

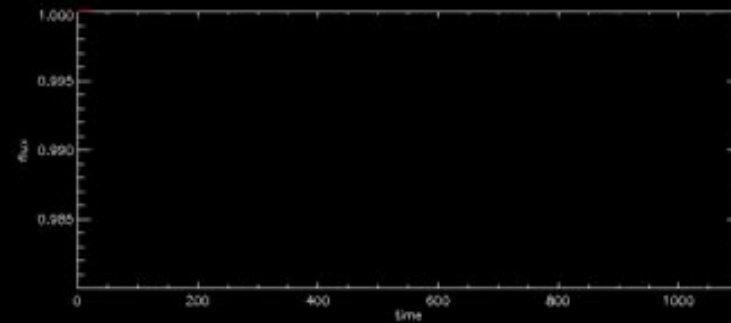
AST413

Gezegen Sistemleri  
ve Oluşumu

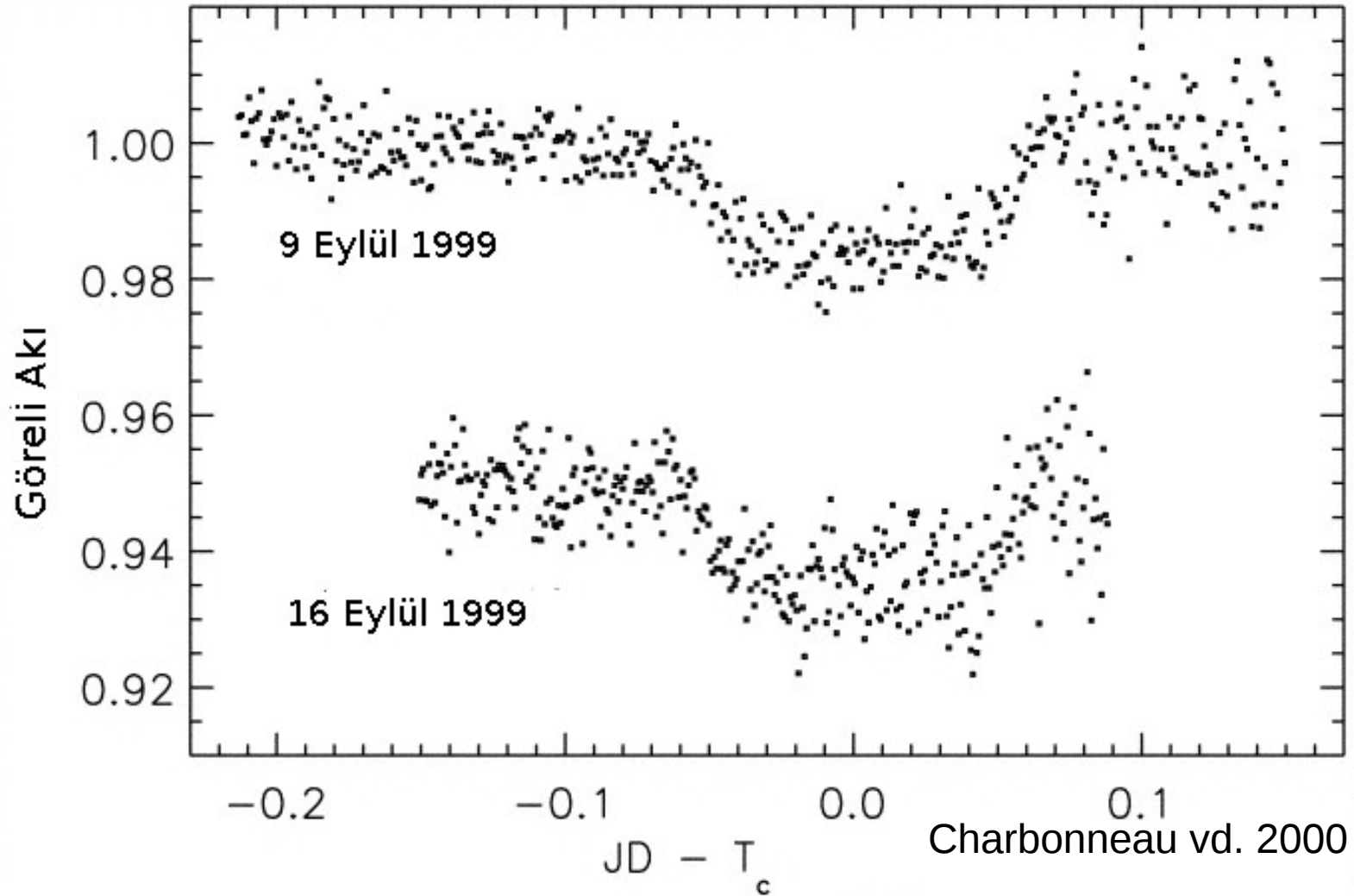
Ders 4a : Geçiş Yöntemi - I

# Geçiş Yöntemi

HDI Intensitygram: 2000.05.21\_08-18

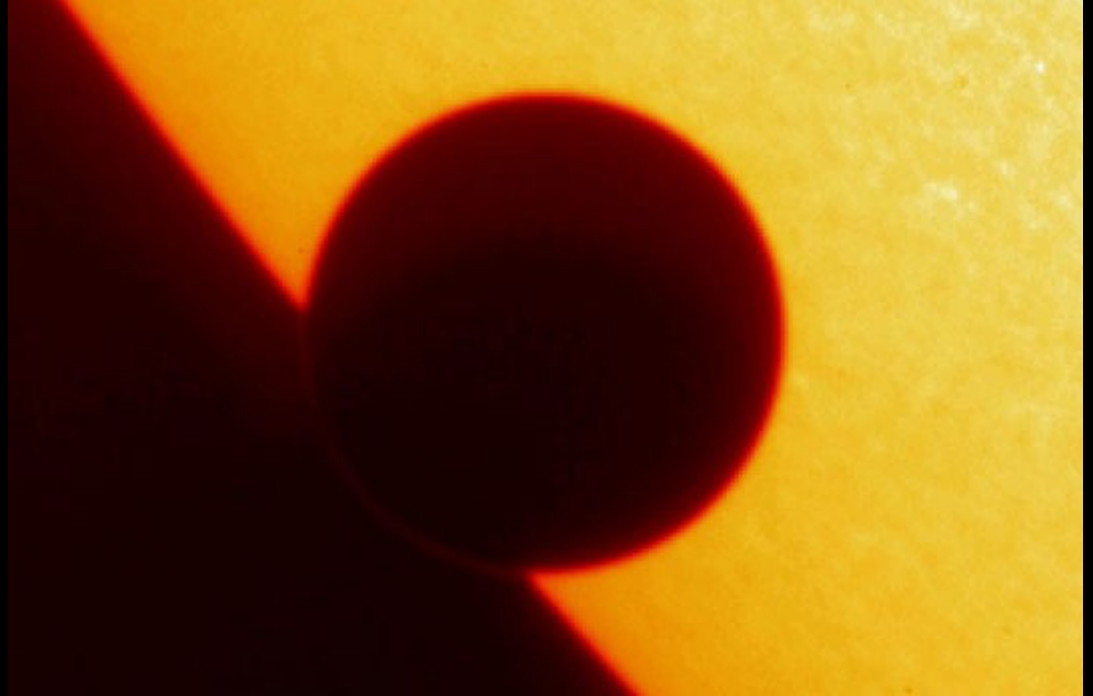


# HD 209458 b



2000 yılında David Charbonneau dikine hız yöntemiyle keşfedilmiş HD 209458 b'nin bir geçişini gözledi. Bu ilk gezegen geçiş gözlemidir. Charbonneau, cismin yörünge parametrelerini dikine hızdan bildiği için teleskobunu yapıyorsa geçişini gözlemek üzere ne zaman cisme doğrultması gerektiğini biliyordu. Ancak, gezegenin gözlemcyle arasından geçiş yapmak gibi bir zorunluluğu da yoktur.

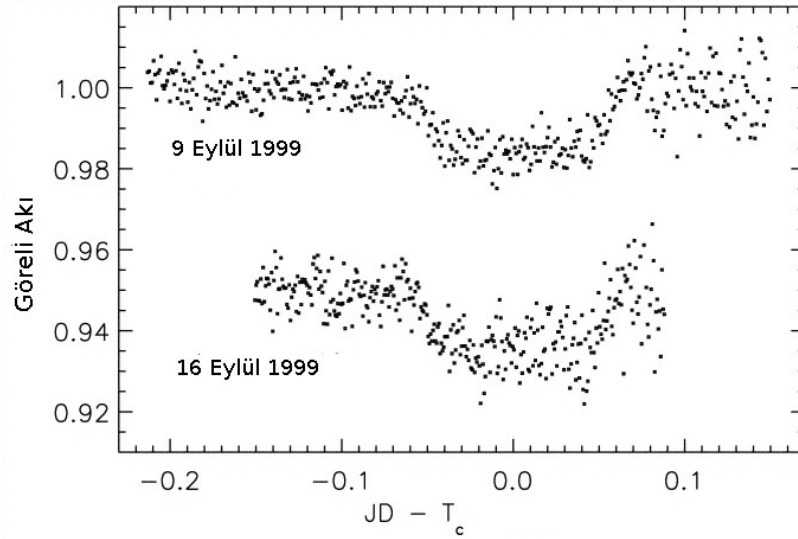
# Venüs GeçiŖi



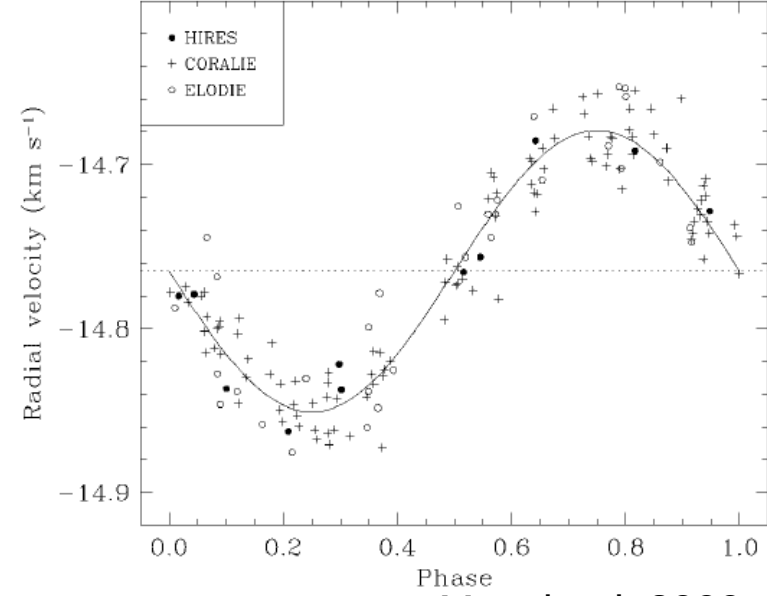
Venüs örneğinde gördüğümüz gibi gezegen yıldızın önünden geçerken, yıldızın ışığı gezegenin (varsa) atmosferinin içinden geçerek bize ulaşır. Bu da -ideal durumda- gezegenin atmosferini çalışmamıza olanak sağlayabilir.

# Sıcak Jüpiterler Gerçekten Var!

51 Peg b keşfinden sonra sıcak Jüpiterlerin (yıldızına 1/20 AB'den daha yakın dev gaz gezegenler) yıldızlarına bu kadar yakın oluşup oluşamayacakları, sistemin başka bir yerinden göç etmiş olabileme olasılıkları hatta var olup olmadıkları uzun süre tartışıldı. Ancak bu cisimlerin yarıçaplarının ( $R_p$ ) büyük olması ve yıldızlarına yakınlıkları ( $a$ ), daha büyük geçiş ışık değişim genliği ve daha kısa geçiş dönemi nedeniyle onların geçiş yöntemiyle keşfedilme olasılıklarını da arttırdığından, bu yöntemle diğer gezegenlere göre daha kolay keşfedilmelerini de sağladı. Dikine hız tekniğiyle keşfedilen HD 209458b, geçiş de gösteriyordu ve dikine hız ölçümleriyle, geçiş gözlemleri birlikte değerlendirildiğinde bu sıcak Jüpiter türü gezegenin gerçekten var olduğu kanıtlanmış oldu!



Charbonneau vd. 2000



Mazeh vd. 2000

# 2-Cisim Problemi

Gezegenler için hareket denklemini hatırlayalım

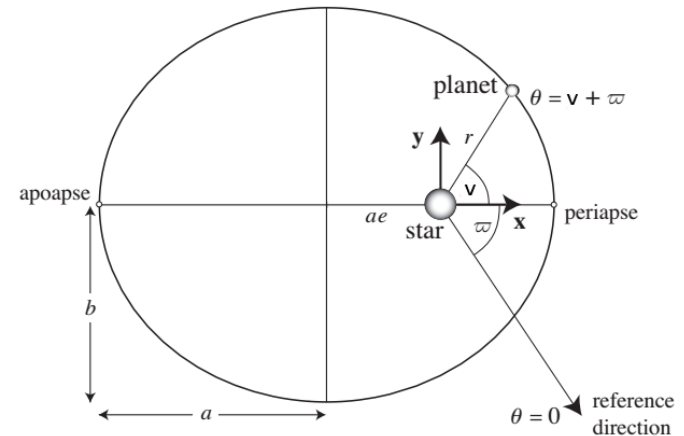
$$\ddot{\vec{r}} + G \frac{m_1 + m_2}{r^3} \vec{r} = 0$$

Hareket denkleminde yola çıkarak gezegenin hareketinin bir elips üzerinde olduğunu (Kepler 1. Yasa) gösterdik. Gezegenle yıldız arasındaki uzaklık:

$$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos(\nu)}$$

Denklemin çözümünde gelen sabitlerin geometrik anlamı:

- a**: Elipsin yarı-büyük eksen uzunluğu
- e**: Elipsin dış merkezliliği
- $\nu$** : Gezegenin yörüngesinin enberi noktasına açısal uzaklığı (gerçek anomali)



# Problemi 3-boyutta ele alırsak:

Kartezyen koordinat sisteminde:

$$X = r \cos(\omega + \nu) \cos(\Omega) - \sin(\Omega) \sin(\omega + \nu) \cos(i)$$

$$Y = r \cos(\omega + \nu) \sin(\Omega) + \cos(\Omega) \sin(\omega + \nu) \cos(i)$$

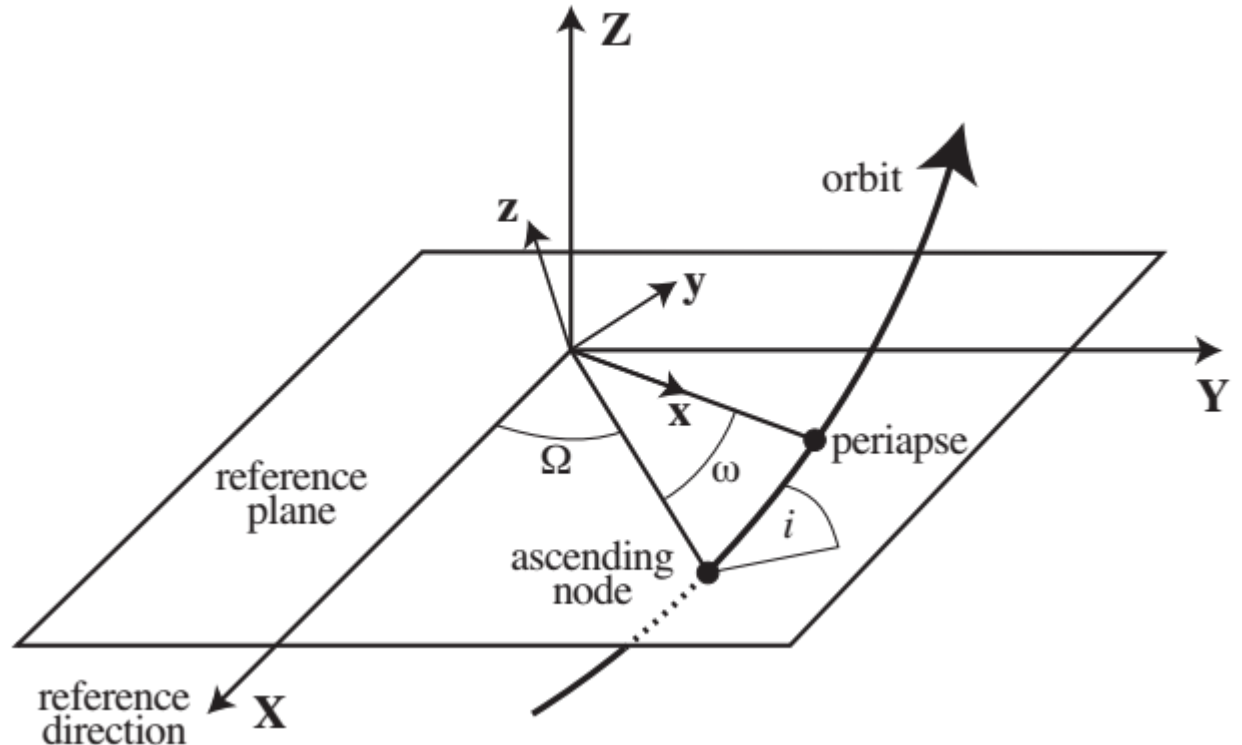
$$Z = r \sin(\omega + \nu) \sin(i)$$

Referans yön için düğümler doğrultusunun özel bir durumunu ( $\Omega = 180^\circ$ ) seçmemizde bir sakınca yoktur.

