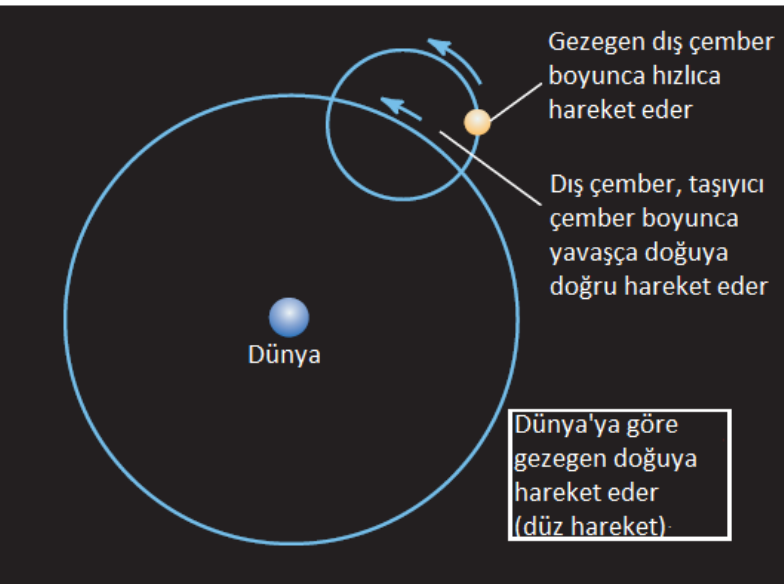
(a) Çembersel hareketlerin kombinasyonu biçiminde modellenen gezegen hareketi



(c) Retrograd hareketin modellenmesi



Perge'li Apollonius  
(İÖ 262-190)



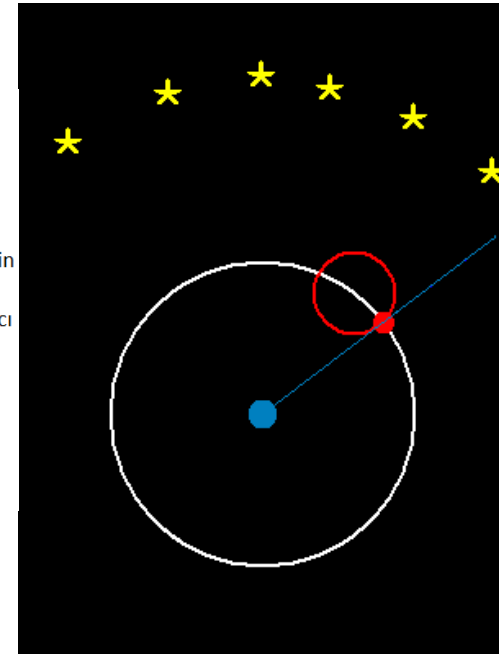
(b) Düz hareketin modellenmesi



Şekil 4-3

Yer Merkezli Modelde Retrograd Hareketin Açıklanması

(a) Antik Yunanlılar her bir gezegenin dış çember üzerinde hareket ettiğini düşünmüştür. Dış çember Dünya merkezli bir çember yörünge üzerinde (taşıyıcı çember) hareket etmektedir. Gezegenin dış çember üzerindeki hareketi, dış çemberin taşıyıcı çember üzerindeki hareketine göre çok daha hızlıdır. (b) Çoğunlukla gezegenin dış çember üzerinde doğuya doğru yaptığı hareket ile dış çemberin taşıyıcı çember üzerindeki doğuya doğru olan hareketi birlikte gözlenmektedir ve bu durumda gezegen, Dünya'dan bakıldığında doğuya doğru düz gidiyormuş gibi görünür. (c) Gezegen taşıyıcı çemberin iç tarafına geldiğinde, dış çember üzerinde batı yönüne doğru hareket eder. Bu hareketin hızı, dış çemberin taşıyıcı çemberdeki hızından daha yüksek olduğundan, Dünya'dan bakıldığında gezegen batıya doğru (retrograd) gidiyormuş gibi görünür.



# Güneş-merkezli Evren Modeli

Her ne kadar Güneş-merkezli bir model yaklaşık 2000 yıl önce Aristarchus tarafından önerilmiş olsa da, bu daha basit (daha az varsayıma dayanan) ve bu nedenle doğru olma olasılığı daha yüksek olan model o zamanlar genel kabul görmemişti!



Nicolas Copernicus (1473 - 1543)

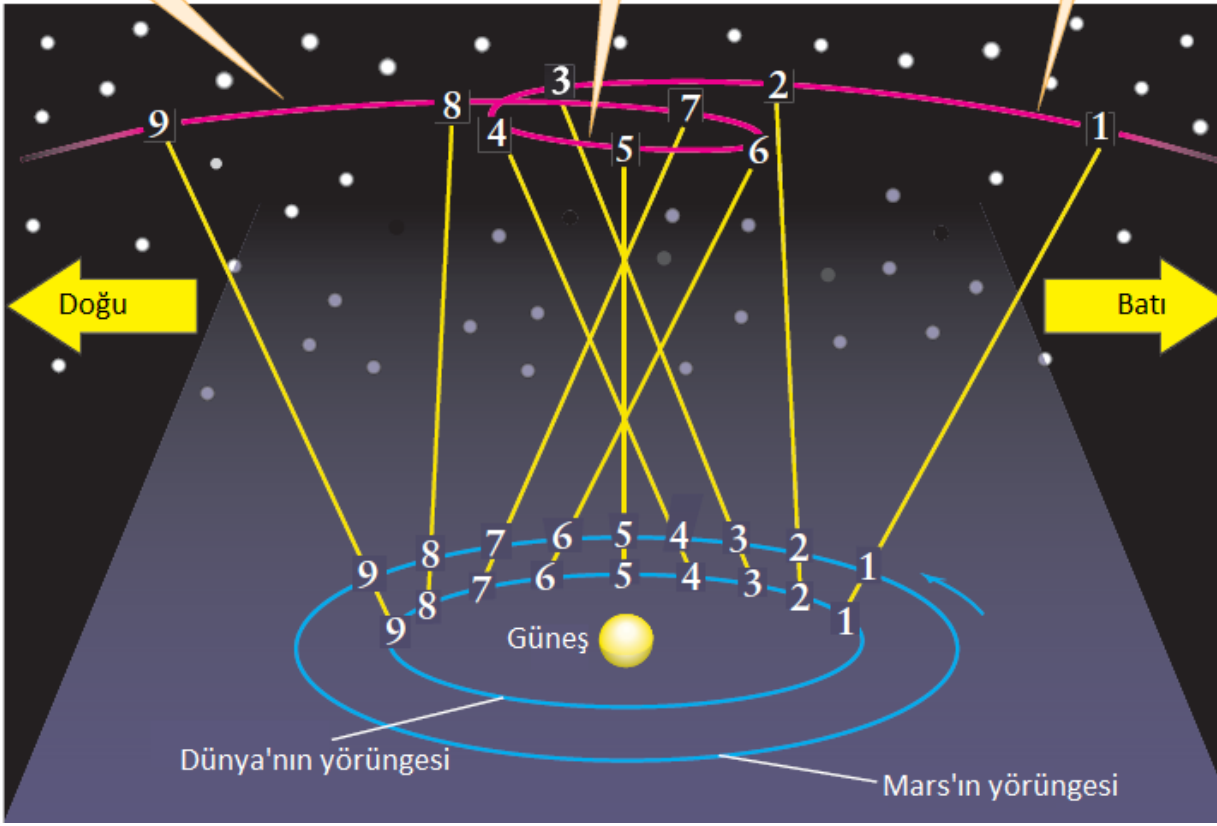


Kopernik'in modeli daha basit, ama çembersel yörüngelere dayandığından gezegenlerin yörüngeleri boyunca hızlarındaki değişiklikleri hesaba katmak için dış çemberlere ihtiyaç duyulan bir modeldi.