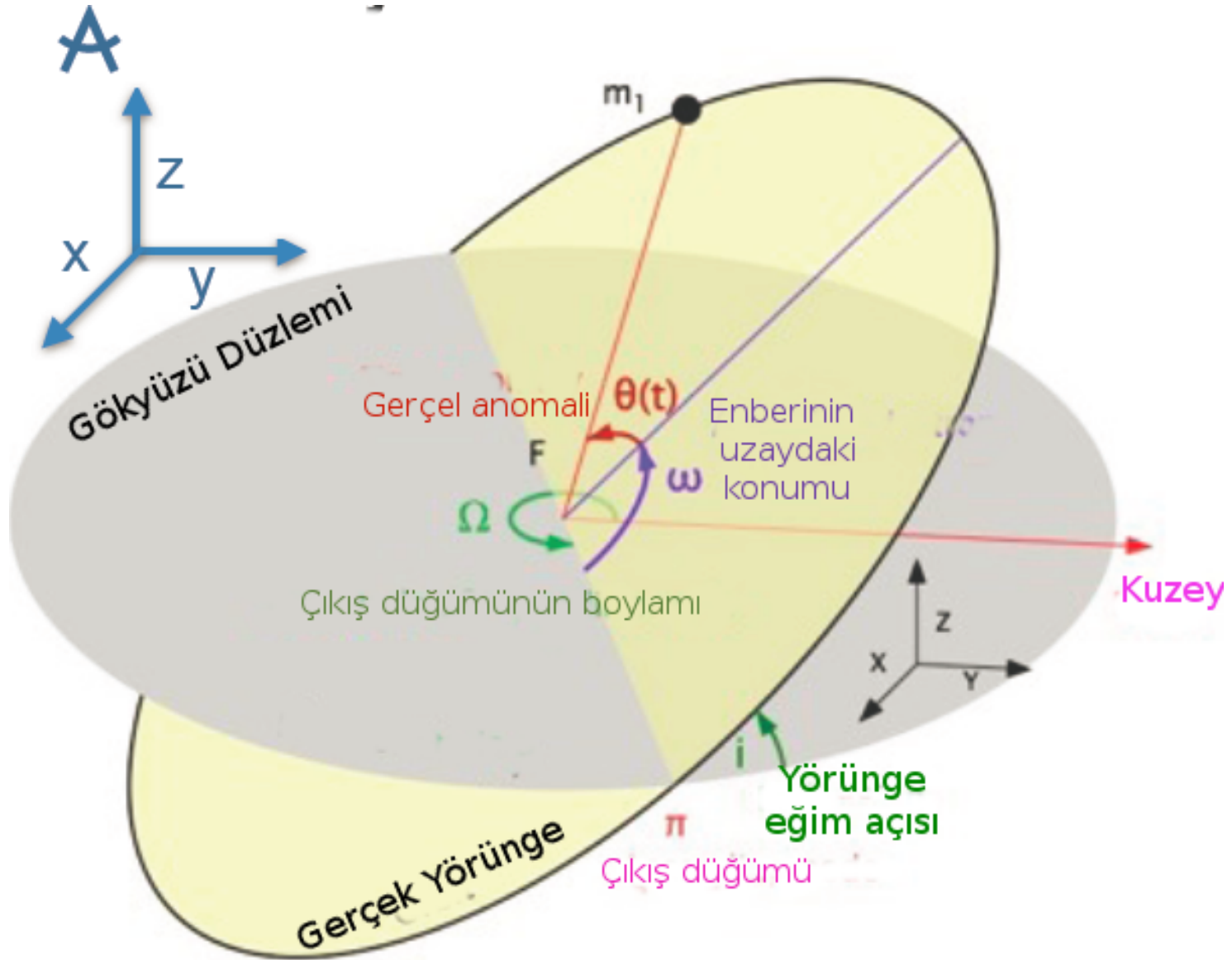
$$X = -r \cos(\omega + \nu)$$

$$Y = -r \sin(\omega + \nu) \cos(i)$$

$$Z = r \sin(\omega + \nu) \sin(i)$$



# Yörünge Parametreleri





$a$  semi-major axis



# Bir Gezegen Geçişi Ne Zaman Gerçekleşir?

$r_{gök}$  gökyüzünde gezegenin disk merkezi ile yıldızın disk merkezi arasındaki uzaklık olsun

$$r_{gök} = \sqrt{(X^2 + Y^2)}$$

Bir gezegen geçişinin gerçekleşmesi için bu uzaklığın yıldızın yarıçapından küçük olması gerekir.

$$r_{gök} = \sqrt{((-r \cos(\omega + \nu))^2 + (-r \sin(\omega + \nu) \cos(i))^2)} \rightarrow r_{gök} = \sqrt{(r^2 \cos^2(\omega + \nu) + r^2 \sin^2(\omega + \nu) \cos^2(i))}$$

$r$ 'yi karekökten çıkarır  $\cos^2(\omega + \nu)$  yerine  $1 - \sin^2(\omega + \nu)$  koyacak olursak

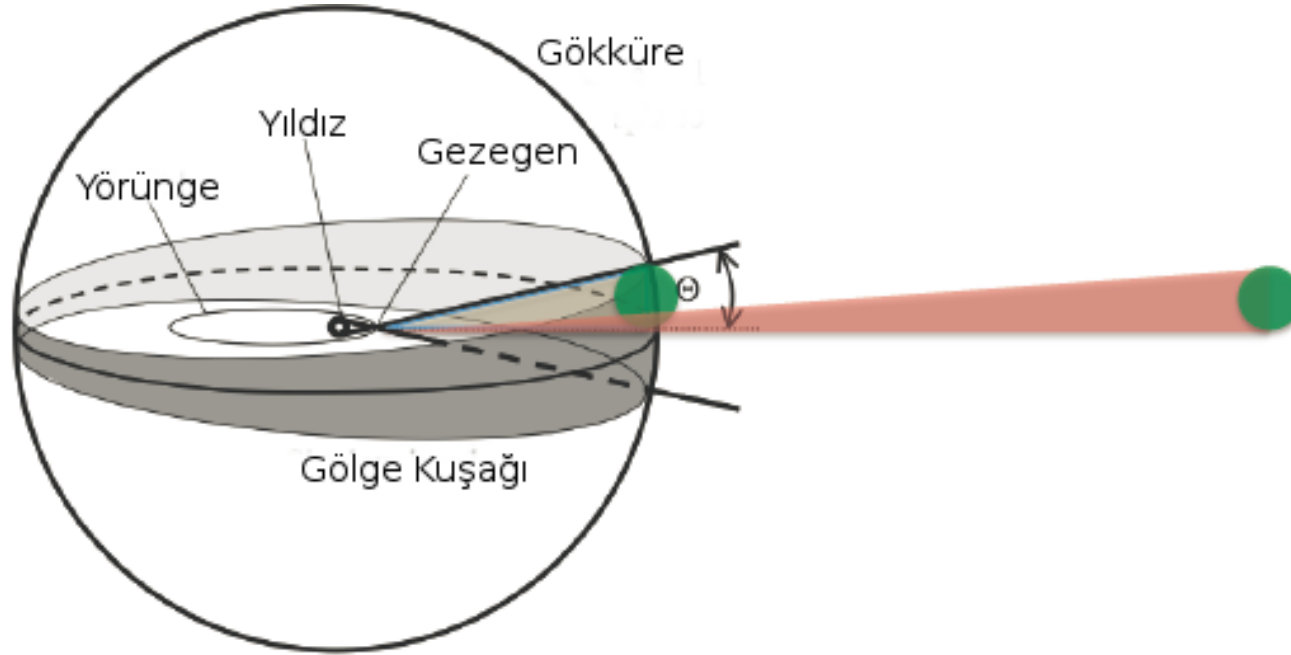
$$r_{gök} = r \sqrt{(\cos^2(\omega + \nu) + \sin^2(\omega + \nu) \cos^2(i))} \rightarrow r_{gök} = r \sqrt{(1 - \sin^2(\omega + \nu) + \sin^2(\omega + \nu) \cos^2(i))}$$

$$r_{gök} = r \sqrt{(1 - \sin^2(\omega + \nu)(1 - \cos^2(i)))} \rightarrow r_{gök} = r \sqrt{(1 - \sin^2(\omega + \nu) \sin^2(i))}$$

Böylece  $r_{gök}$  elde edilmiş olur. Yapılması gereken artık bu ifade için bir minimum bulup, yıldızın yarıçapı ile karşılaştırmaktır. Bu oldukça uzun bir lineer cebir problemidir. Aşağıdaki çözüm için uzunca bir tartışmayı Kipping (2008)'de bulabilirsiniz.

$$r_{gök} = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos(\nu)} \sqrt{(1 - \sin^2(\omega + \nu) \sin^2(i))} \Rightarrow r_{gök, min} \leq R_*$$

# Geçiş Olasılığı



Winn vd. 2010

Geçişin gerçekleşmesi için gezegenin yörünge hareketi sırasında gölge kuşağına girmesi gerekir. Tabii bu durum yıldızına yakın bir gezegen için daha olası iken uzak bir gezegen için daha az olasıdır. Yörünge dış merkezliğini ihmal eder ( $e=0$ ), yıldızın yarıçapını da gezegeninkine göre çok büyük ( $R_* \gg R_p$  kabul ederseniz, olasılık Dünya-Güneş ikilisi için %0.5 kadardır!

$$p_{geçiş} = \left( \frac{R_* \pm R_g}{a} \right) \left( \frac{1 + e \sin \omega}{1 - e^2} \right)$$

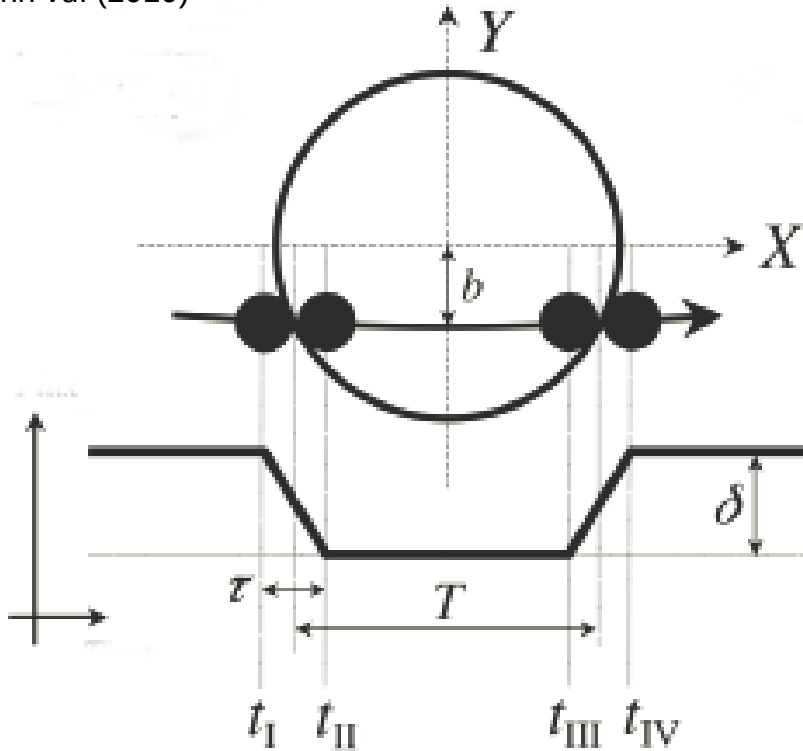
$$p_{örtme} = \left( \frac{R_* \pm R_g}{a} \right) \left( \frac{1 - e \sin \omega}{1 - e^2} \right)$$

$e = 0$  için

$$p_{geçiş} = p_{örtme} \approx \frac{R_*}{a} \approx 0.005 \left( \frac{R_*}{R_{Güneş}} \right) \left( \frac{a}{1 \text{ AB}} \right)^{-1}$$

# Bir Geçişin Parametreleri

Winn vd. (2010)



$b$  : etki parametresi

$\delta$ : Geçiş derinliği (depth) ya da kontrast

$t_{I, II, III, IV}$ : Geçiş zamanları

$\tau_{ing} = t_{II} - t_I$ : Geçiş başlangıcı (ingress) zaman ölçeği

$\tau_{eg} = t_{IV} - t_{III}$ : Geçiş sonu (egress) zaman ölçeği

$T$ : Geçiş süresi,  $T = T_{toplam} - \tau$

$R_g, M_g, R_*, M_*$ : Gezegen (g) ve yıldızın (\*) yarıçap ve kütleleri

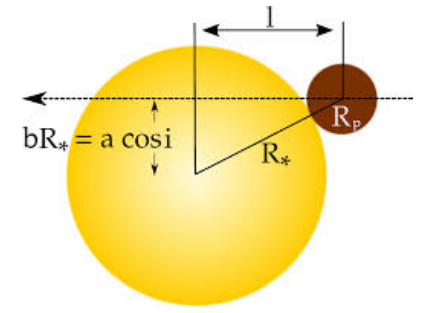
$k = R_p / R_*$

$R_* \ll a$  için

$$X = \pm R_* \sqrt{(1-b^2)}$$

$$Y = b R_*$$

# Etki Parametresi (Geçiş, $b_{\text{geçiş}}$ )



**Etki Parametresi (b)**, geçiş ortası için gezegenin disk merkezi ile yıldızın disk merkezi arasındaki görünen uzaklıktır ve yıldız yarıçapı cinsinden ifade edilir.

Başlangıçta işimiz gerçek düğümler doğrultusunu bulmak olmadığından referans yön ile arasındaki açıyı istediğimiz gibi belirleyebileyebiliriz. Diyelim ki geçiş düğümler doğrultusu üzerinde gerçekleşsin ( $X = 0$ )

Bu durumda **geçiş** iç kavuşum anına karşılık gelir ( $\nu = \pi / 2 - \omega$ ) **örtme** ise dış kavuşum anında gerçekleşir ( $\nu = -\pi / 2 - \omega$ ).

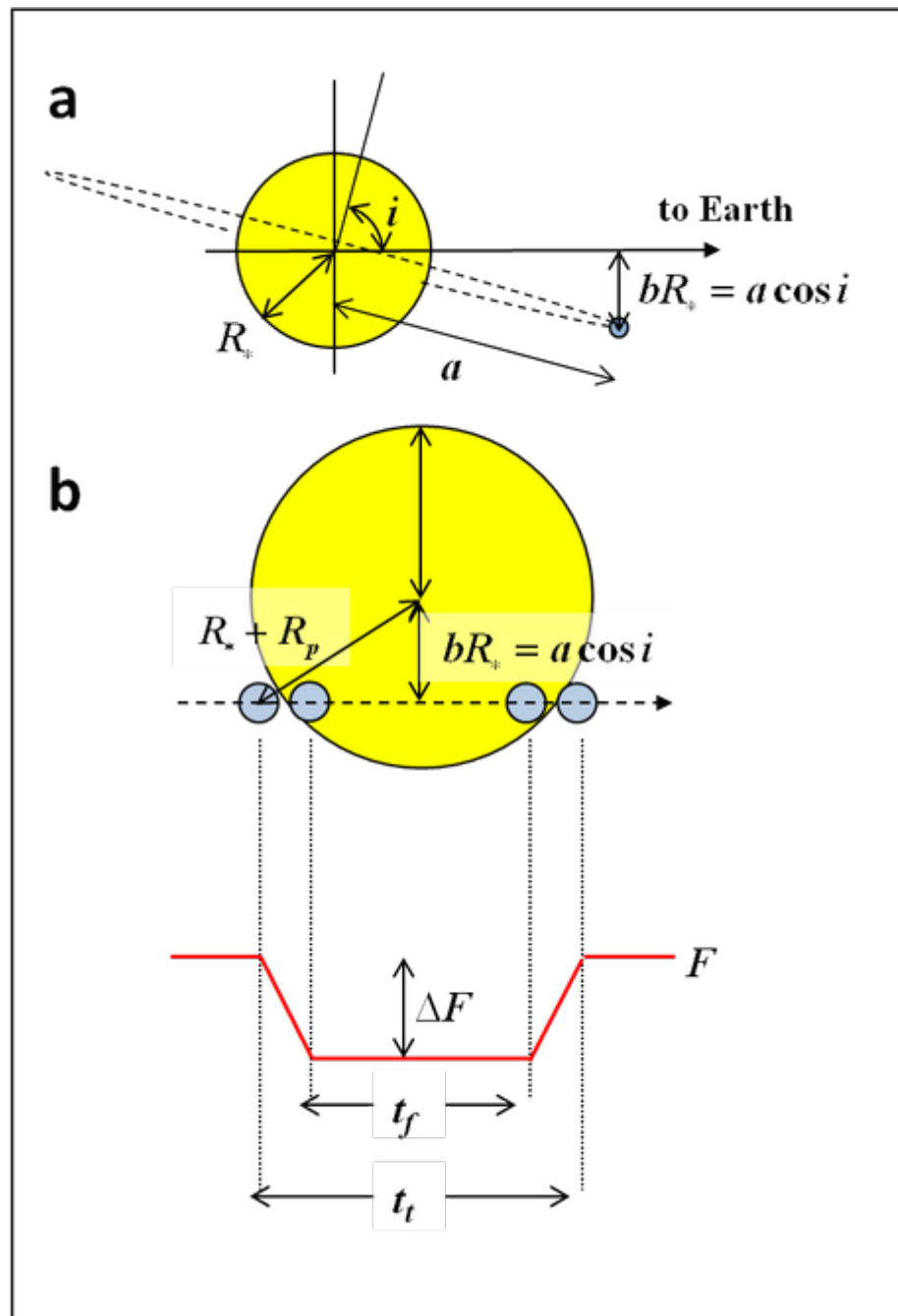
Gezegenle yıldız diski arasında herhangi bir zamanda gökyüzü düzlemi üzerindeki uzaklık  $r_{\text{gök}}$ , geçiş ortasında **etki parametresini (b)** tanımlamak için kullanılabilir.