# Gezegen Hareketine “Kopernikçi” Yaklaşım

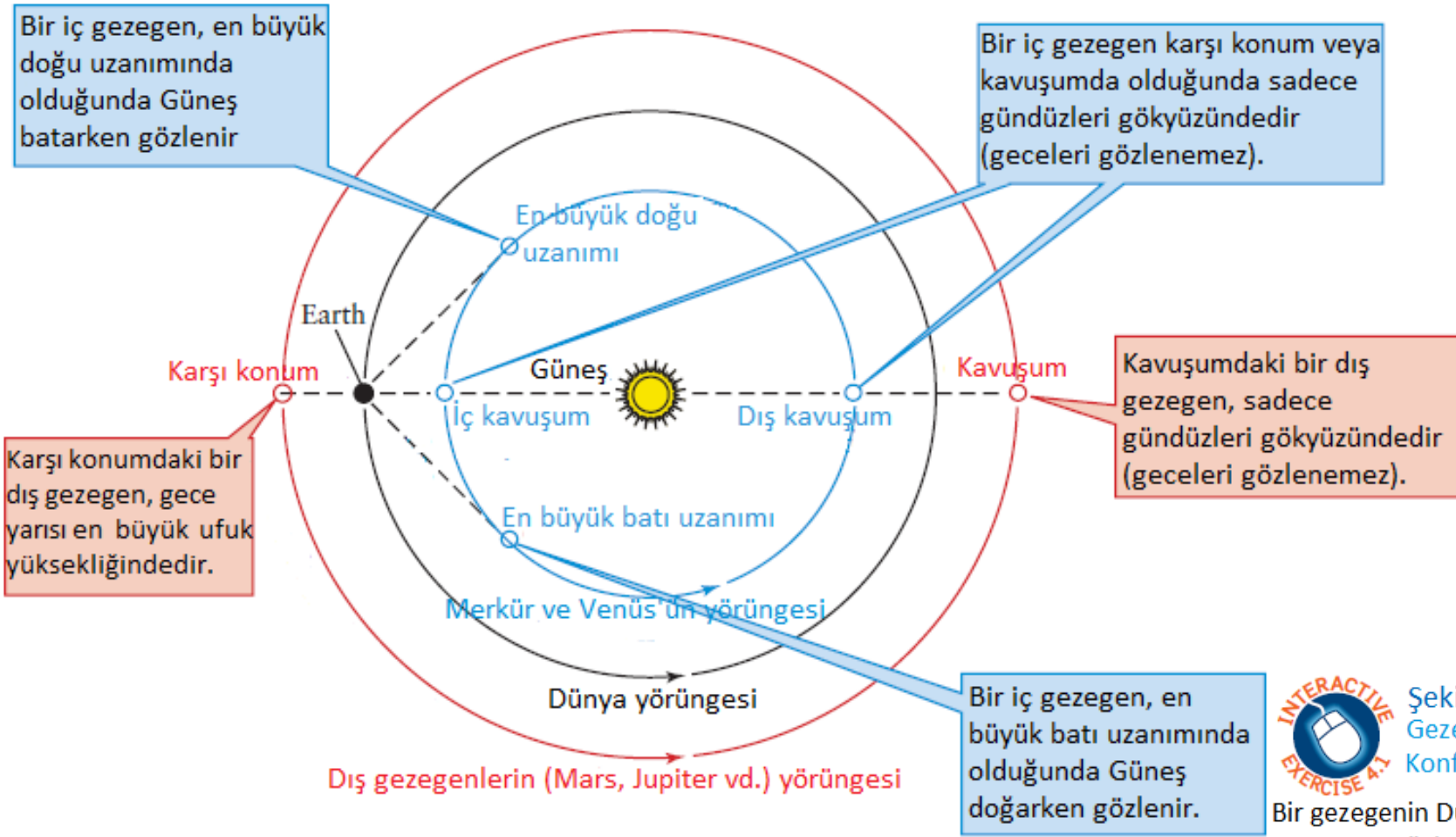
1. İlk noktadan 4. noktaya kadar Mars, Dünya'dan bakıldığında arkaplan yıldızlarına göre doğuya doğru gidiyormuş gibi görünür (düz hareket).
2. Dünya yörüngesinde 4. noktadan 6. noktaya gelerek Mars'ı geçtiğinde, Mars arkaplan yıldızlarına göre batıya doğru gidiyormuş gibi görünür (retrograd hareket).
3. 6. noktadan 9. noktaya kadar Mars tekrar Dünya'dan bakıldığında arkaplan yıldızlarına göre doğuya doğru gidiyormuş gibi görünür (düz hareket).



Şekil 4-5  
Retrograd Hareketin Güneş Merkezli Açıklaması

Aristarkus'un Güneş merkezli modelinde, Dünya ve diğer gezegenler Güneş'in etrafındaki yörüngelerde dolanırlar. Dünya, Güneş'in etrafında Mars'tan daha hızlı dolanır. Bunun bir sonucu olarak, Dünya Mars'ı geçtiğinde Mars birkaç aylığına (4. noktadan 6. noktaya kadar) geride kalır ve arkaplan yıldızlarına doğru hareket ediyormuş gibi görünür.

# Uzanim, Kavusum, Karşikonum

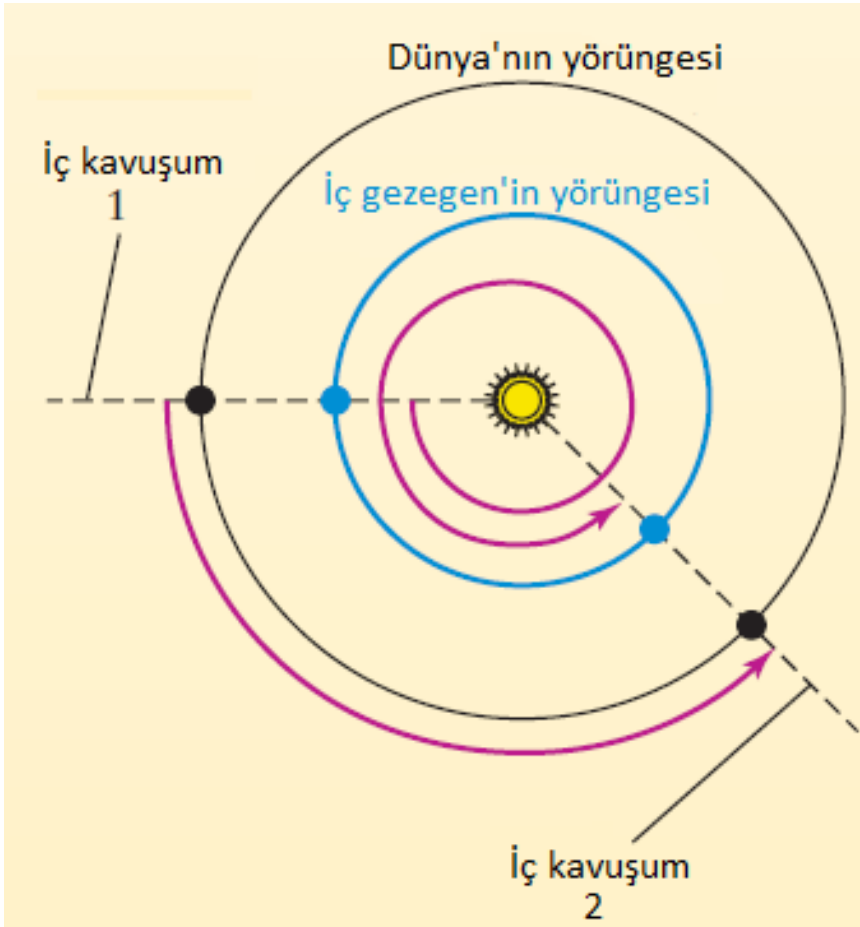


Şekil 4-6  
Gezegenlerin Yörüngeleri ve Konfigürasyonları

Bir gezegenin Dünya'dan bakıldığında nerede ve ne zaman gözleneceği, gezegenin yörünge büyüklüğüne ve yörüngesinde nerede olduğuna bağlıdır. İç gezegenlerin yörüngeleri Dünya'nın yörüngesinden daha küçüktür. Dış gezegenlerin yörüngeleri ise Dünya'nın yörüngesinden daha büyüktür (görselde Güneş sistemine yukarıdan, Dünyanın kuzey kutbuna çok uzak bir noktadan bakılmaktadır).



# YÖRÜNGE (YILDIZIL) ve KAVUŞUM DÖNEMİ



**Kavuşum Dönemi:** Dünya'dan bakıldığında bir gezegen için birbirini takip eden iki özdeş konfigürasyonu (örneğin iki alt kavuşum veya iki karşıtlık) arasında geçen süredir.

**Yıldızıl Dönem:** Gezegenin bir yıldızla göre Güneş etrafındaki bir tam yörüngesini tamamlayarak yörüngesi üzerinde aynı noktaya gelmesi için geçen süre. Bu, bir gezegenin “gerçek” yörünge dönemidir.

Bir iç gezegen yörüngesi üzerinde her gün  $360 / P$  derece açısal yol katedeceğinden, kavuşum dönemi ( $S$ ) boyunca  $360 / P \times S$  yol kateder. Bir sonraki hizalanmaya (iç kavuşum) kadar Dünya'ya bir tur ( $360^\circ$ ) “bindireceğinden” bu açısal yol Dünya'nın katedeceğinden  $360^\circ$  fazla olur.

$$\frac{360}{P} \times S = \frac{360}{E} \times S + 360$$

Denklemin her iki tarafı  $360 \times S$  ile bölünürse;

Bir iç gezegen için:

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{E} + \frac{1}{S}$$

$P$  = iç gezegenin yıldızıl dönemi

$E$  = Dünya'nın yıldızıl dönemi = 1 yıl

$S$  = dış gezegenin sinodik (kavuşum) dönemi

Bir dış gezegen için:

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{E} - \frac{1}{S}$$

$P$  = dış gezegenin yıldızıl dönemi

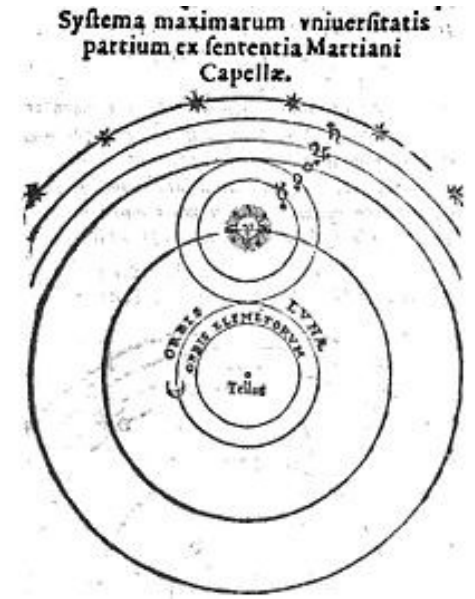
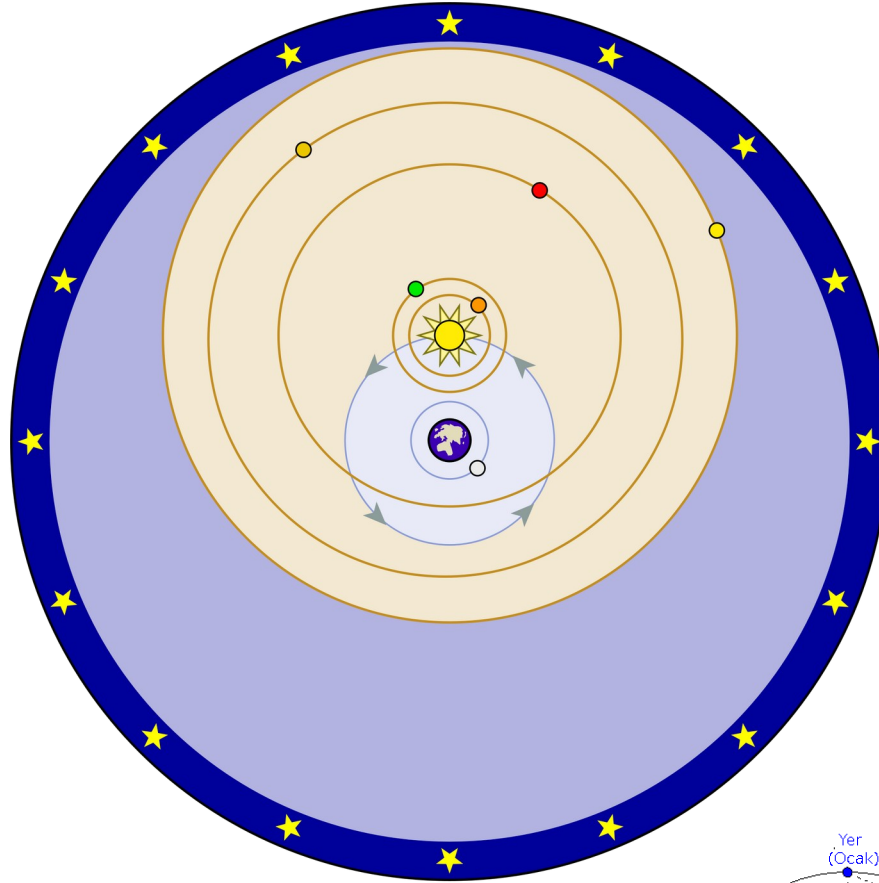
$E$  = Dünya'nın yıldızıl dönemi = 1 yıl

$S$  = dış gezegenin sinodik (kavuşum) dönemi

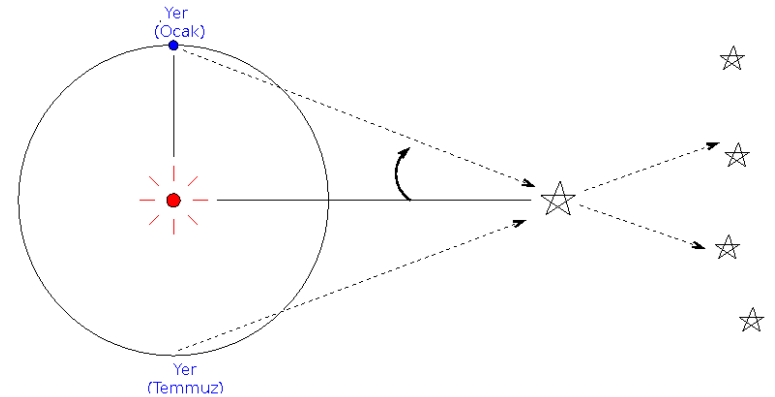
# Tycho Brahe ve “Melez” Evren Modeli



Tycho Brahe (1546-1601)



Eğer her şey Güneş'in etrafında dönüyor olsaydı, gece gökyüzünd yıldızların yer değiştirmelerini gözlemlememiz gerekirdi. Ama biz bu “kaymayı” gözlemiyoruz (bugün “**paralaks**” dediğimiz) → Ancak doğru gözlem aletine sahip olsaydı (teleskop) ve bu ölçümü yapabilseydi, Tycho Brahe de muhtemelen Ay'ın Yer; Venüs ve Mars'ın Güneş'in etrafında dolandığı “melez” modeli önermezdi.

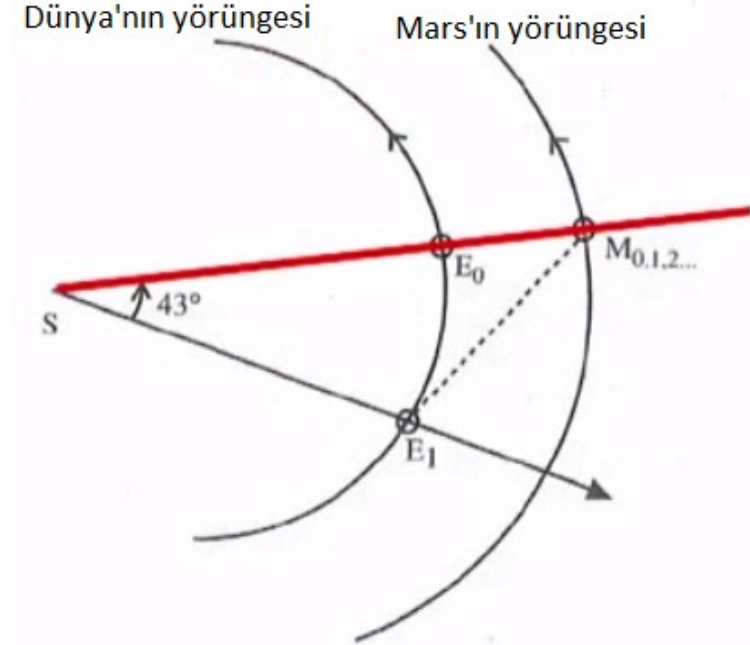




# Johannes Kepler (1571 - 1630)



- ✓ Güneş-merkezli modelde Güneş evrenin merkezinde olup hareket halinde değildir!
- ✓ Kepler gözlemlere Mars'ın bir karşıkonum (Güneş-Yer-Mars dizilimi) (S - E<sub>0</sub> - M<sub>0</sub>). Karşıkonumda bir dış gezegen Yer'e görece yakın, bu nedenle daha parlak ve Güneş battığında doğduğundan tüm gece gözlenebilir.
- ✓ Ardışık iki karşıkonum arasındaki süreden kavuşumu 780 gündür.
- ✓ Kavuşum dönemiyle (S) ile yörünge dönemi arasındaki ilişkiden Mars'ın yörünge dönemi P = 687 gün (1.88 Dünya yılı) olarak kolayca bulunabilir.
- ✓ Bir Mars yılı sonra Mars M<sub>1</sub>, Yer E<sub>1</sub> konumuna geldiğinde uzanım açısı (SE<sub>1</sub>M<sub>1</sub>) gökyüzünden kolaylıkla ölçülebilir (örneğin Güneş batarken Mars'ın ufuk yüksekliğine bakılarak).
- ✓ Bir Mars yılı sonra Yer yörüngesinin üzerinde iki turdan  $2 - 1.88 = 0.12$  oranında az ilerlemiş olacağı için  $E_1SM_1 = 0.12 \times 360 = 43^\circ$  olara belirlenebilir.
- ✓ SE<sub>1</sub>M<sub>1</sub> üçgenini iki açısı belirlenmiş olduğundan E<sub>1</sub>M<sub>1</sub>S açısıyla Yer'in 1 Mars yılı sonraki konumu (Yer (E<sub>1</sub>) ve Mars'ın (M<sub>1</sub>) yörüngeleri üzerindeki konumlar belirlenmiş ve işaretlenmiş olur.
- ✓ Bu gözlemler çeşitli karşıkonum (ya da başka bir konfigürasyon) durumlarında tekrarlanırsa hem Yer'in, hem de dış gezegenin yörüngeleri taranmış ve çizilmiş olur!