$$b = \frac{r_{\text{gök}}}{R_*} = \frac{a(1-e^2)}{1+e \cos(\nu)} \sqrt{(1-\sin^2(\omega+\nu)\sin^2(i))} \frac{1}{R_*}$$

Geçiş için ( $\nu = \pi / 2 - \omega$ ) alınırsa;

$$b_{\text{geçiş}} = \frac{r_{\text{gök}}}{R_*} = \frac{a(1-e^2)}{1+e \cos(\pi/2-\omega)} \sqrt{(1-\sin^2(\omega+\pi/2-\omega)\sin^2(i))} \frac{1}{R_*} = \frac{a(1-e^2)}{1+e \sin(\omega)} \sqrt{(\cos^2(i))} \frac{1}{R_*}$$

$$b_{\text{geçiş}} = \frac{a \cos(i)}{R_*} \frac{(1-e^2)}{1+e \sin(\omega)}$$



# Etki Parametresi (Örtme, $b_{\text{örtme}}$ )

Benzer şekilde örtme anı için de etki parametresi ( $b_{\text{örtme}}$ ) tanımlanabilir.

$$b = \frac{r_{\text{gök}}}{R_*} = \frac{a(1-e^2)}{1+e \cos(\nu)} \sqrt{(1-\sin^2(\omega+\nu)\sin^2(i))} \frac{1}{R_*}$$

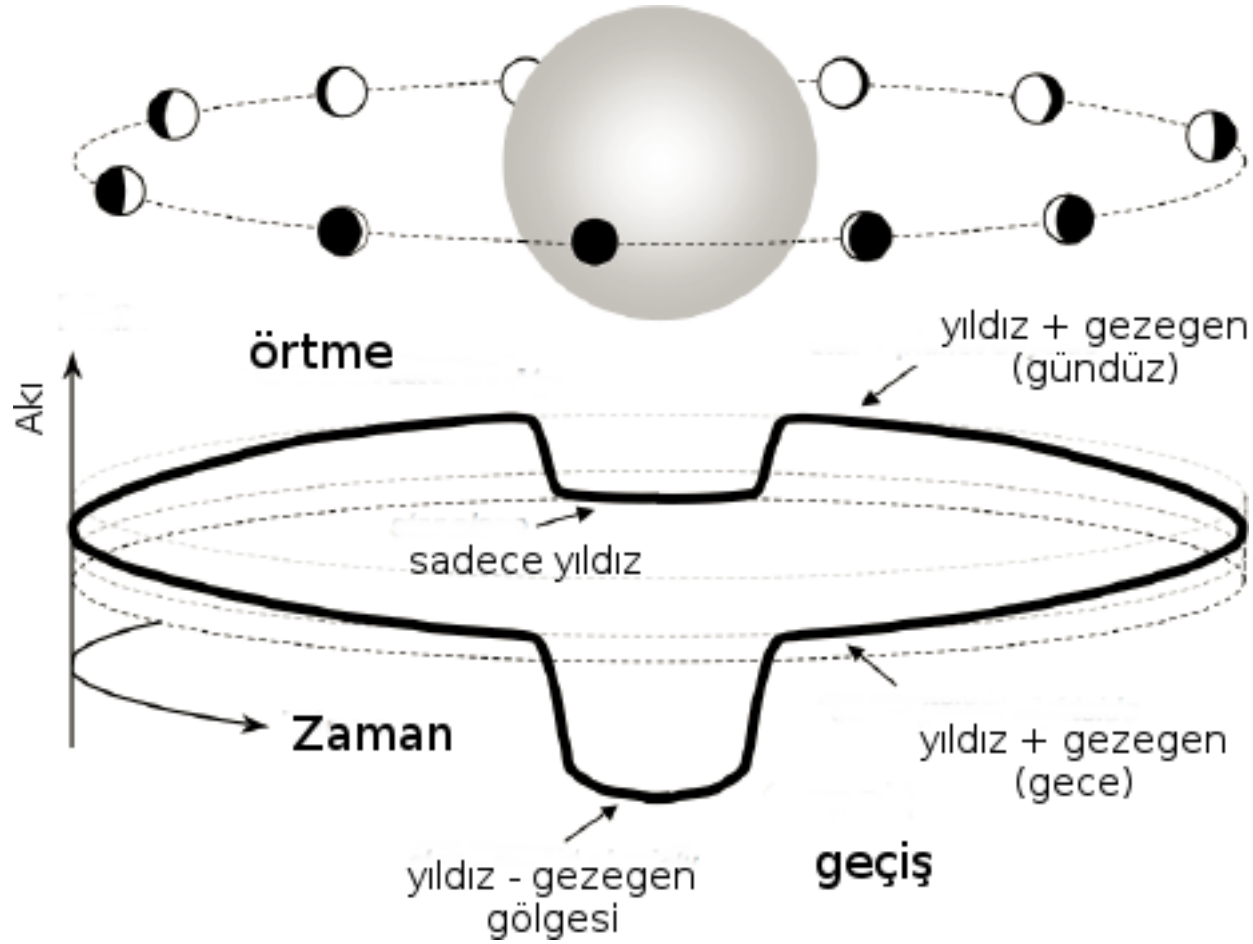
Örtme anı için gerçel anomali değeri dış kavuşum için girilirse ( $\nu = -\pi/2 - \omega$ )

$$b_{\text{örtme}} = \frac{r_{\text{gök}}}{R_*} = \frac{a(1-e^2)}{1+e \cos(-\pi/2-\omega)} \sqrt{(1-\sin^2(\omega-\pi/2-\omega)\sin^2(i))} \frac{1}{R_*} = \frac{a(1-e^2)}{1-e \sin(\omega)} \sqrt{(\cos^2(i))} \frac{1}{R_*}$$

$$b_{\text{örtme}} = \frac{a \cos(i)}{R_*} \frac{(1-e^2)}{1-e \sin(\omega)}$$

# Geçiş Geometrisi

Winn vd. 2010





# Bir Geçiş Sırasındaki Işık Değişimi

$F_*$  ve  $F_g$  sırasıyla yıldızdan ve gezegenden gözlemciye ulaşan akı olmak üzere, Toplam akının zamanla değişimi ( $F(t)$ ), geçiş ve örtmeler sırasında azalır:

$$F(t) = F_* + F_g - \begin{matrix} k^2 \alpha_{\text{geçiş}} F_* & \text{geçiş} \\ 0 & \text{tutulma dışı} \\ \alpha_{\text{örtme}} F_g & \text{örtme} \end{matrix}$$

$I_*$  ve  $I_g$  sırasıyla yıldız ve gezegenin tüm disk üzerinden akıları olmak üzere, **Normalize akı ( $f(t)$ )** aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$f(t) = \frac{F(t)}{F_*} \quad \frac{F_g}{F_*} = \frac{4\pi R_g^2 I_g / d^2}{4\pi R_*^2 I_* / d^2} \Rightarrow \frac{F_g}{F_*} = k^2 \frac{I_g}{I_*}$$

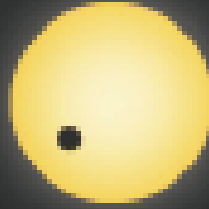
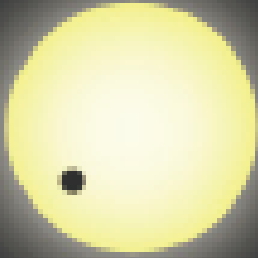
Dolayısı ile normalize ışıktaki değişim:  $f(t) = 1 + k^2 \frac{I_g(t)}{I_*} - \begin{matrix} k^2 \alpha_{\text{geçiş}}(t) & \text{geçiş} \\ 0 & \text{tutulma dışı} \\ k^2 \frac{I_g(t)}{I_*} \alpha_{\text{örtme}}(t) & \text{örtme} \end{matrix}$

Gezegenden gelen akı ( $I_g$ ) gezegenin yörünge hareketinde yıldızdan yansıttığı akı (evre) değiştiği için değişkendir. Yerden yapılan gözlemlerde gezegenden gelen oldukça küçük akıyı tespit etmek çoğu zaman mümkün olmadığından bu akıyı yok saymak iyi bir yaklaşımdır. Bu durumda geçiş sırasındaki akı değişiminin derinliği  $\delta_{\text{geçiş}}$ , gözlenebiliyorsa örtme sırasındaki değişim derinliği  $\delta_{\text{örtme}}$  ise aşağıdaki şekilde verilir.

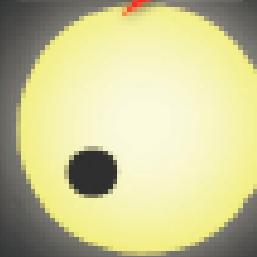
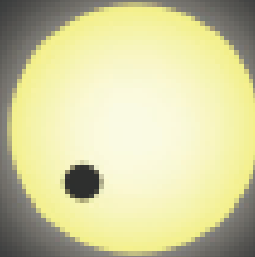
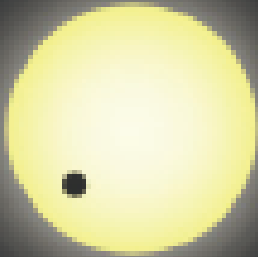
$$\delta_{\text{geçiş}} \approx k^2 \left[ 1 - \frac{I_g}{I_*} \right] \xrightarrow{I_g \rightarrow 0} \delta_{\text{geçiş}} \approx k^2 \quad \delta_{\text{örtme}} \approx k^2 \frac{I_g}{I_*}$$

Geçiş  
Derinliği

Farklı  
büyüklüklerde  
yıldızlar



Farklı  
büyüklüklerde  
gezegenler



Geçiş Süresi



# Geçiş Işık Eğrisinin Şekli 1 / 2

Geçiş ışık eğrilerinde normalize toplam akı  $f(t)$ , gezegenden gelen akı ( $F_g$ ) ve yıldızdan gelen ( $F_*$ ) toplam akının yıldızdan gelen akıya normalize edilmesiyle bulunur.

$$f(t) = \frac{F(t)}{F_*} = \frac{F_g + F_*}{F_*} \text{ ve } \frac{F_g}{F_*} = k^2 \frac{I_g}{I_*}$$

olmak üzere,

## Geçiş Denklemi

$$f(t) = 1 + k^2 \frac{I_g}{I_*} - k^2 \alpha_{\text{geçiş}}(t)$$

Yıldızdan gelen akı  
(normalizasyon  
gereği  $\rightarrow 1$ )

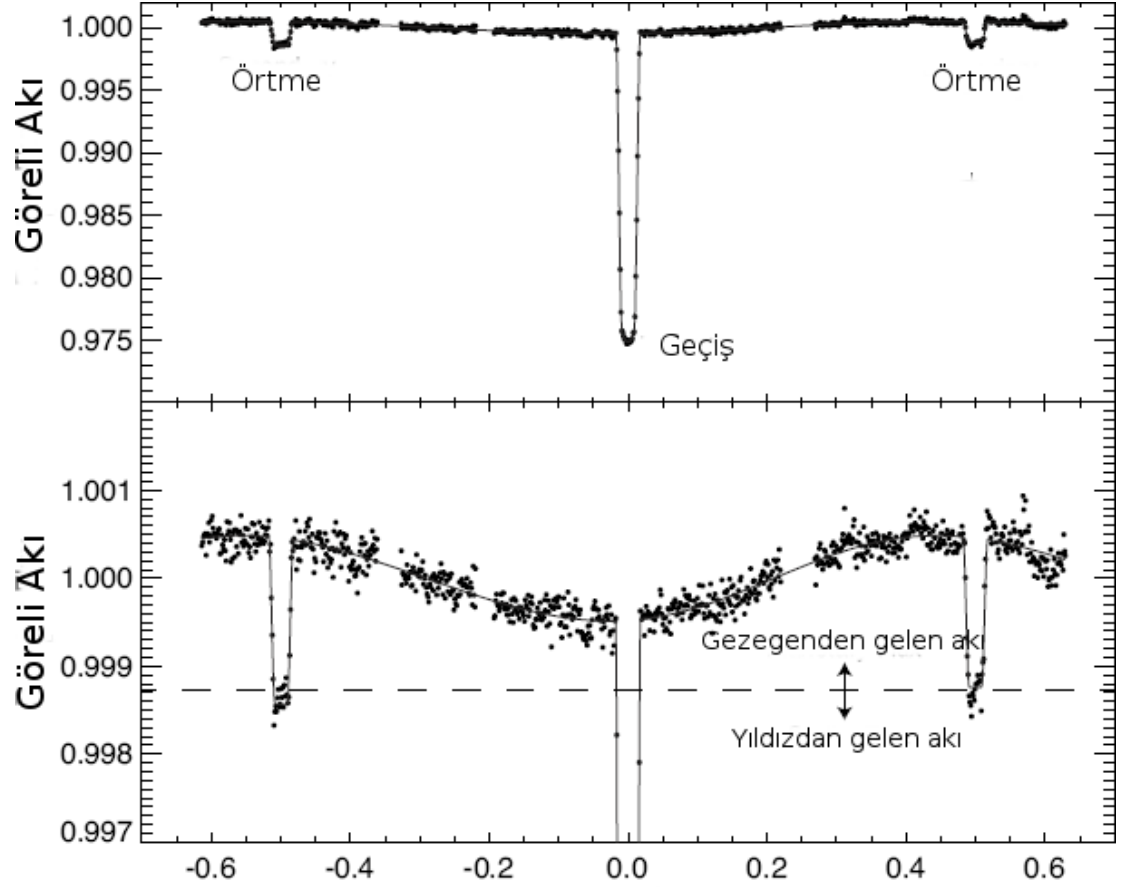
Gezegenden  
Gelen (termal emisyon +  
yansıma) normalize akı

Geçişin çaldığı akı  
(normalize)

## Örtme Denklemi

$$f(t) = 1 + k^2 \frac{I_g}{I_*} - k^2 \frac{I_g}{I_*} \alpha_{\text{örtme}}(t)$$

Madhusudhan vd. 2014



Gezegenin  
Evreleri



**Not:** Örtme tam olarak gerçekleştiği zaman örtme parametresinin  $\alpha_{\text{örtme}} = 1$  olduğuna ve gezegenden ışığın gelmediğine dikkat ediniz! Bu nedenle ışık eğrisinde örtmenin neden olduğu düşmenin maksimum olduğu yerde sadece yıldızdan gelen akı görülmektedir.

# Geçiş Işık Eğrisinin Şekli 2 / 2

Geçiş sırasındaki kontrast

$$\delta_{geçiş} \simeq k^2 \left[ 1 - \frac{I_g(t_{geçiş})}{I_*} \right]$$

Örtme sırasındaki kontrast

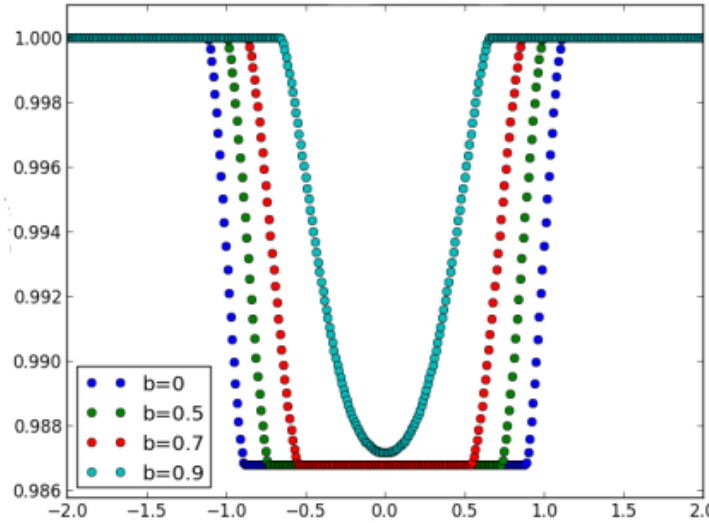
$$\delta_{örtme} \simeq k^2 \frac{I_g(t_{örtme})}{I_*}$$

Etki Parametreleri

$$b_{geçiş} = \frac{a \cos(i)}{R_*} \frac{(1-e^2)}{1+e \sin(\omega)}$$

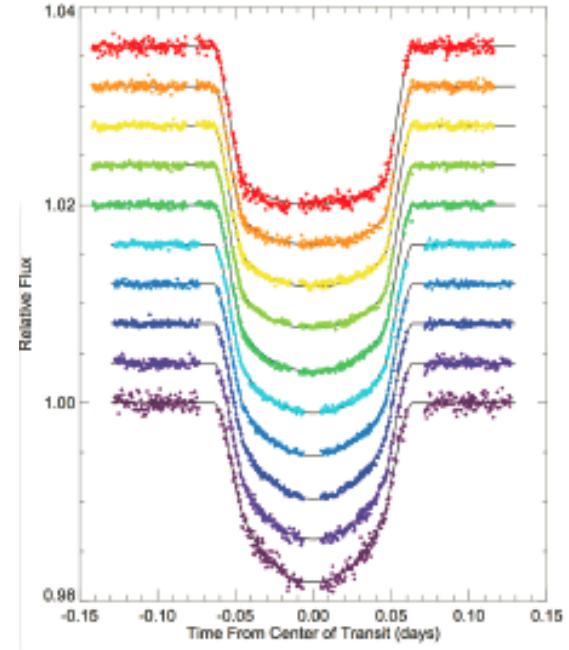
$$b_{örtme} = \frac{a \cos(i)}{R_*} \frac{(1-e^2)}{1-e \sin(\omega)}$$

Etki Parametresinin (b) Işık Eğrisine Etkisi



Knutson vd. 2007

Kenar Kararmasının Işık Eğrisine Etkisi



Knutson vd. 2007

$\alpha_{geçiş}$

# Geçiş Işık Eğrisinin Şekli Şekil Bozulması Kaynaklı Etki

Gezegen yıldızına çok yakın olduğu vakit yıldızın üzerinde kuvvetli tedirginlik etkisi kaynaklı (yıldızın gezegene yakın ve uzak tarafına uygulanan kütle çekim kuvvetleri arasındaki farkın neden olduğu etki) şekil bozulmalarına neden olabilir. Bu da ışık eğrisine yansiyabilir.