Johannes Kepler, “ustası” Tycho Brahe'nin gözlemlerinden ve bu geometrik yöntemden hareketle bazı gezegenlerin (ve Yer'in) yörüngelerini belirleyebilmiştir.

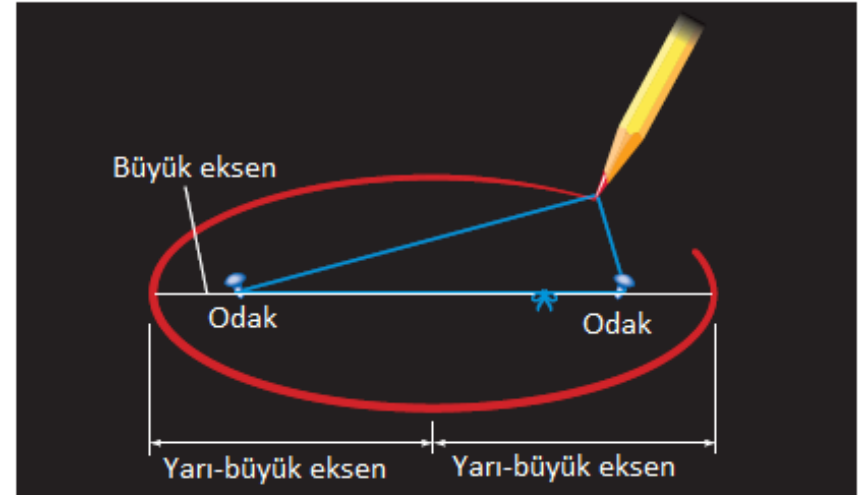
# Kepler Yasaları



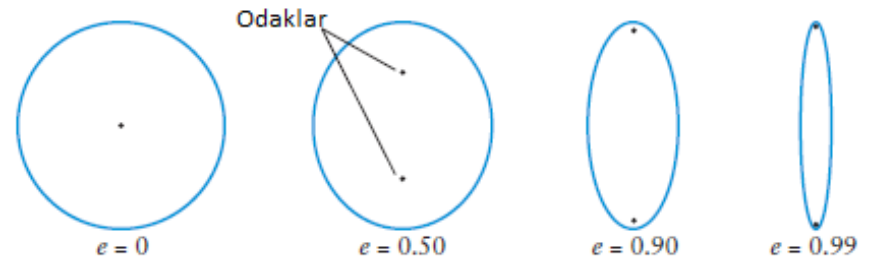
Tycho'nun gözlemlerinden hareketle "çırağı" Kepler, "Gök cisimleri neden şembersel yörüngelerde hareket etmek zorunda olsun ki?" diye düşündü ve geometrik yönteminden hareketle;

## Kepler'in Birinci Yasası:

"Bir gezegenin yörüngesi, odaklarından birinde Güneş'in bulunduğu bir elips şeklindedir"



(a) Bir elipsin geometrisi



(b) Farklı eksantrisiteye (yörünge basıklığı) sahip elipsler

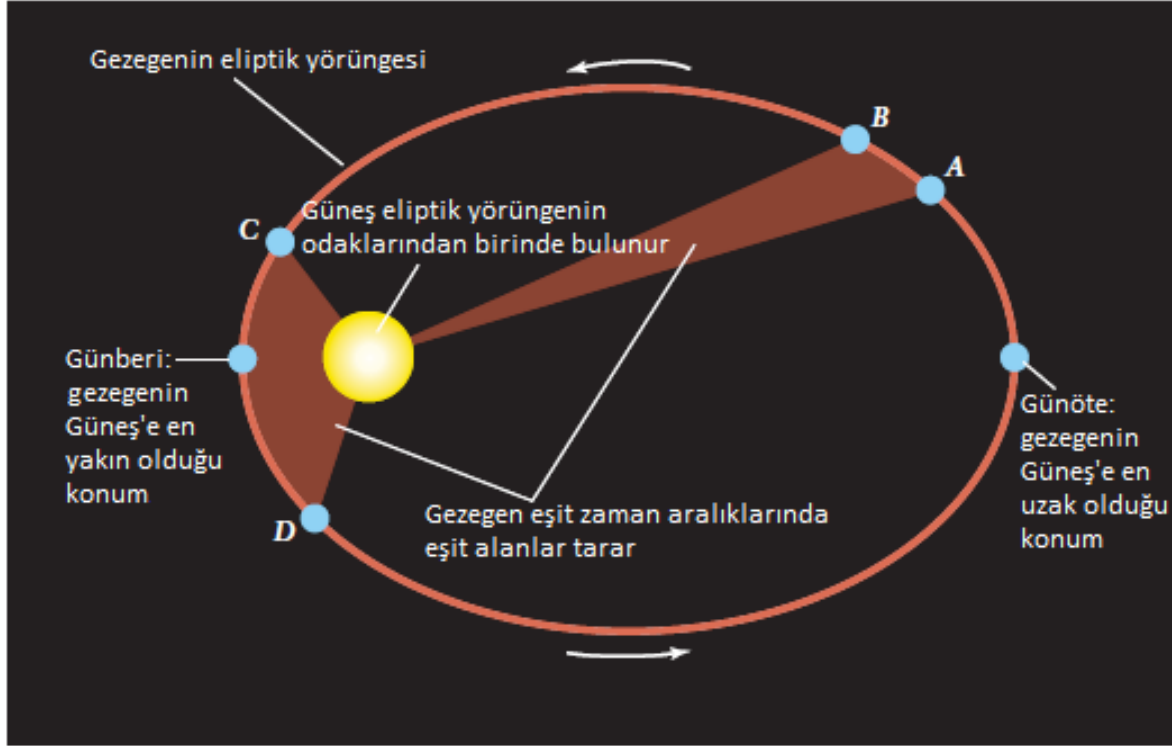
Şekil 4-9

Johannes Kepler (1571-1630) Tycho Brahe'nin detaylı gezegen konumlarını içeren kayıtlarını analiz ederek, Kepler üç genel prensip geliştirmiştir. Bunlara Kepler yasaları denilmektedir ve gezegenlerin Güneş etrafındaki hareketlerini açıklamaktadır. Gezegenlerin yörüngelerinin çembersel değil eliptik olduğunu ilk fark eden Kepler olmuştur. (E. Lessing/Magnum)

Şekil 4-10

Elipsler (a) Elips çizmek için iki raptiyeyi bir ipin uçlarını sabitlemek için kullanın, ardından bir kurşun kalem kullanarak ipi gerin. Eğer ipi gererek kalemi hareket ettirirseniz, kalem elipsin izini çıkarır. Raptiyeler, elipsin iki odak noktasında bulunur. Büyük eksen, elips boyunca en uzun mesafedir; yarı-büyük eksen ise bu mesafenin yarısıdır. (b) Büyük eksenleri aynı olup farklı yörünge basıklığına sahip bir dizi elips. Bir elipsin yörünge basıklığı,  $e = 0$  (çember) ile  $e = 1$ 'in altına kadar (neredeyse düz bir çizgi) herhangi bir değere sahip olabilir.

# Kepler'in İkinci Yasası



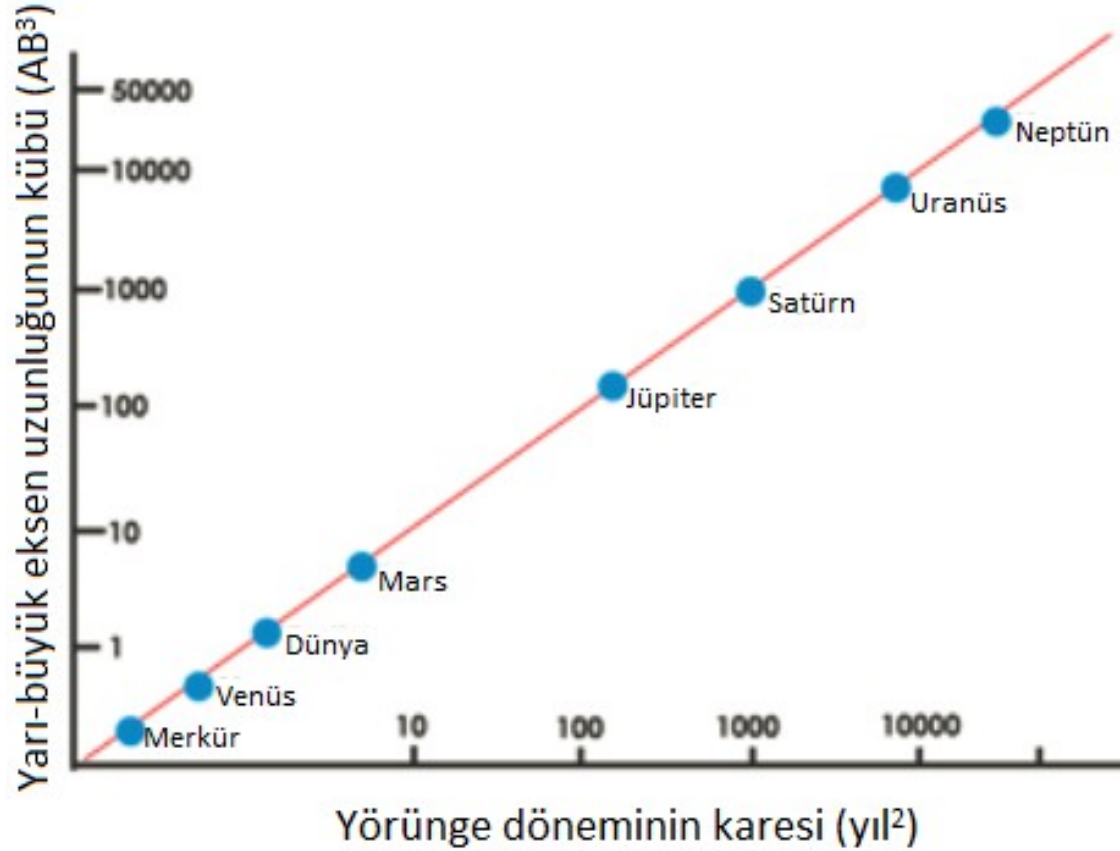
Şekil 4-11

**Kepler'in ilk ve ikinci Yasası** Kepler'in ilk yasanına göre, bir gezegen, Güneş'in bir odak noktasında bulunduğu eliptik bir yörüngede Güneş etrafında döner. İkinci yasanına göre, bir gezegen, Güneş'e en yakın olduğunda (günberide) en hızlı hareket eder ve Güneş'e en uzak olduğunda (günötede) en yavaş hareket eder. Gezegen hareket ettiğinde, gezegeni ve Güneş'i birleştiren hayali bir çizgi, eşit zaman aralıklarında eşit alanları süpürür (A'dan B'ye veya C'den D'ye). Bu yasaları hesaplamalarında kullanarak, Kepler gezegenlerin gözlemlenen hareketleri ile mükemmel bir uyum elde etti.

**Kepler'in İkinci Yasası:** Gezegen ve Güneş'in merkezlerinden geçerek onları birleştiren hayali bir çizgi, yörünge hareketi boyunca eşit zaman aralıklarında eşit alanlar tarar! Bu yasanın doğal sonucu, gezegenin Güneş'e yakın olduğu (en yakın konumu **enberi** (perihel) olarak adlandırılır) sırada daha hızlı, uzak olduğu sırada (en uzak konumu **enöte** (apohel) olarak adlandırılır) daha yavaş hareket ettiğidir.



# Kepler'in Üçüncü Yasası



**Kepler'in Üçüncü Yasası:** Bir gezegenin yıldızıl (gerçek yörünge) periyodunun karesi, yörüngesinin yarı-büyük eksen uzunluğunun küpüyle doğru orantılıdır!

Güneş sistemi gezegenleri için yörünge dönemi (P) Dünya yılı, yarı-büyük eksen uzunluğu (a) Astronomi birimi (AB) cinsinden ifade edilirse bu ilişki:

$$\longrightarrow P^2 = a^3$$

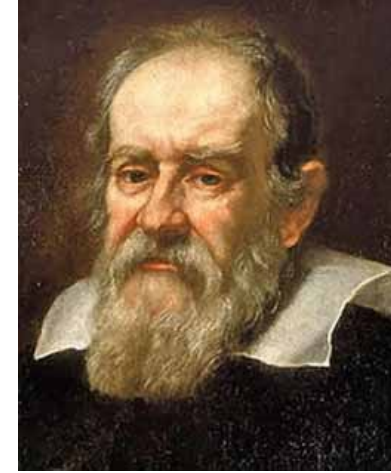
# Galileo Galilei (1564-1642)

## - Galilei'nin Gözlemleri:

- ✓ Ay'ın topoğrafyası (yüksek ve alçak bölgeler)
- ✓ Güneş lekeleri (Güneş yüzeyinde manyetik aktivite kökenli olduğunu bugün bildiğimiz karanlık bölgeler)
- ✓ Venüs'ün evreleri
- ✓ Satürn'ün halkaları
- ✓ Jüpiter'in uyduları
- ✓ Samanyolu'nun kollarındaki yıldızlar

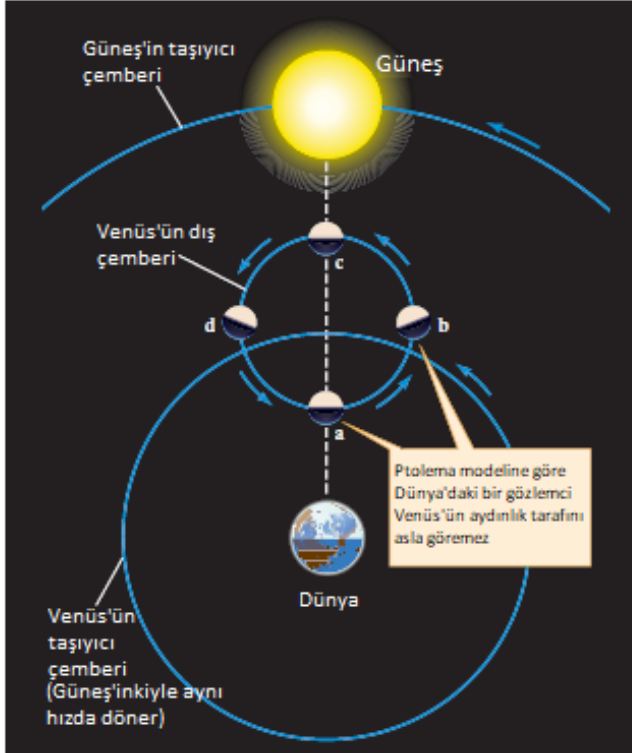
## - Bu gözlemlerin Sonuçları:

- ✓ Güneş-merkezli Evren modeli geçerli (Venüs evre gösteriyor!)
- ✓ Jüpiter'in etrafında dolanan uyduları, o zaman yaygın inancın aksine herşeyin Yer'in etrafında dolanmadığını ispatı!
- ✓ Jüpiter sistemi, tıpkı Güneş Sistemi gibi özünde Kopernikçi olan Kepler'in bakış açısını doğruluyor ve yasalarına da uyuyor!
- ✓ Ay ve diğer gezegenler mükemmel birer küre değilller!
- ✓ Katolik kilisesinin inançları ile çelişen bu gözlemler ve sonuçları nedeniyle Galilei ömrünün son yıllarını ev hapsinde geçirmiştir. ("E pur si muove")



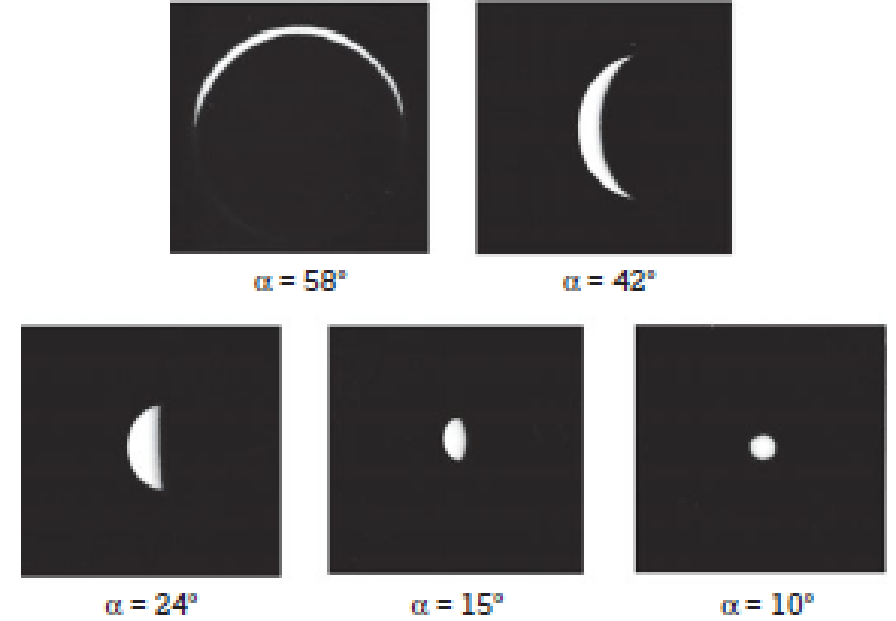
Galilei teleskobu icat eden kişi (Hans Lippershey) olmayıp, onu gökyüzündeki cisimlerin gözlemleri için kullanıp bu gözlemleri kaydeden ilk kişidir (1609).