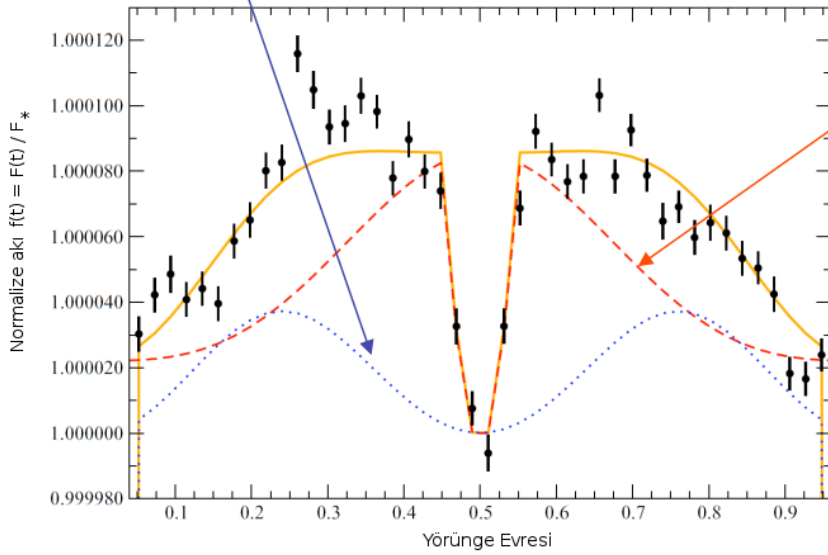
Değişim Genliği ( $A_{\text{Şekil-Bozulması}}$ )

$$A_{\text{Şekil-Bozulması}} = \alpha_{elips} \frac{M_g \sin(i)}{M_*} \left(\frac{R_*}{a}\right)^3 \sin i [ppm]$$

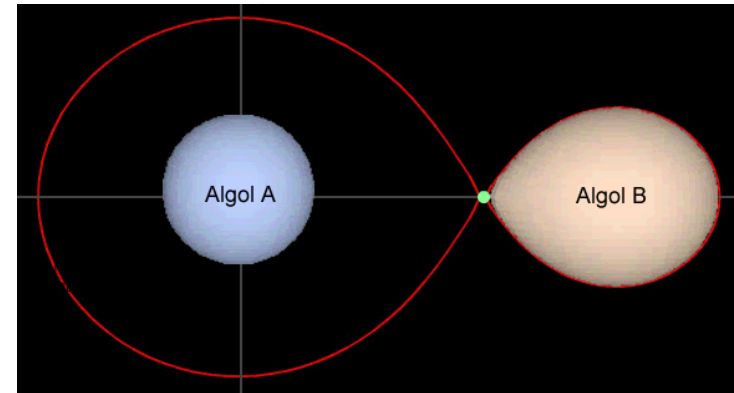
Şekil Bozulması Etkisi

$$A_{\text{Şekil bozulması}} = 13 \alpha_{elips} \sin i \left(\frac{R_*}{R_{Güneş}}\right)^3 \left(\frac{M_*}{M_{Güneş}}\right)^{-2} (P[gün])^{-2} \left(\frac{M_g \sin(i)}{M_{jüp}}\right) [ppm]$$

Evreyle Değişen  
Yansıma Etkisi



Aşağıda Algol sistemi için şekil bozulması görülmektedir. Bu etkinin boyutu gezegen-yıldız sistemi için çok daha küçük olmakla birlikte örnek olan verilen HAT-P-7 sisteminde gezegen yıldız yıldız yarıçapının sadece 4 katı uzaklıktadır.



# Geçiş Işık Eğrisinin Şekli

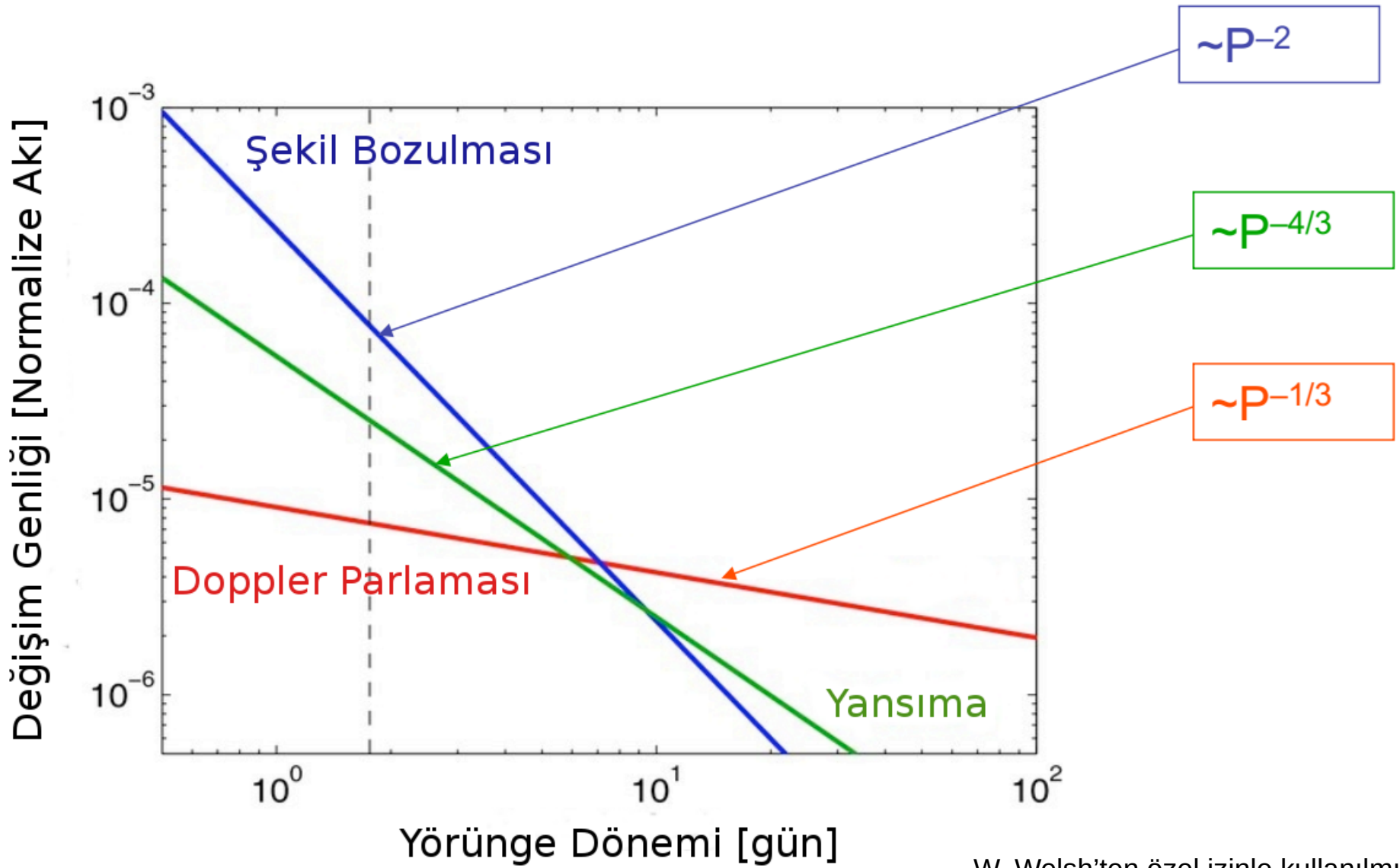
## Doppler “Parlaması” (Doppler Boosting)

Yıldızın ortak kütle merkezi etrafındaki hareketi onun gözlemciye yaklaşıp uzaklaşmasına neden olur. Tamamen görelilik (rölativistik) kaynaklı bu etki fotonların yönlenmesi nedeniyle yıldızın yaklaşırken olduğundan daha parlak, uzaklaşırken daha sönük görünmesine neden olur. Değişim Genliği ( $A_{\text{Doppler Parlama}})$  aşağıdaki ifadeyle verilebilir. İfadeden (aynı zamanda şekil bozulması ifadesinden de) gezegenin kütesinin ( $M_g$ ) elde edilebileceği görülebilir.

$$A_{\text{Doppler Parlama}} = \alpha_{\text{parlama}} 4 \frac{K_*}{c} = 2.7 \alpha_{\text{parlama}} \left( \frac{M_*}{M_{\text{Güneş}}} \right)^{-2/3} (P[\text{gün}])^{(-1/3)} \left( \frac{M_g \sin(i)}{M_{\text{jüp}}} \right) [\text{ppm}]$$

Bir ışık kaynağının hareketi gözlemci doğrultusunda hem ışığın maviye kaymasına (Doppler kayması) hem de fotonların yönlenmesi nedeniyle daha parlak görünmesine (Doppler parlaması) neden olur.

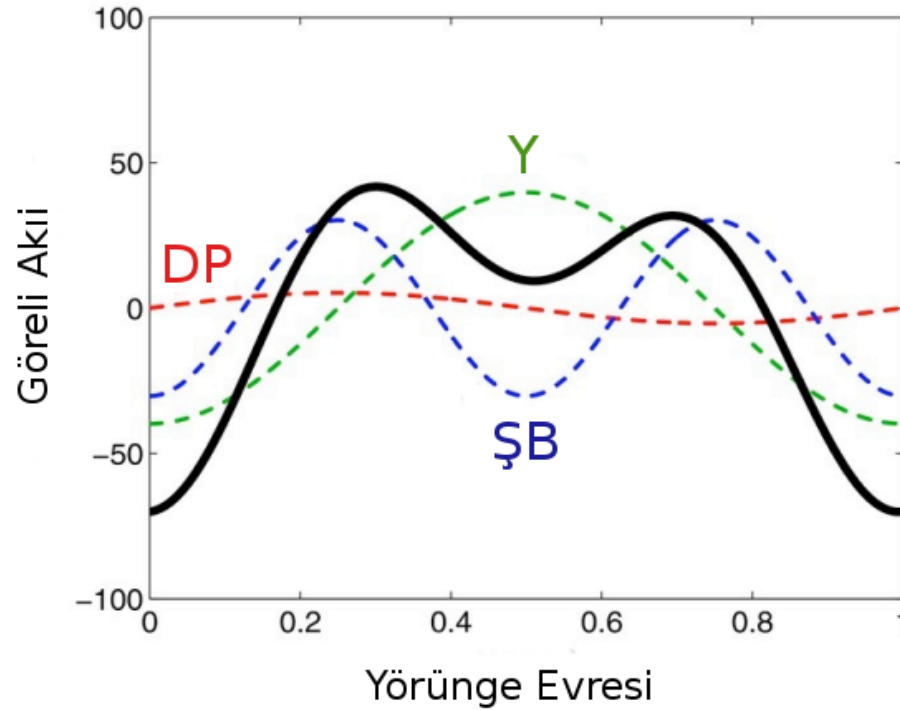
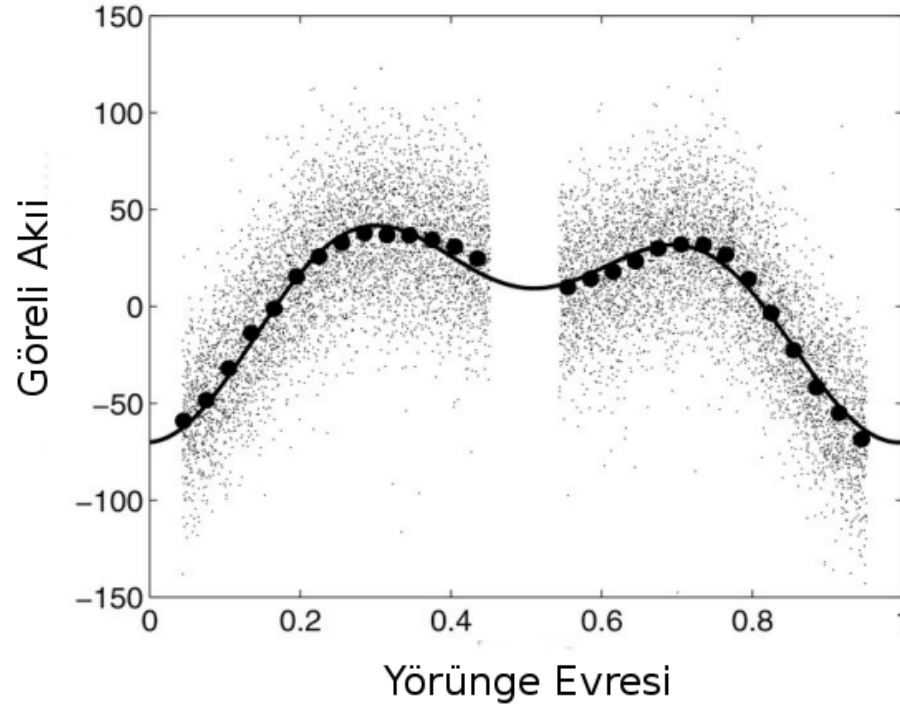




Grafikte şekil bozulması, Doppler parlaması ve yansıma etkilerinin gezegenin barınak yıldızdan uzaklığına bağlı yörünge dönemine karşılık düzeyleri ışık değişim genliği cinsinden verilmiştir.  $\sim 2.2$  gün civarındaki dikey kesikli doğru HAT-P-7 için çizilmiştir. Görüldüğü üzere şekil bozulması ve yansıma  $\sim 10$  güne kadar ışık eğrisini domine ederken daha büyük yörünge dönemlerinde (uzaklıklarda) doppler parlaması daha etkili olmaktadır. Genliğin yörünge dönemine bağlılığının lineer olmadığına ancak grafiğin x-kseninin logaritmik çizildiğine dikkat ediniz.