# Venüs'ün Evreleri



Şekil 4-15

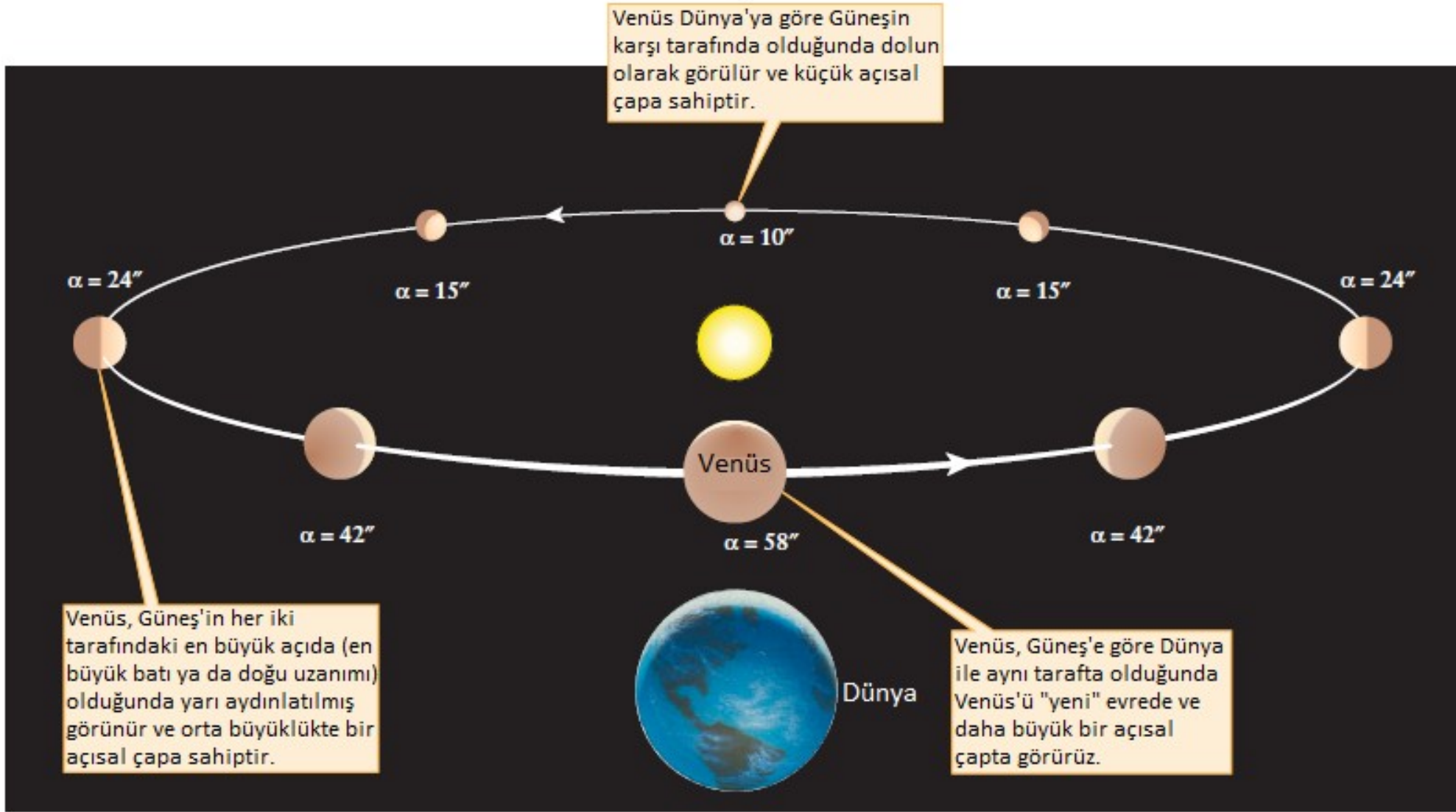
**Ptolema Modeline Göre Venüs'ün Görünüşü** Ptolema modelinde, Venüs'ün ve Güneş'in taşıyıcı çemberleri birlikte döner; Venüs'ün dış çemberi, Güneş ve Dünya'yı birbirine bağlayan bir çizgi üzerinde merkezlenmiştir (kesikli çizgi ile gösterilmiştir). Bu modelde, Dünya üzerindeki bir gözlemci Venüs'ü asla yarıdan fazla aydınlatılmış görmeyecektir. (a ve c konumlarında Venüs, "yeni" evrede görünür; b ve d konumlarında bir hilal gibi görünür. Ay'ın evrelerini gösteren Şekil 3-2 ile karşılaştırınız.) Galileo, Venüs'ü neredeyse tamamen aydınlatılmış evrelerde gördüğü için Ptolema modelinin yanlış olması gerektiği sonucuna varmıştır.



Şekil 4-13 R I V U X G

**Ay'ın evreleri** Bu fotoğraf serisi, Venüs'ün yörüngesi boyunca hareket ettiğinde görünümünün nasıl değiştiğini göstermektedir. Her görünümün altındaki sayı ( $\alpha$ ), gezegenin yay saniyesi cinsinden açısal çapını göstermektedir. Venüs, hilal olduğunda en büyük açısal çapa sahiptir ve şişkin (neredeyse dolun) olduğunda en küçük açısal çapa sahiptir. (New Mexico Devlet Üniversitesi Gözlemevi)





Şekil 4-14

Venüs'ün Görünümündeki Değişimin Güneş Merkezli Model ile Açıklanması Güneş merkezli modelde Dünya ve Venüs

Güneş'in etrafında dönerler. Bu model Venüs'ün görünümündeki değişime doğal bir açıklama sağlar.

# Jüpiter'in Uyduları

Observations Jovianae  
1610

2. Şubat Mart H. 12	○ **
30. Mart	** ○ *
2. Nisan	○ ** *
3. Mart	○ * *
3. Ho. 5.	* ○ *
4. Mart	* ○ **
6. Mart	** ○ *
8. Mart H. 13.	* * * ○
10. Mart	* * * ○ *
11.	* * ○ *
12. H. 4 uyarı	* ○ *
13. Mart	* ** ○ *
14. Kasım	* * * ○ *

Şekil 4-17

Jüpiter'in Uydularının İlk Gözlemleri 1610'da Galileo, bir geceden diğerine Jüpiter civarında ileri geri hareket eden dört "yıldız" keşfetti. Bu dört yıldız, kendi Ay'ımızın Dünya etrafında döndüğü gibi, Jüpiter'in etrafında dönen dört uydusu olduğuna karar verdi. Bu çizim, 1620'de Cizvit gözlemcilerinin ardışık gecelerde yaptığı notları göstermektedir. Jüpiter daire ile, uyduları ise yıldız ile gösterilmiştir. 13. çizim ile Şekil 4-16'daki fotoğrafı karşılaştırın. (Yerkes Gözlemevi)



Şekil 4-16 I V U X G

Jupiter ve En Büyük Uyduları Amatör bir astronomun küçük bir teleskopla çektiği bu fotoğraf, Galileo uydularını ve fazla pozlanmış Jüpiter'i göstermektedir. Her bir uydu, çıplak gözle görülebilecek kadar parlaktır ancak Jüpiter'in parıltısından dolayı çıplak gözle görülemez.

# Newton Yasaları



## Newton'ın Birinci Yasası (Eylemsizlik):

“Bir cisim, üzerine net bir dış kuvvet uygulanmadığı sürece duruyorsa durmaya, hareket halindeyse sabit bir hızla hareketine devam eder.”

## Newton'ın İkinci Yasası ( $F = ma$ ):

“Bir cismin ivmesi, cisme etki eden net kuvvetle orantılıdır.”

## Newton'ın Üçüncü Yasası (Etki-Tepki):

“Bir cisim diğerine net bir kuvvet uygularsa, ikinci cisim de birinciye bu kuvvete eşit ve zıt bir kuvvet uygular.”



Şekil 4-18

Isaac Newton (1642-1727) Isaac Newton, geliştirdiği matematiksel teknikleri kullanarak evrensel çekim yasasını

formüle etti ve gezegenlerin Güneş etrafındaki hareketini basit mekanik kurallara göre olduğunu gösterdi.



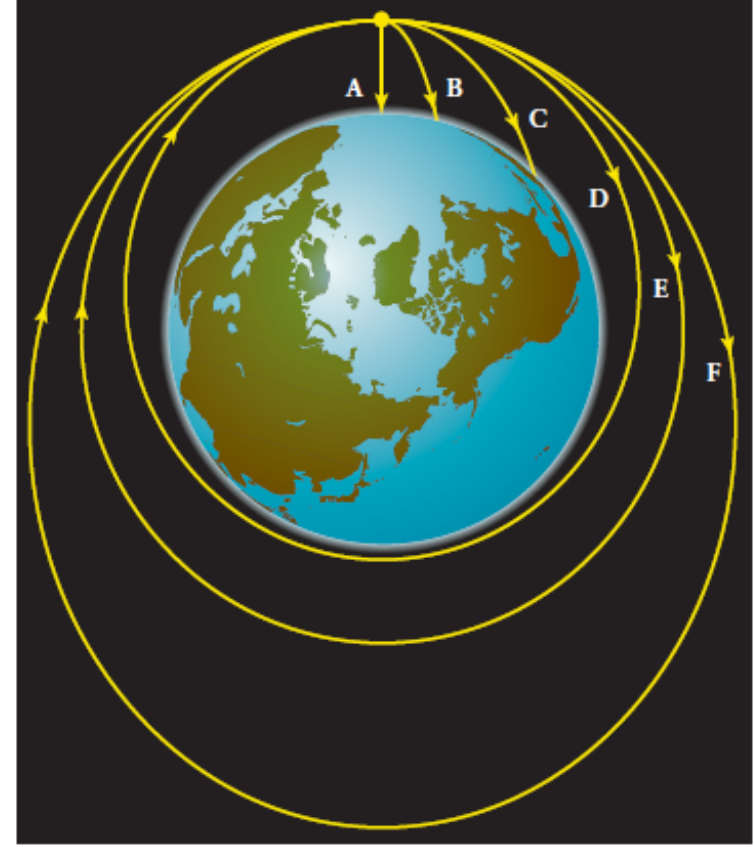
# Newton'ın Evrensel Çekim Yasası

$$F = G \frac{M_1 M_2}{r^2}$$

F: iki cisim arasındaki kütleçekim kuvveti,  
G: evrensel çekim sabiti ( $6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 / \text{kg s}^2$ )  
 $M_1, M_2$  : cisimlerin kütleleri,  
r : aralarındaki uzaklık

$$a^3 = G \frac{(M_1 + M_2)}{4 \pi^2} P^2$$

a, bir gezegenin yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu; P, yörünge dönemini göstermek üzere Kepler'in üçüncü yasasının Newton formu. İfadenin türetilişi bu dersin kapsamı dışında olup; Güneş sistemi gezegenlerinin kütlelerinin Güneş'ten çok küçük olduğu varsayımı ( $M_2 \ll M_1$ ) altında ve a (AB), P (yıl) biriminde alındığında  $a^3 = P^2$  ile özdeştir (gösteriniz!).



Şekil 4-20

**Yörüngelerin Açıklaması** Eğer bir top, yeryüzünün yüksek bir noktasından bırakılırsa, düz bir çizgi boyunca aşağı

düşer (A). Eğer top, yatay bir hızla atılırsa, yere çarpmadan önce kavisli bir yol izler (B, C). Eğer doğru bir hızla atılırsa (E), top dairesel bir yörüngeye girer; topun yolu kıvrılır ancak hiçbir zaman Dünya'nın yüzeyine yaklaşmaz. Top, dairesel bir yörünge için gereken hızdan biraz daha az (D) veya biraz daha fazla (F) hızla atılırsa, topun yörüngesi elips olur.

# Gelgit (Medcezir ya da Tedirginlik) Kuvveti



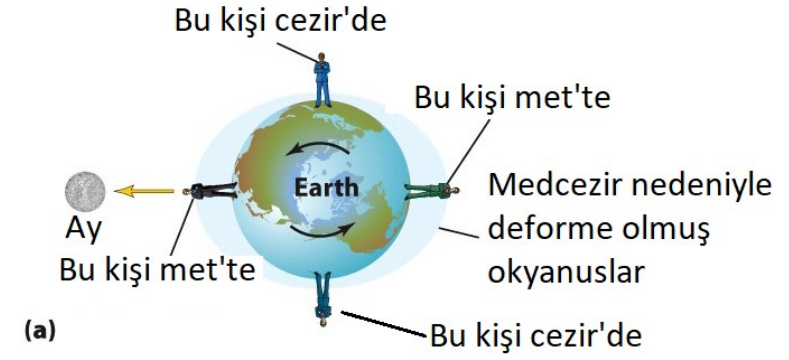
(a)



(b)

Şekil 4-27

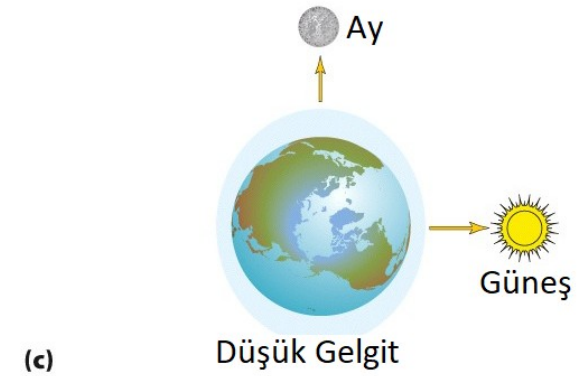
Universe, Onuncu Baskı



(a)



(b)

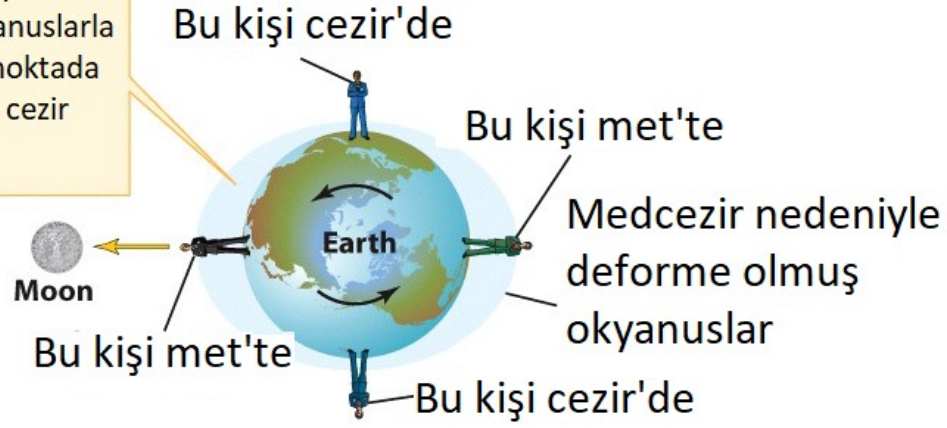


(c)

Şekil 4-28

Universe, Onuncu Baskı

Dünya gelgit nedeniyle deforme olmuş okyanuslarla döndükçe, belli bir noktada günde 2 kez med ve cezir gerçekleşir.



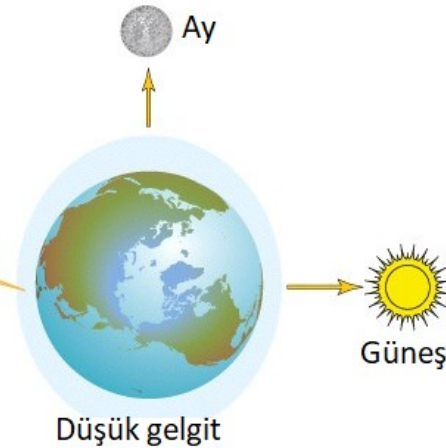
(a)

En büyük deformasyon (bahar gelgiti) Güneş, Ay ve Dünya hizalandığında olur. Bu durumda Güneş'in ve Ay'ın gelgit kuvveti birbirini güçlendirir.



(b)

Deformasyonun en az olduğu (düşük gelgit) durumda Güneş, Dünya ve Ay bir dik açı oluşturur ve Güneş ile Ay'ın gelgit etkisi birbirini kısmen sönümler.