KOI 13.01

$$M_2 \sin i = 9.2 \pm 1.1 M_{\text{Jüp}}$$

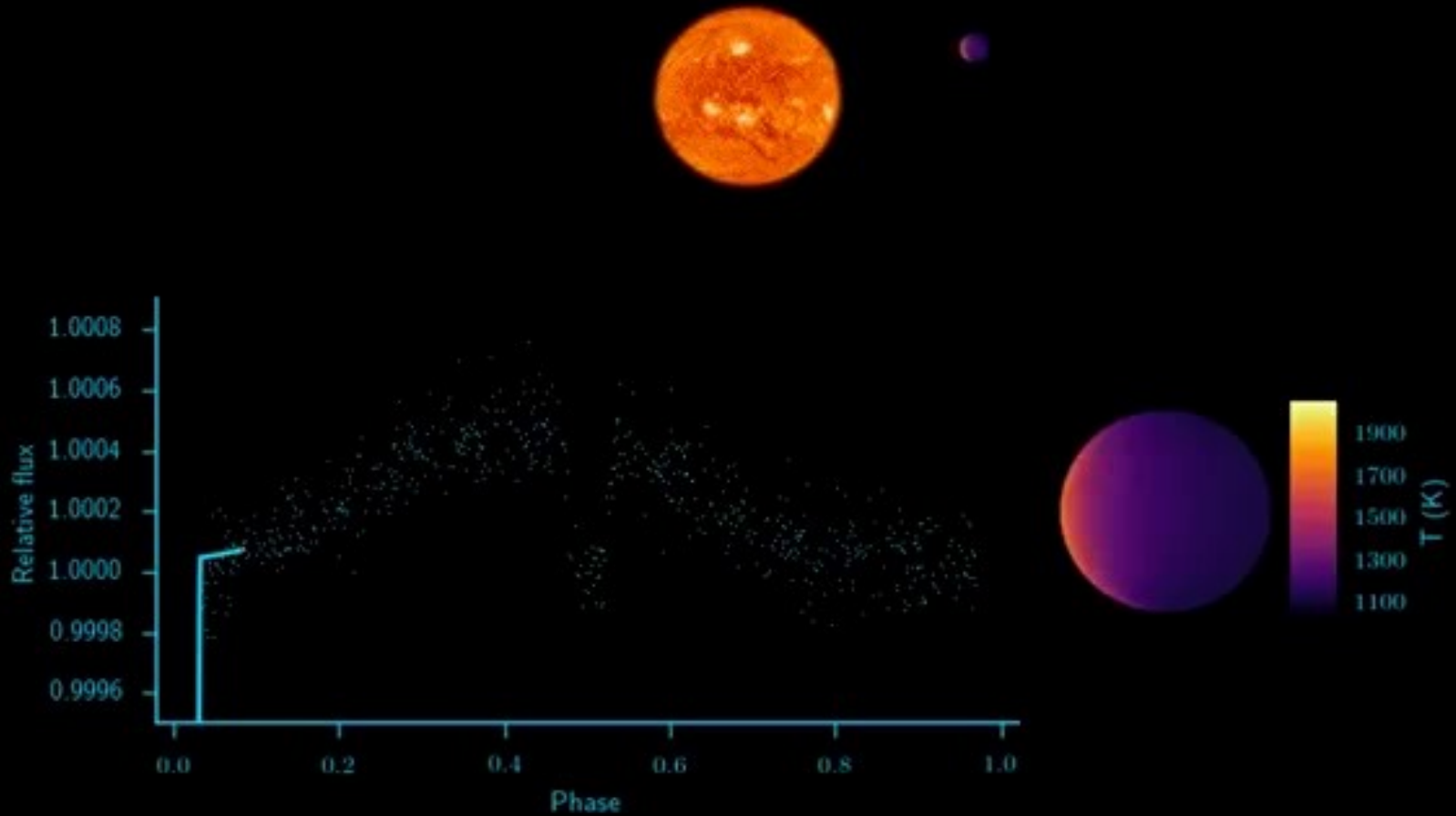


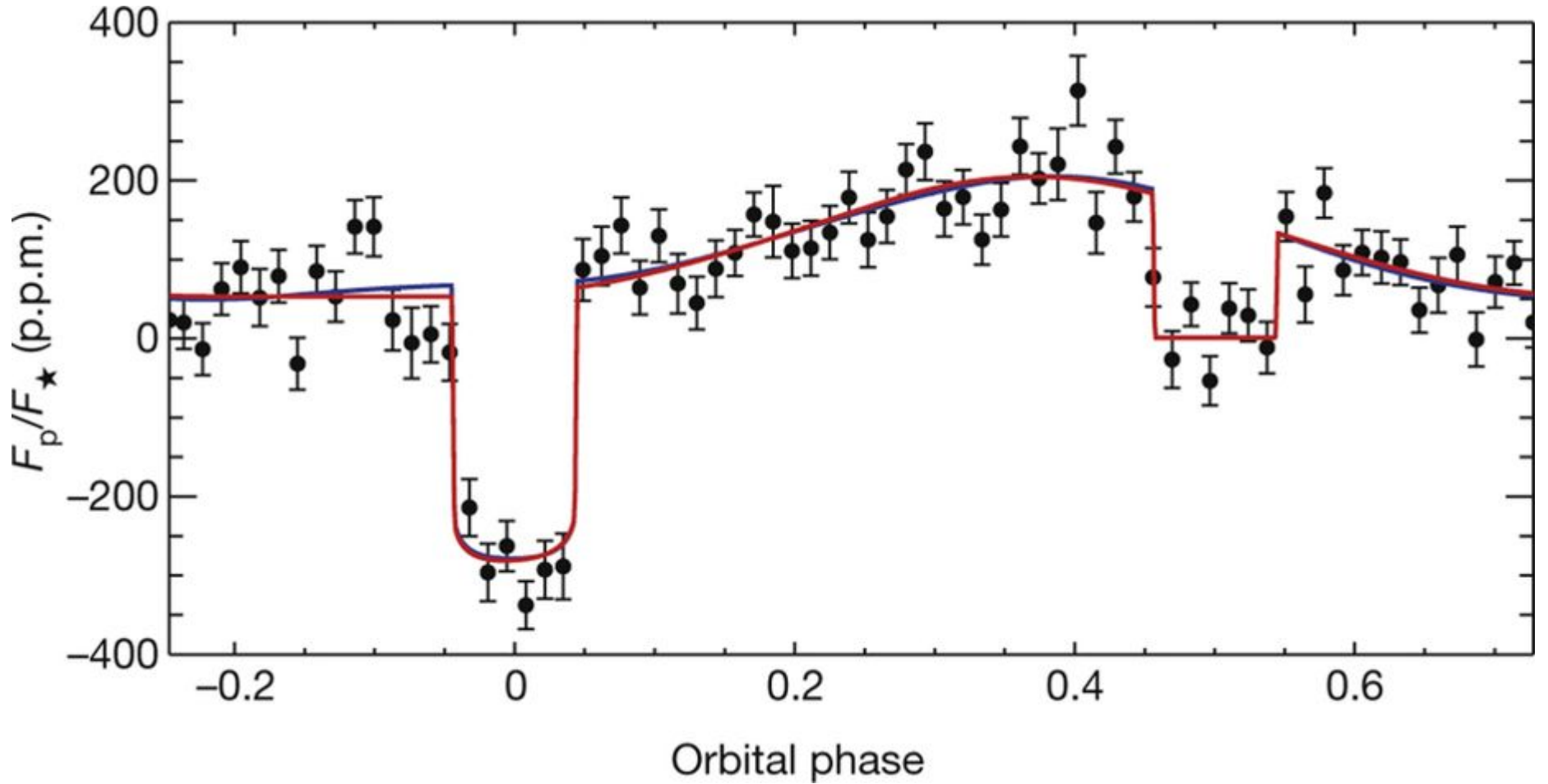
KOI-13.01 sisteminde her üç etki dikkate alınmadan ışık eğrisi modellenememiştir.

Shporer vd., 2012, AJ, 142, 195



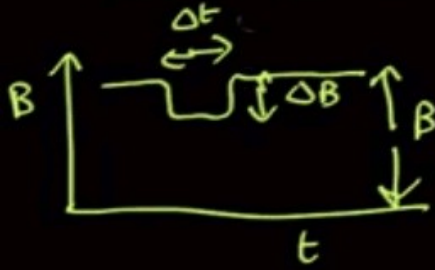
# Gezegenden Yansıyan Işık (Evre Bağımlılığı)





55 Cancri e Spitzer/IRAC 4.5- $\mu$ m ışık şiddetinin evreye bağlı değişimi  
(Demory vd. 2016)

# Geçiş Gözlemlerinden Hangi Bilgileri Elde Edebiliriz?



Diyelim ki B bandında gözlem yapıyor olalım ve  $r_p$  yarıçapına sahip bir gezegen  $r_s$  yarıçapındaki yıldızın bizim bakış doğrultumuza göre önünden geçiyor olsun. Bu durumda parlaklıktaki değişim gezegenin kapattığı alanla orantılıdır. (Gezegenin çok sönük olması dolayısıyla ondan ışık almadığımızı varsayıyoruz -şimdilik-.)

$$1) \quad \frac{\Delta B}{B} = \frac{\pi r_p^2}{\pi r_s^2} = \left( \frac{r_p}{r_s} \right)^2 \quad \underline{\underline{r_p = r_s \sqrt{\frac{\Delta B}{B}}}}$$

Ayrıca iki geçiş arasındaki süreden gezegenin yörünge dönemini ve bundan yola çıkarak gezegenin yıldızın uzaklığını da elde edebiliriz. ( $M_p \ll M_*$ ,  $r_* \ll r_p$  ve  $e = 0$  yaklaşımıyla)

$$2) \quad \underline{\underline{r = \sqrt[3]{\frac{G M_s P^2}{4\pi^2}}}}$$

Geçişin süresini ve dolayısı ile hızını da bildiğimiz için gezegenin yıldızın neresini kapattığını da bulabilir ve yörünge eğim açısını ( $i$ ) elde edebiliriz.

$$3) \quad \Delta r = \frac{2r_s}{V}$$

# Işık Eğrisinden Fiziksel Parametrelere - I

1. **Yarıçap ( $R_p$ ):** Geçiş derinliğinden (kontrast) görelî ( $k = \sqrt{\delta} = R_p / R_*$ ) büyüklüğe geçilir.
2. **Kütle ( $M_p$ ):** Kütleye geçebilmek için ise dikine hız yarı genliğine ( $K$ ) ihtiyaç duyulur.

$$\frac{M_g}{(M_g + M_*)^{2/3}} = \frac{K_* \sqrt{1 - e^2}}{\sin i} \left( \frac{P}{2\pi G} \right)^{1/3}$$

Bir geçiş için  $\sin i \sim 1$  olduğundan dikine hızdaki  $m_2 \sin i$  dejenerasyonu ortadan kalkar. Ancak  $M_g \ll M_*$  alınsa dahi elde edilen  $M_g / M_*^{2/3}$  olacağı için yıldızın kütlesini belirlemeden gezegenin kütlesini belirlemek mümkün olmaz

$M_*$ ,  $R_*$  için **interferometrik gözlemler** (Baines vd. 2009), **asterosismoloji** (Stello vd. 2009), **çift yıldız sistemleri** kullanılarak oluşturulan kalibrasyonlar kullanılabilir.

3. **Etki Parametresi ( $b$ ):** Sadece gözlenebilir nicelikler cinsinden hesap edilebilir ( $R_p \ll R_*$  kabul edilerek) olan geniş ifadesi

$$b^2 = \frac{(1 - \sqrt{\delta})^2 - (T_{\text{düzlük}} / T_{\text{toplama}})^2 (1 + \sqrt{\delta})^2}{1 - (T_{\text{düzlük}} / T_{\text{toplama}})^2}$$

**Basitleştirme:**  $\tau \ll T$  (bkz. Geçişin Parametreleri, Slayt-12, Şekil) olduğu varsayılırsa (ki bu gezegenin çok büyük olmadığı ya da sıyrarak geçtiği zamanların dışında iyi bir varsayımdır) ifadeler daha da sadeleşir.

$$b^2 = 1 - \sqrt{\delta} \frac{T}{\tau}$$

# Işık Eğrisinden Fiziksel Parametrelere - II

4. Yörünge Büyüklüğüne Ölçeklendirilmiş Yıldız Yarıçapı ( $R_*/a$ ): Dikine hız gözlemlerinden gelen  $e$  ve  $\omega$  da kullanılarak elde edilebilir.

$$\frac{R_*}{a} = \frac{\pi}{2\delta^{1/4}} \frac{\sqrt{T_{\text{toplama}}^2 - T_{\text{düzlük}}^2}}{P} \left( \frac{1+e \sin \omega}{\sqrt{1-e^2}} \right) \xrightarrow{\tau \ll T} \frac{R_*}{a} = \frac{\pi}{\delta^{1/4}} \frac{\sqrt{T\tau}}{P} \left( \frac{1+e \sin \omega}{\sqrt{1-e^2}} \right)$$

## $R_*/a$ (ve $R_g/a$ ) Oranını Belirlemenin Önemi:

1. Bu oran yıldızla gezegen arasındaki tedirginlik kuvvetlerinin ne derece etkili olabileceğini gösterir.
2.  $R_g/a$  oranı yıldızın ışığının hangi oranda gezegenin yüzeyine ulaştığını da belirler.

5. Ortalama Yıldız Yoğunluğu ( $\rho_*$ ):  $R_*/a$  oranı ortalama yıldız yoğunluğu ile gezegen yoğunluğu arasındaki ilişki üzerinden yıldızın ortalama yoğunluğunu elde etmemizi sağlar. Bu daha önce de Kepler 3. yasayla elde ettiğimiz ilişkiye özdeştir (Seager & Mallen-Ornelas 2003).

$$\rho_* + k^3 \rho_g = \frac{3\pi}{G P^2} \left( \frac{a}{R_*} \right)^3$$

# Işık Eğrisinden Fiziksel Parametrelere - III

**6. Yörünge Eğim Açısı ( $i$ ):** Etki parametresi hesap edildikten sonra yörünge eğim açısına aşağıdaki ifadeyle geçilir.

$$b_{geçiş} = \frac{a \cos(i)}{R_*} \frac{(1-e^2)}{1+e \sin(\omega)}$$

**7. Gezegenin Yüzey Çekim İvmesi ( $g_g$ ):** Ayrıca yine Kepler'in 3. yasası ve dikine hız yarı genliği ifadesi kullanılarak elde edilen aşağıdaki ifadeyle yıldızın parametrelerinden bağımsız olarak gezegenin yüzey çekim ivmesine ilişkin bilgi sahibi olmak da mümkündür.

$$K_* = \frac{m_g}{m_* + m_g} \frac{a \sin i}{\sqrt{1-e^2}} \longrightarrow g_g = \frac{2\pi}{P} \frac{\sqrt{1-e^2}}{(R_g/a)^2} \frac{K_*}{\sin i}$$

**7. Yörünge Şekli ( $e, \omega$ ):** Örtme ile geçiş arasındaki zaman ( $\Delta t_c$ ) ve örtme ile geçişin gerçekleştiği sürelerin oranı ( $T_{örtme} / T_{geçiş}$ ) **dış merkezlik ( $e$ )** ve **enberinin argümanı ( $\omega$ )** parametrelerinin elde edilmesini sağlar.

$$\Delta t_c = t_{örtme} - t_{geçiş} = \frac{P}{2} \left[ 1 + \frac{4}{\pi} e \cos \omega \right] \quad \frac{T_{örtme}}{T_{geçiş}} = \frac{1+e \sin \omega}{1-e \sin \omega}$$

# Geometrik - Bond Albedo

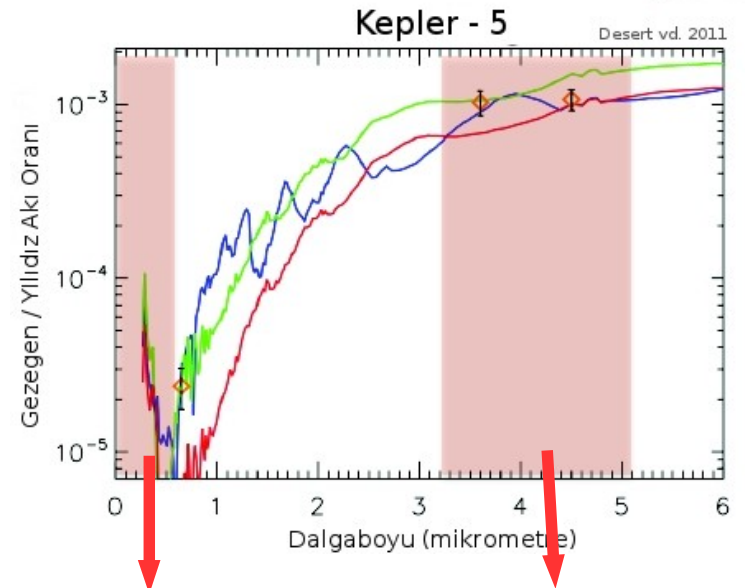
**Geometrik Albedo:** Bir cismin (gezegenin) ışık kaynağından (yıldızdan) (0 evre) görünen parlaklığının kendisiyle aynı çapta, üzerine düşen her fotonu aynı şekilde geri yansıtabilen, ideal, düz bir diskin (Lambert diski) parlaklığına oranı olarak tanımlanır.

**Bond Albedo:** Bir cismin (gezegenin) üzerinden uzaya yansıyan ışığın, ışık kaynağından (yıldızdan) gelen toplam ışığa oranı olarak tanımlanır. Geometrik albedodan farklı olarak tüm yörünge evreleri üzerinden tanımlanır. Geometrik albedo evre integrali (ing. phase integral) ile çarpılarak elde edilir. Evre açısı ( $\alpha$ )  $0^\circ$  (gezegenin gece tarafı) ile  $180^\circ$  (gezegenin gündüz tarafı tamamen görünürken) arasında değişecek şekilde tanımlanır.

$$A_\lambda = p q_\lambda, q_\lambda = 2 \int_0^\pi \frac{I_{\alpha,\lambda}}{I_{0,\lambda}} \sin \alpha d\alpha$$

**Uyarı!:** Tipik bir sıcak Jüpiter yarıçapının Güneş'ininkinin 1/10'u, Güneş'in yarıçapının da sıcak Jüpiterin uzaklığının 1/10'u olduğunu varsayarsanız,  $(R_g / a)^2$  terimi  $10^{-4}$  gibi oldukça küçük bir rakamdır bunu bir de 1'den küçük bir rakam olan (Jüpiter için 0.34, Ay için 0.12, HD209458b için  $< 0.05!$ ) yansıtma katsayısı (geometrik albedo) ile çarpacak olursanız örtme sırasında yansıtma kaynaklı ışık kaybını saptamanın ne kadar güç olduğunu görebilirsiniz.

**Sağda,** gezegen ile yıldızın akı oranlarının Kepler-5 sistemi için dalgaboyu ile değişimini görüyorsunuz. Tipik bir gezegen sisteminde görsel dalgaboyu aralığında gezegenden gelen ışığın neredeyse tamamı yansıma iken, uzun dalgaboylarına gidildiğinde gezegenin termal emisyonunun (sıcaklığı kaynaklı ışınımını) etkisi artar. (Renkli eğriler üç farklı atmosfer modelini göstermektedir.)

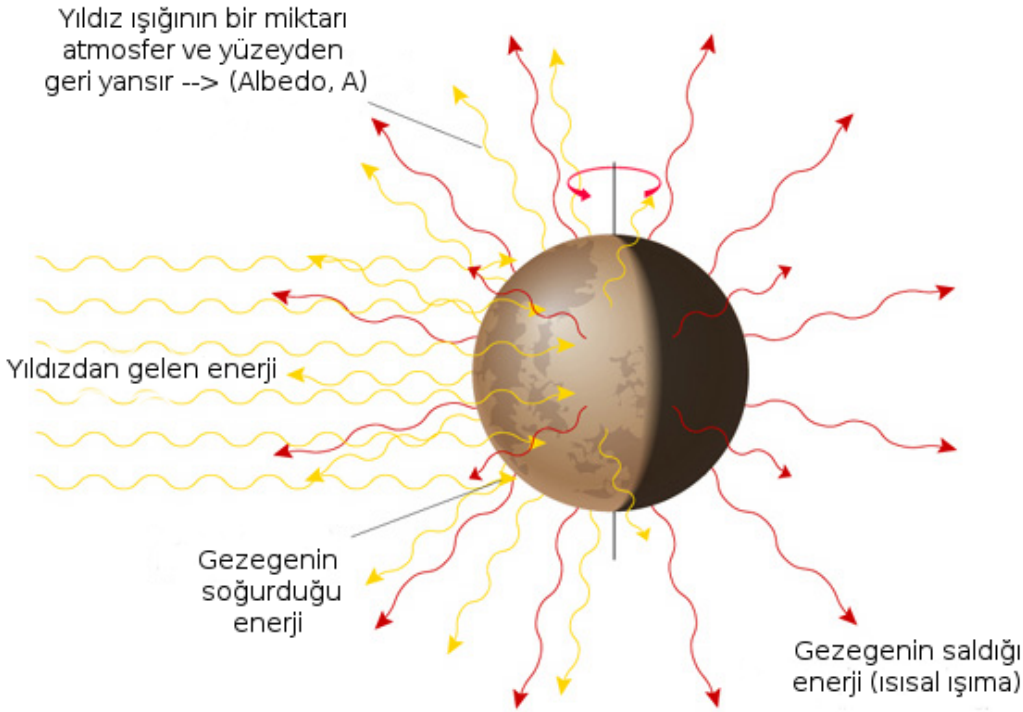


Görsel dalgaboyu aralığını yıldız domine eder, gezegenden sadece yansıma kaynaklı ışımaya alınır

Kızılötede ise gezegenin termal emisyonu da etkili olmaya başlar

# Denge Sıcaklığı (Equilibrium Temperature)

**Temel Yaklaşım**, gezegeni enerjisini sadece yıldızından alan bir “karacisim” olarak hayal etmektir. Bu yaklaşımla hesaplanan sıcaklığına **Denge Sıcaklığı** adı verilir. Denge sıcaklığı hesaplanırken gezegenin atmosferi (dolayısıyla sera etkisi) ve kendi ışınımı da yok sayılır.



**Gezegenin birim alan başına soğurduğu toplam enerji:**

$$(1 - A) L_* / (4 \pi d^2) \quad (A: \text{albedo, } d: \text{gezegen-yıldız uzaklığı})$$

**Yıldıza bakan yüzeyinde ( $\pi R_g^2$ ) soğurduğu toplam enerji:**

$$\pi R_g^2 (1 - A) L_* / (4 \pi d^2) \quad (L_*: \text{yıldızın ışınım gücü})$$

**Denge koşulu:** Gelen Enerji = Harcanan Enerji

**Gezegenin birim alanından salınan ısısal enerji:**

$$\epsilon \sigma T^4, \quad \epsilon: \text{salma gücü, Tüm yüzeyinden: } 4 \pi R_g^2 \epsilon \sigma T^4$$

Gezegenin yüzeyinde soğrulan toplam enerji (sadece yıldıza bakan yönde) = Gezegen tarafından salınan ısısal enerji (her yönde) :

$$\pi R_g^2 (1 - A) L_* / (4 \pi d^2) = 4 \pi R_g^2 \epsilon \sigma T^4$$

$$T_{denge} = \left( \frac{(1 - A) L_*}{16 \pi \epsilon \sigma d^2} \right)^{1/4} = \left( \frac{(1 - A) 4 \pi R_*^2 \sigma T_*^4}{16 \pi \epsilon \sigma d^2} \right)^{1/4} \rightarrow T_{denge} = \left( \frac{1 - A}{\epsilon} \right)^{1/4} T_* \sqrt{\frac{R_*}{2d}} \quad \epsilon \sim 1$$



# Gezegen Geçişleri ve Yörünge Eğimleri

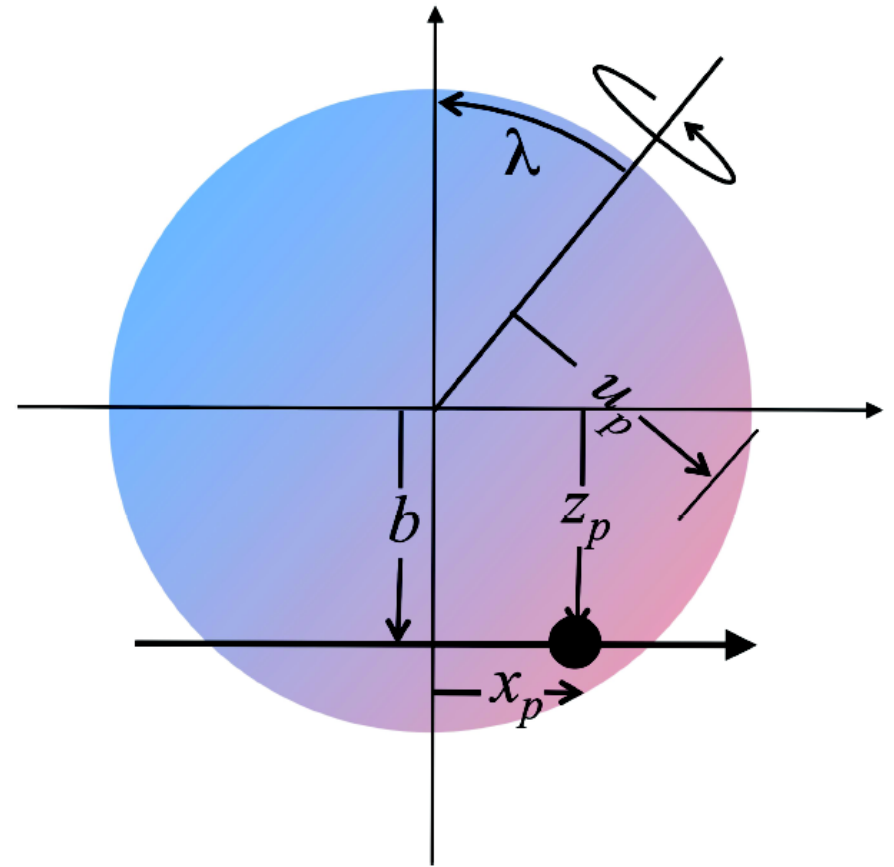
sıcak-Jüpiterler ( $M_p > 0.3 M_{jüp}$ ,  $P_{yör.} < 10^{gün}$ )

1. "buz çizgisinin" ötesinde oluşmalı
2. Peki buldukları yere nasıl geldiler?
  - Öngezegen diskleri içinde içe doğru düzenli göç (Goldreich ve Tremaine 1980),
  - Gezegen-gezegen etkileşimleri (Fabricky ve Tremaine 2007, Dawson ve Murray-Clay 2013),
  - Gezegen-yıldız, Gezegen-gezegen arası tedirginlik kuvvetleri (Albrecht vd. 2012),
  - Muhtemelen tüm bu mekanizmaların bir bileşkesi

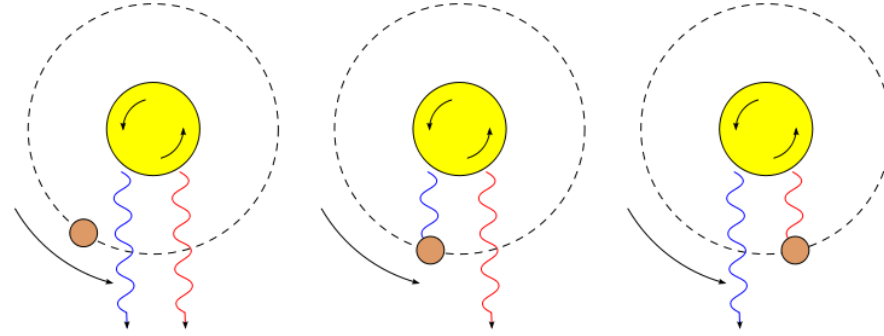
Mevcut bu senaryolar sonuçta oluşan gezegen popülasyon karakteristikleri üzerine farklı öngörülere sahiptirler. Gezegenin yörüngesi ile yıldızın dönme eksenini arasındaki açı ( $\Psi$ ) bu parametrelerden en önemlisidir. Dolaysıyla bu açıyı (ya da gökyüzündeki izdüşümünü,  $\lambda$ ) belirlemek, gezegen oluşum senaryolarının testi açısından önem taşır (Mancini ve Southworth (2016)).

Bu açıyı gezegen geçişleri sırasında

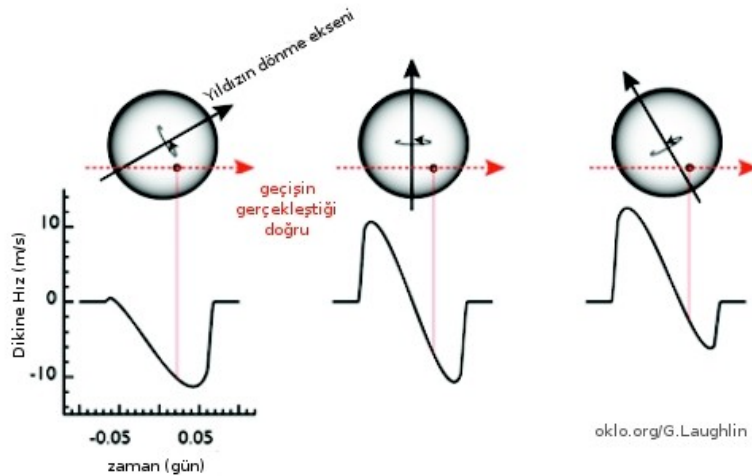
- 1) Rossiter-McLaughlin etkisi gözlemleri,
- 2) Doppler tomografi ( $\Psi$ )
- 3) Yüze parlaklık dağılımı düzensizliklerinin gözlemleri ile belirlemek mümkündür.



# Rossiter – McLaughlin Etkisi



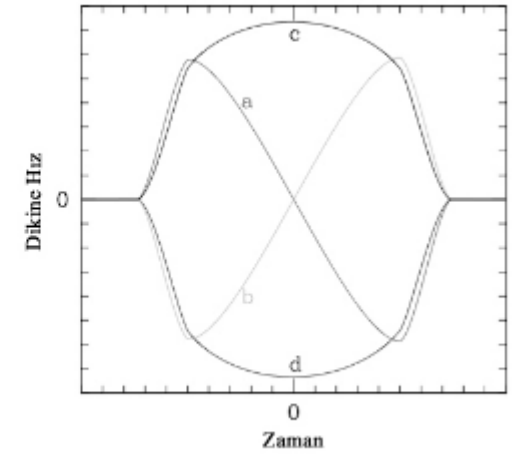
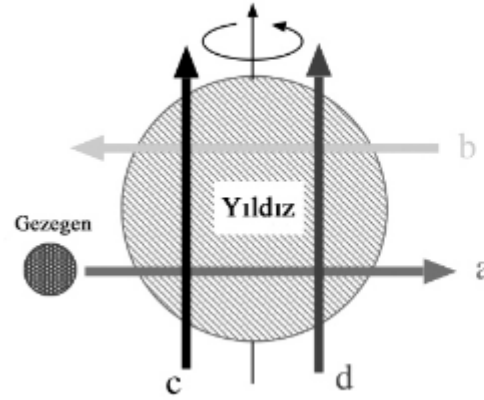
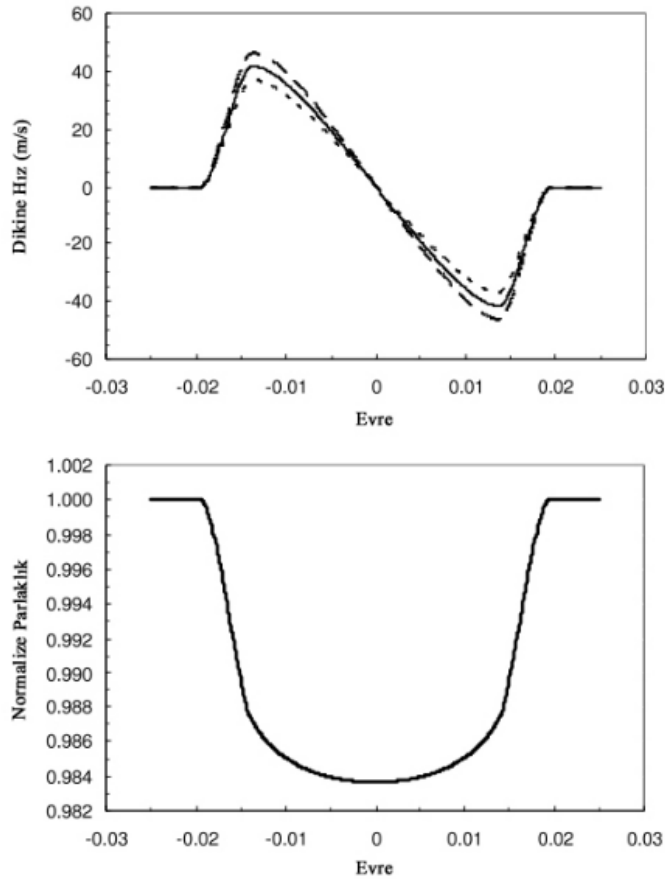
Gözlemcinin şekle alttan baktığı düşünülmalıdır. Kendi etrafında saatin ters yönünde dönen yıldızın gözlemciye yaklaşan tarafının katkıda bulunduğu soğurma çizgileri maviye kayarken, uzaklaşan tarafın katkıda bulunduğu çizgiler ise maviye kayar. Yıldız gözlemlerinde disk çözünürlüğüne sahip olmadığımız için toplamda gözlenen yıldızın dönmesi nedeniyle genişlemiş bir çizgidir. Ancak gözlemciye yıldızın arasından geçen gezegen (örneğimizde o da saatin ters yönünde dolandıği için önce) katkıda bulunduğu çizgilerin maviye kaydığı gözlemciye yaklaşan tarafı, sonra da uzaklaşan tarafı kapatır ve bu nedenle bu süreçlerde yıldız diskinin o bölgelerinden gelen ışığı engeller. Sonuç olarak, çizgilerin maviye kaydığı gözlemciye yaklaşan taraf gezegen tarafından kapatıldığında kırmızıya kayma; kırmızıya kaydığı gözlemciden uzaklaşan taraftan gelen ışık gezegen tarafından bloke edildiğinde ise maviye kayma baskın hale gelir. Bu nedenle gezegenin yıldız önünden geçişi sırasında ilave bir dikine hız değişimi gözlenir. Dikine hızda gözlenen bu anomaliye “Rossiter-McLaughlin” etkisi adı verilir.