(c)

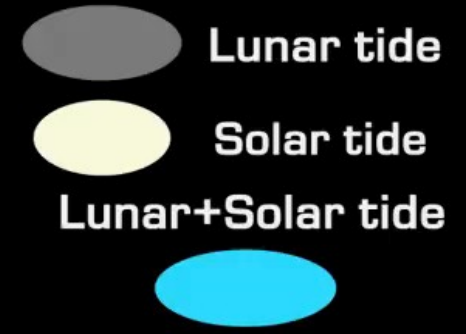
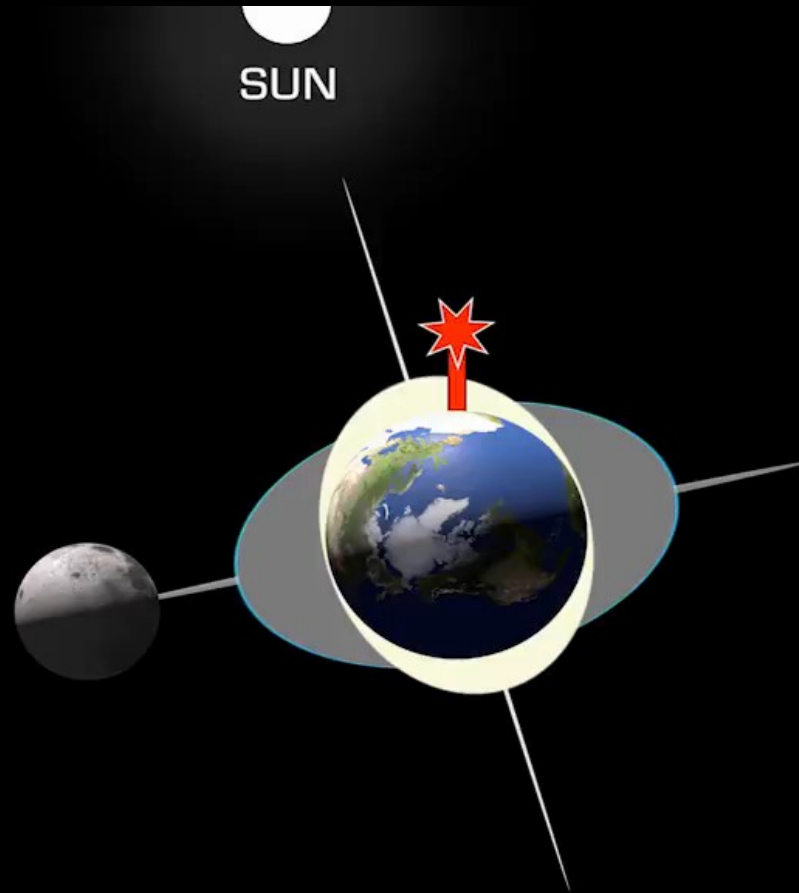
Şekil 4-28

Universe, Onuncu Baskı



# TIDES

## NEAP TIDES



Tidal force balance on Earth



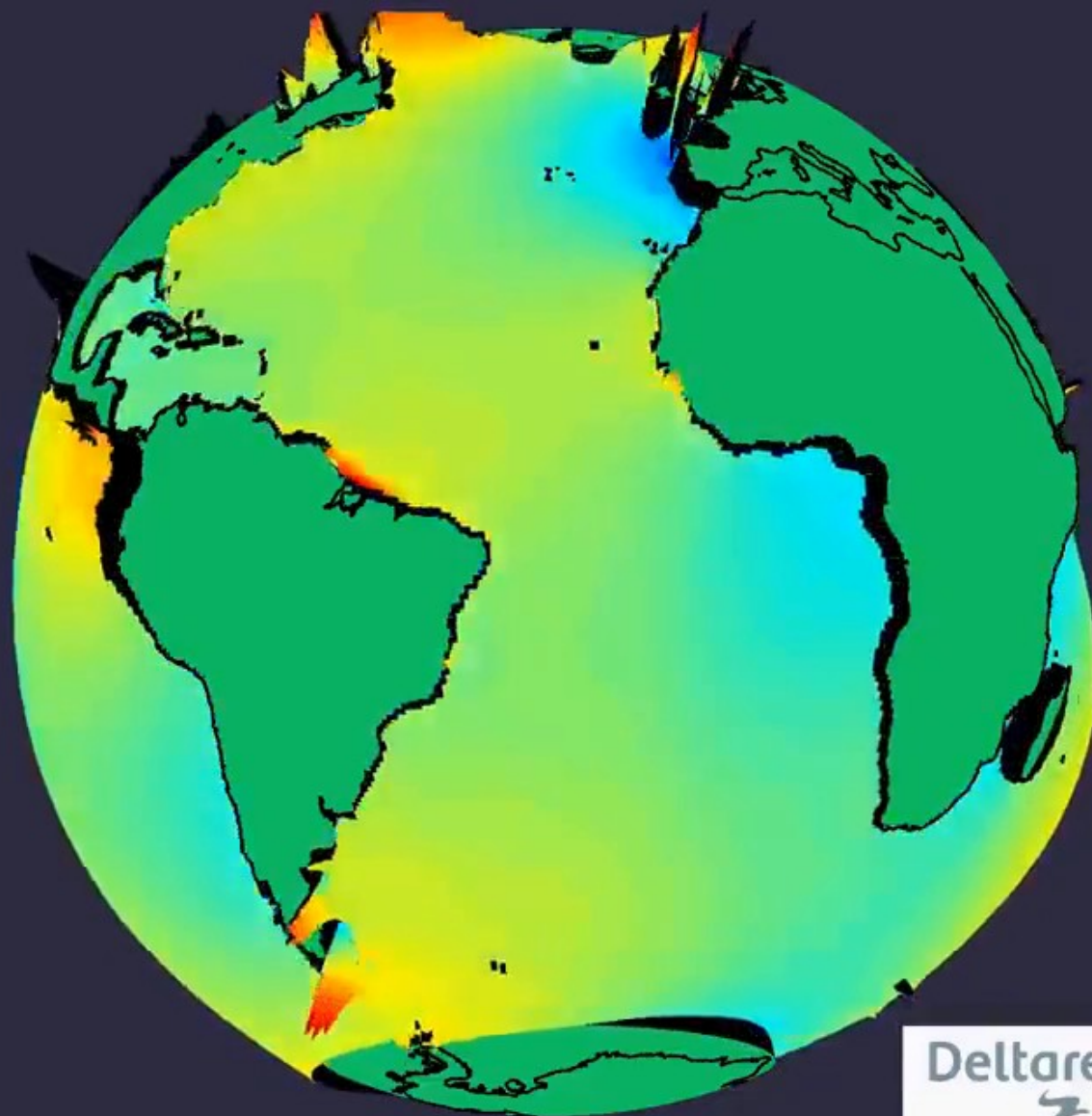
 Low Tide

2020 APR-01 11:15UT

Not to scale

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

James O'Donoghue @PhysicsJ  
with NASA imagery & data



# Alıştırma Soruları

- 1) Bir küçük gezegen (asteroid) yörüngesi üzerinde 2010 yılı boyunca  $6,3 \text{ AU}^2$ 'lik bir alanı taradığına göre 2010 yılından bu yana ne kadar alan taramıştır?
- 2) Bir uzay aracının Güneş etrafındaki yörüngesinin enberi (günberi) mesafesi  $0,1 \text{ AB}$ , enöte (günöte) mesafesi ise  $0,4 \text{ AB}$ 'dur. Uzay aracının yörüngesinin yarı-büyük eksen uzunluğunu ve yörünge dönemini sırasıyla  $\text{AB}$  ve Dünya yılı biriminde bulunuz.
- 3) Merkür'ün sinodik (kavuşum) dönemi  $115,88$  Dünya gündür. Merkür'ün yörünge dönemini Dünya günü cinsinden hesaplayınız.
- 4) 2006'da Merkür en büyük batı uzanımında 8 Nisan, 7 Ağustos ve 25 Kasım'da bulundu. En büyük doğu uzanımında ise 24 Şubat, 20 Haziran ve 17 Ekim'de bulunduğuna göre Merkür'ün doğudan batı uzanımına geçişi mi yoksa tam tersi mi daha uzun sürer?
- 5) Dünyanın Ay'a uyguladığı ve Güneş'in Ay'a uyguladığı çekim kuvvetini (ayrı ayrı) hesaplayınız. Gerekli referans kütle ve uzaklık değerlerini güvenilir bir kitap ya da internet kaynağından (referans vererek) doğru birimde olmak kaydıyla alabilirsiniz.. Bu iki kuvveti karşılaştırdığınızda sizce Ay hangi cismin etrafında dolmalıdır?
- 6) Mars ve Jüpiter arasında yeni keşfedilmiş bir asteroidin (küçük gezegenin), sinodik periyodu  $1,25$  yıl olsun. Bu asteroidin yörünge dönemini ve çembersel bir yörünge üzerinde dolandığı varsayımıyla Güneş'e olan uzaklığını bulunuz.
- 7) Bir uydunun, dönmekte olan Dünya üzerinde her zaman tam olarak aynı nokta üzerinde kalması için sahip olması gereken yörüngeye "yer-durağan" (geostationary) yörünge adı verilir. (a) Bu yörünge'nin yıldız dönemi nedir? (b) Böyle bir uydunun Dünya'nın merkezinden ne kadar uzağa yerleştirilmesi gerekir? (İpucu: Kepler'in üçüncü yasasının Newton formunu kullanınız.) (c) Yörünge'nin neden Dünya'nın ekvator düzleminde olması gerektiğini açıklayınız.