Rossiter-McLaughlin etkisinin şekli ve boyutu yıldızın dönme eksenini ile gezegenin yörünge düzlemi arasındaki açıyla doğrudan ilişkili olduğu için (solda), bu açının saptanmasına olanak sağlar. Bu başlı başına çok önemli bir bilgidir. Zira merkezi yığılma teorisi bu açının 90° 'ye yakın olduğunu öngörür. Oysa özellikle son yıllarda gözlenen pek çok sistemde durum böyle değildir!

$$\Delta V_{RM} \approx k^2 \sqrt{1-b^2} v_* \sin i_*$$

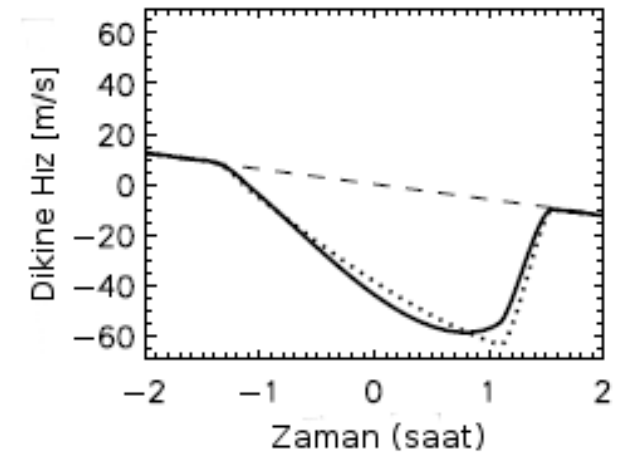
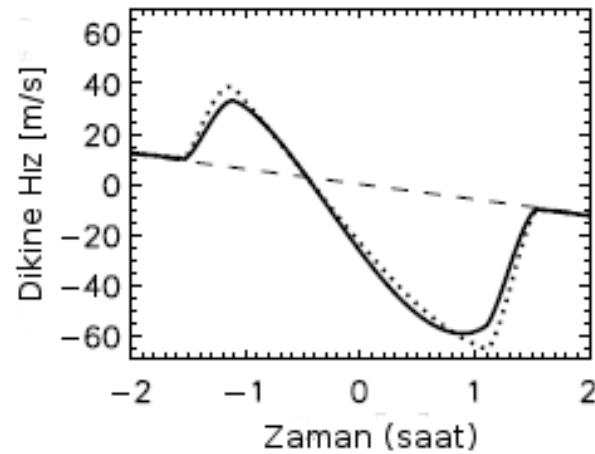
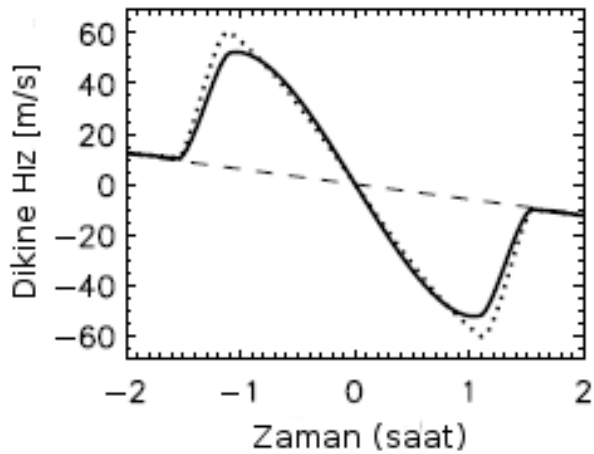
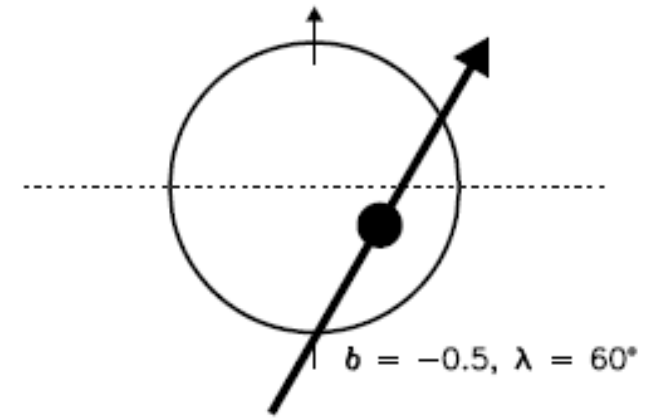
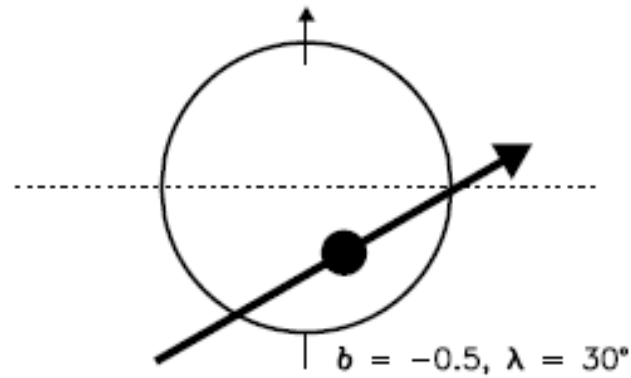
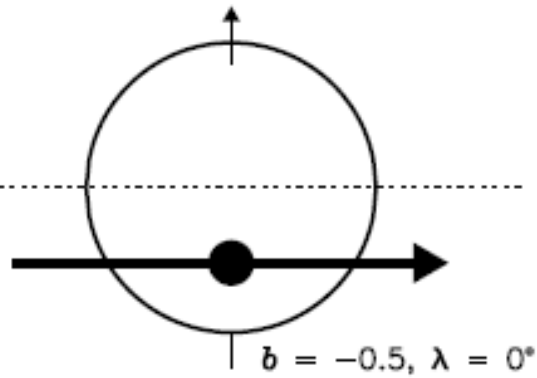
# Rossiter - McLaughlin Etkisi



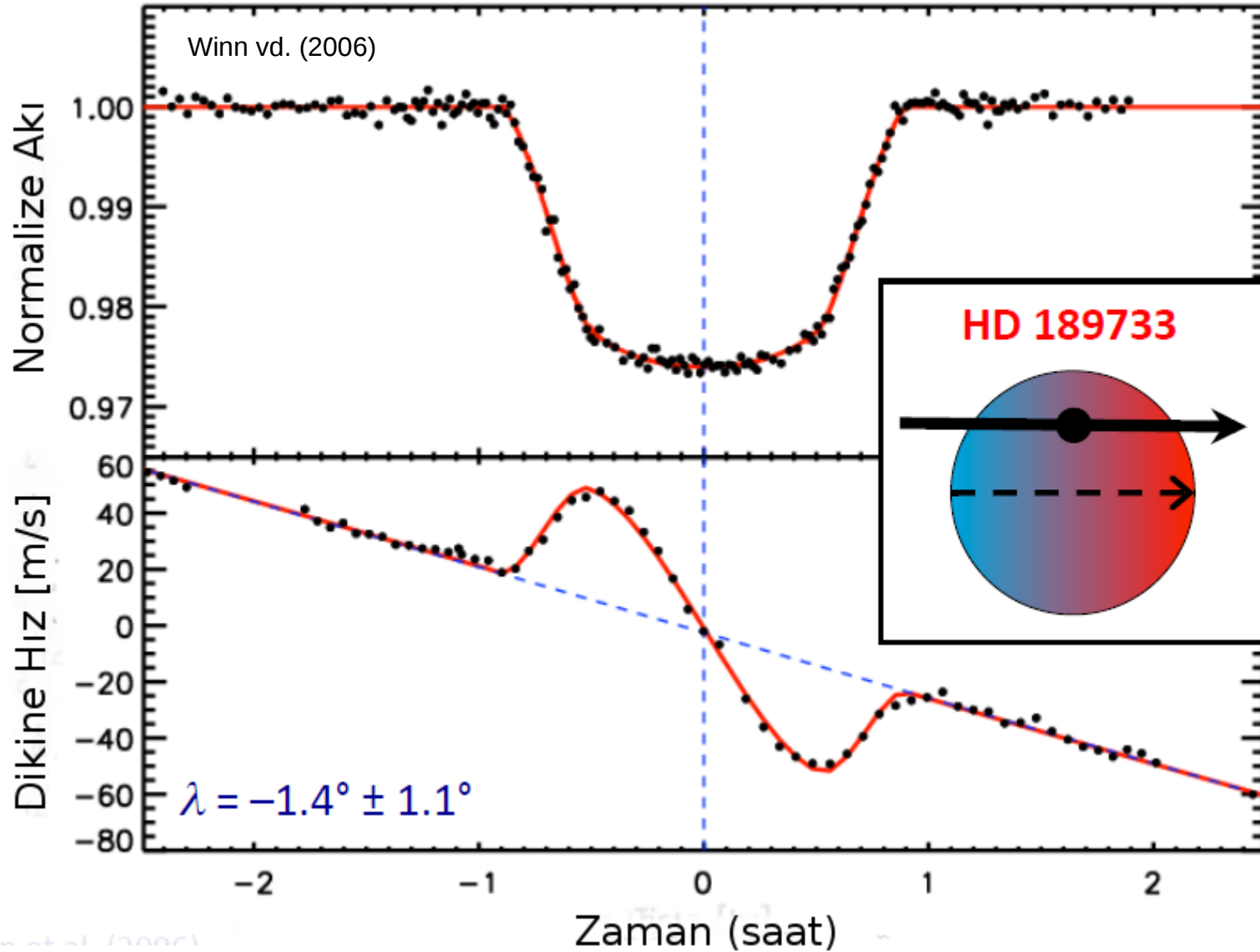
Yıldızın dönme eksenini ile bileşeninin yörünge düzlemi arasındaki çeşitli açılar için dikine hız değişimi (Ohta vd. 2005)

Yukarıda geçiş sırasındaki dikine hız değişimi, aşağıda ise eş zamanlı parlaklık değişimi görülmektedir. Yıldızın dönme hızının dikine hız değişiminin genliği üzerindeki etkisini göstermek üzere 4.5, 5 ve 4 km/s'lik dönme hızlarındaki dikine hızlar sırasıyla kesiksiz, noktalı ve kesikli eğrilerle verilmiştir. Her iki değişim yıldızın dönme dönemine evrelendirilmiştir. (Gimenez vd. 2006)

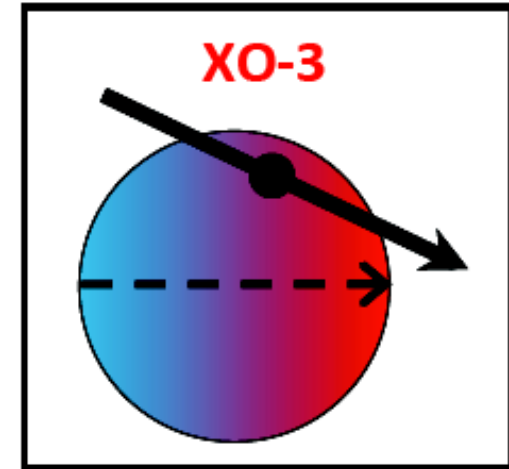
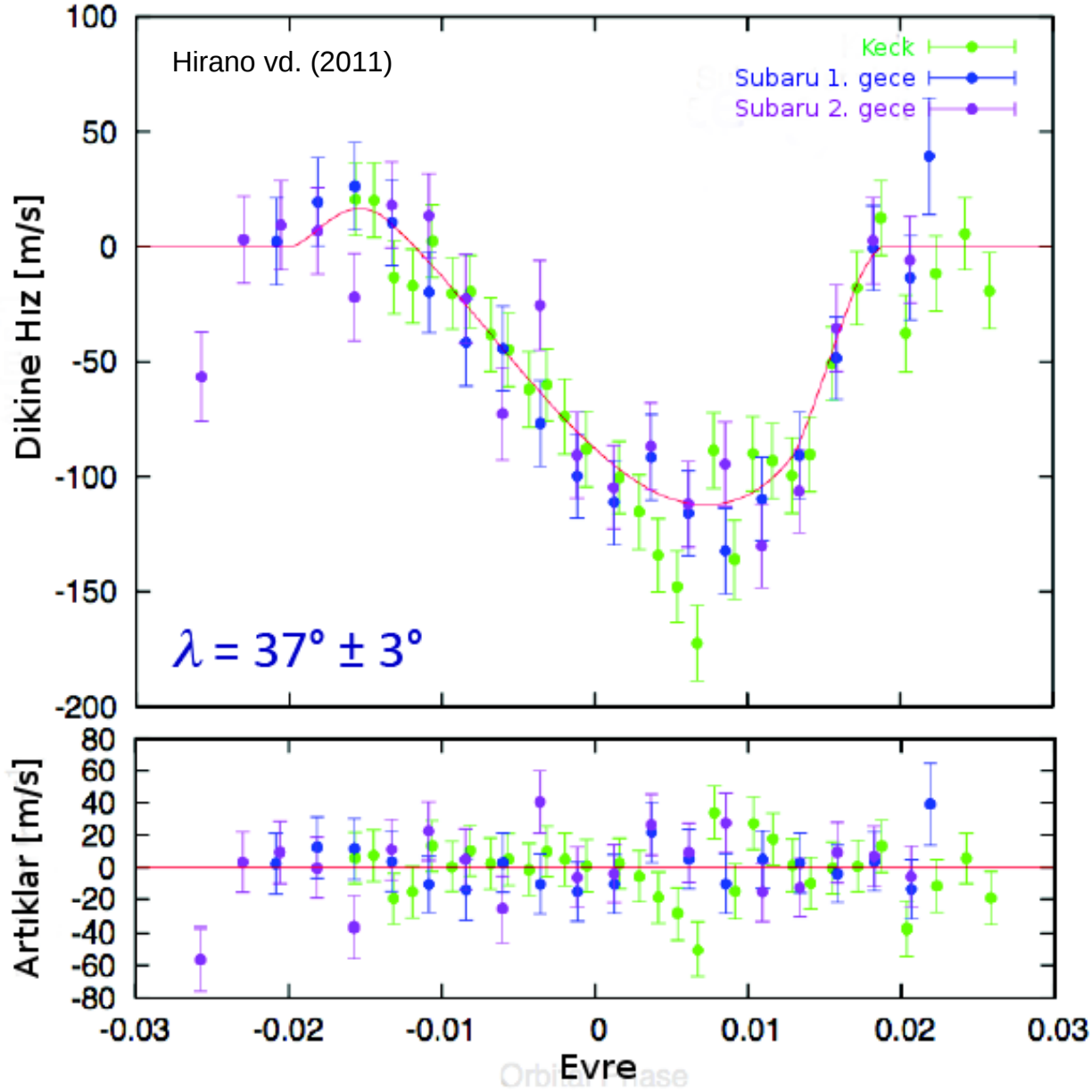
# Rossiter - McLaughlin Etkisi



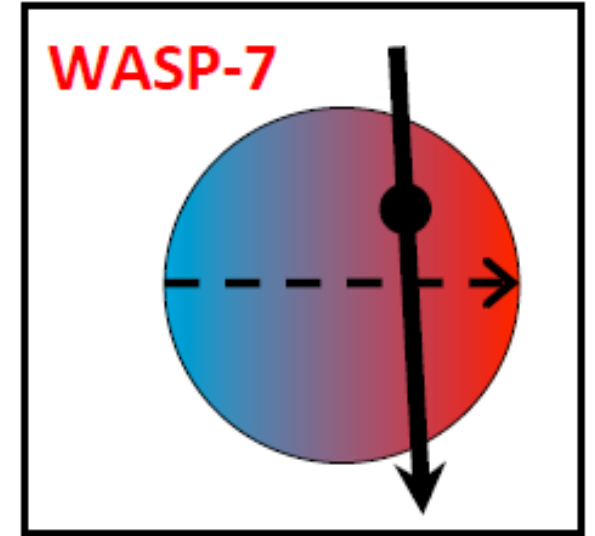
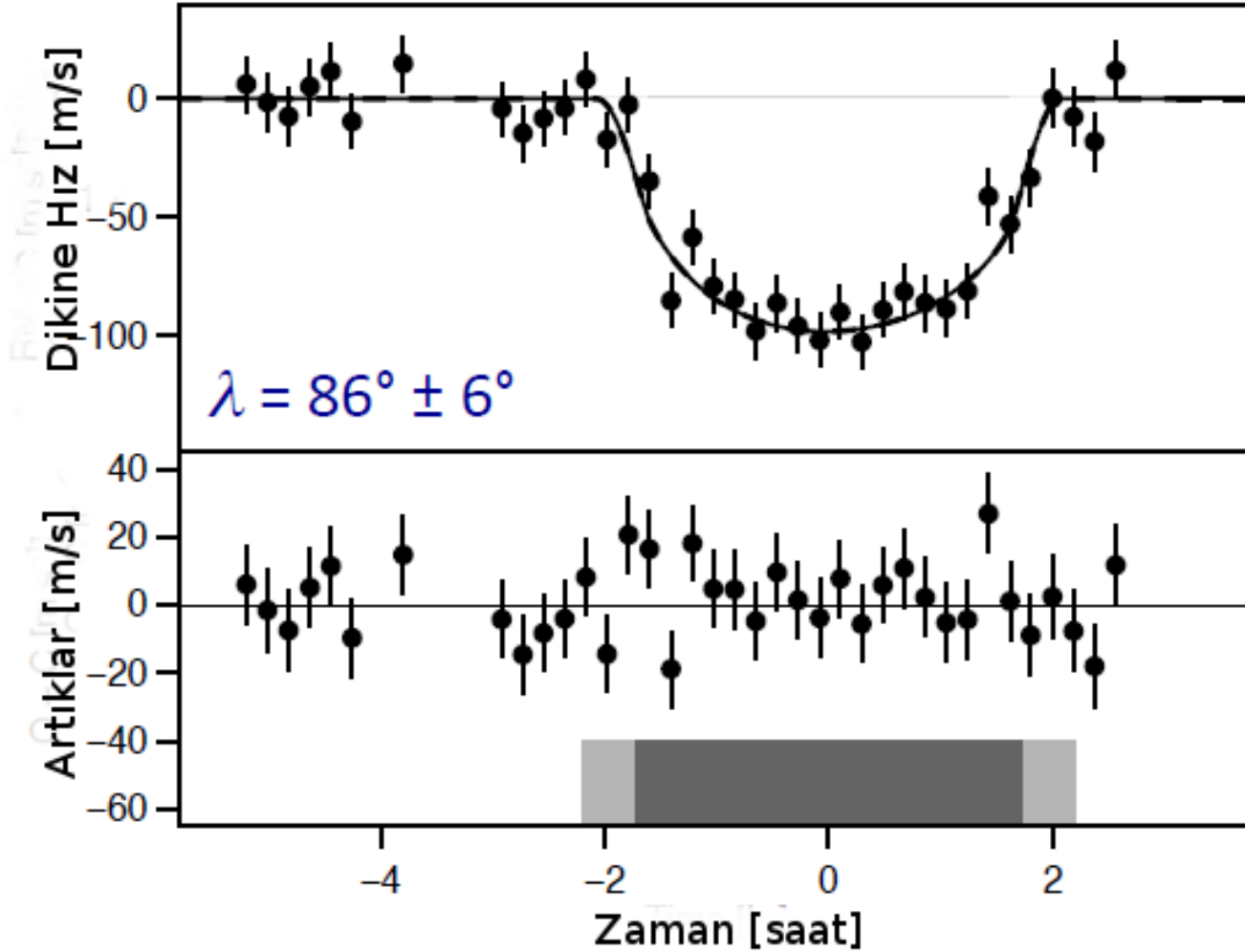
# Yıldızın Dönme Ekseniniyle Hizalı Yörünge



# Yıldızın Dönme Eksenine Eğik Yörünge

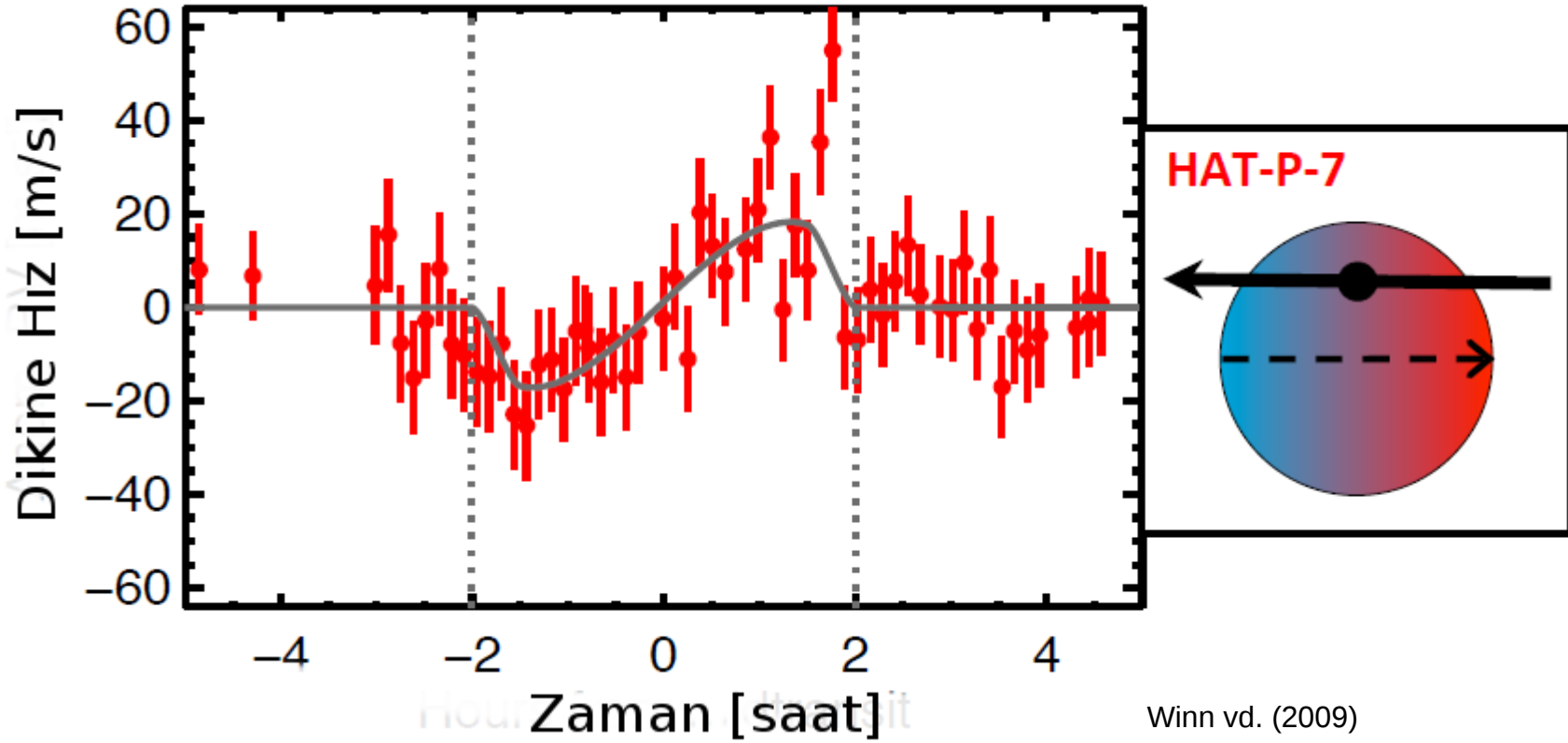


# Yıldızın Dönme Eksenine Dik Yörünge



Albrecht vd. (2011)

# Retrograd Yörünge

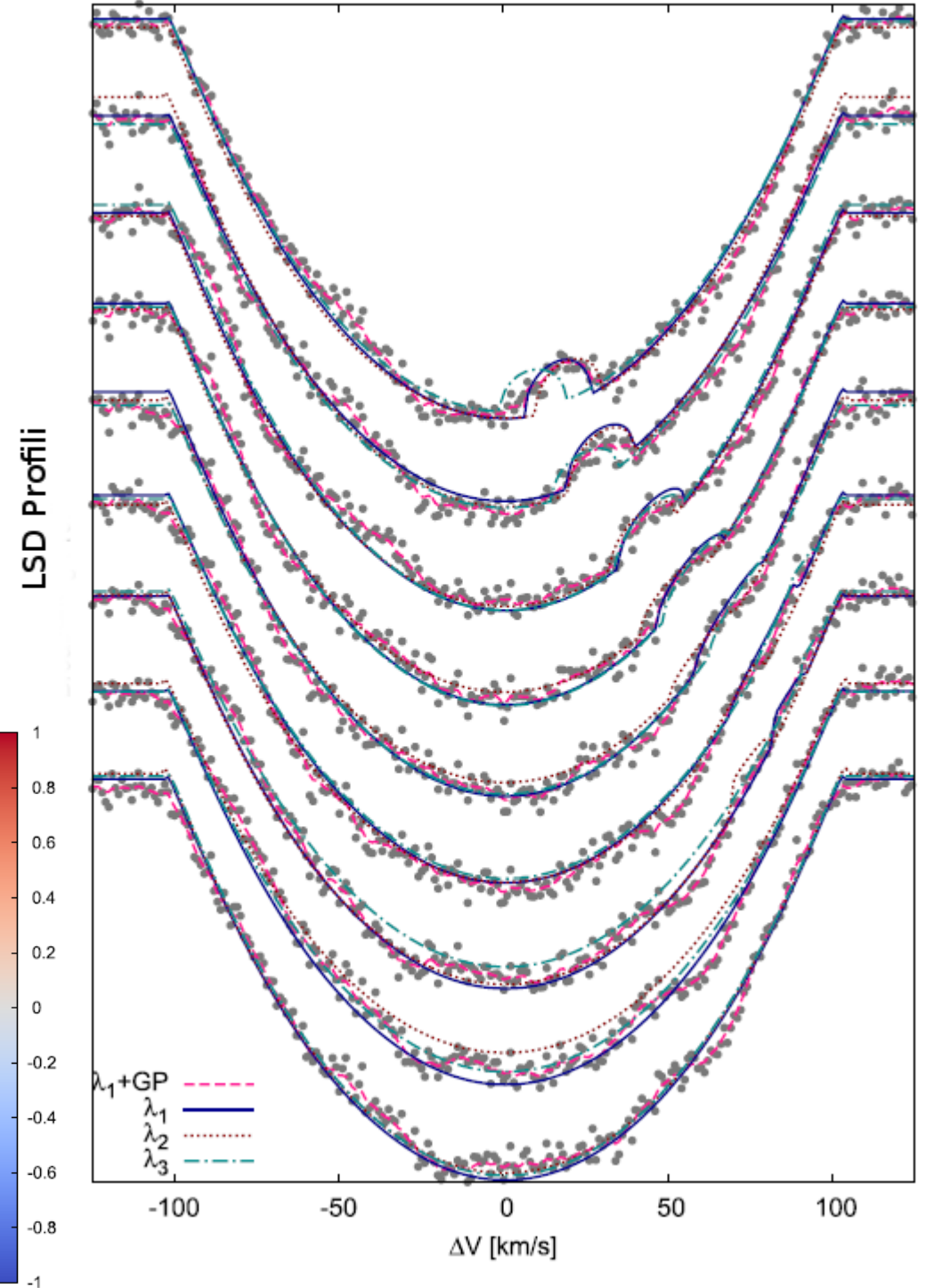
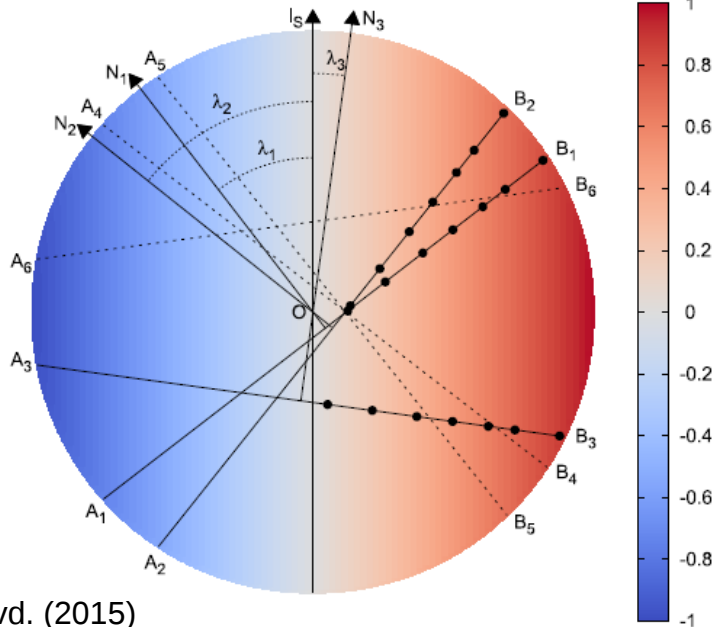


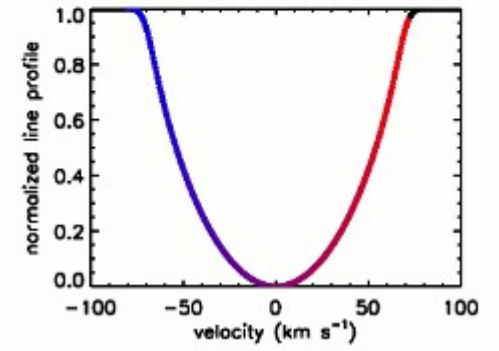
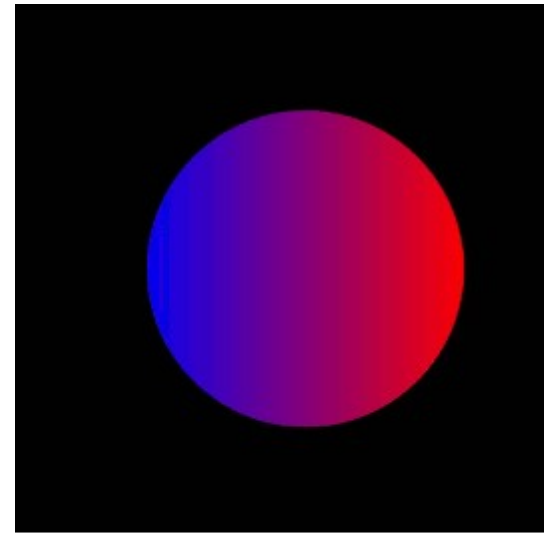
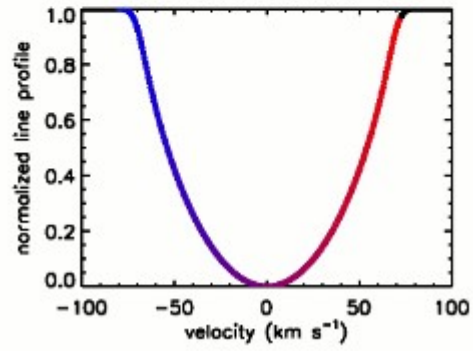
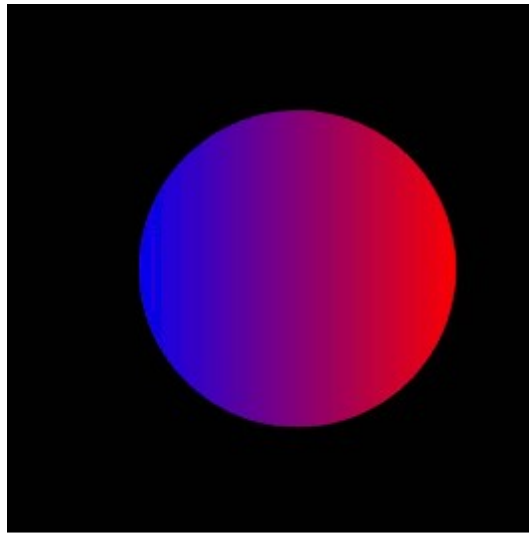
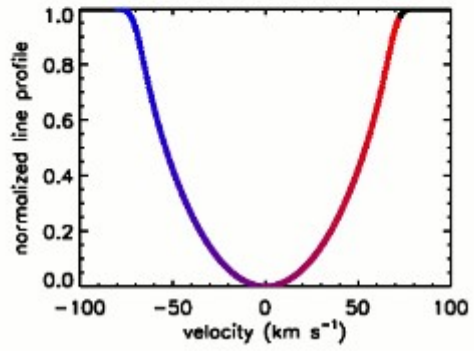
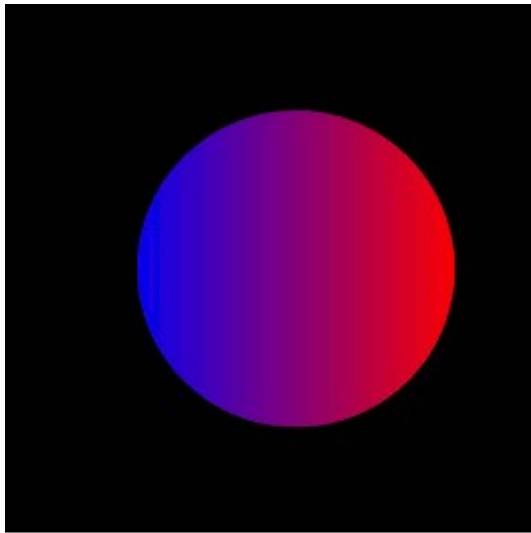


# Doppler Tomografi

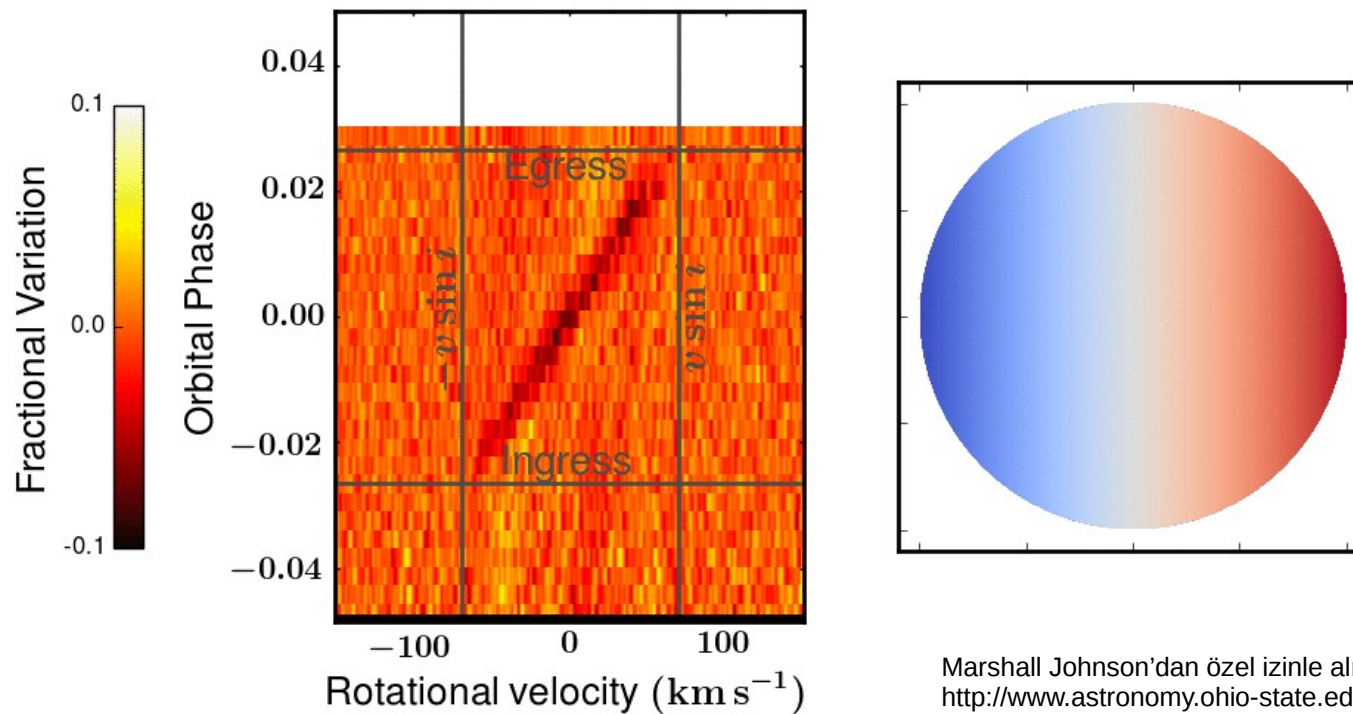
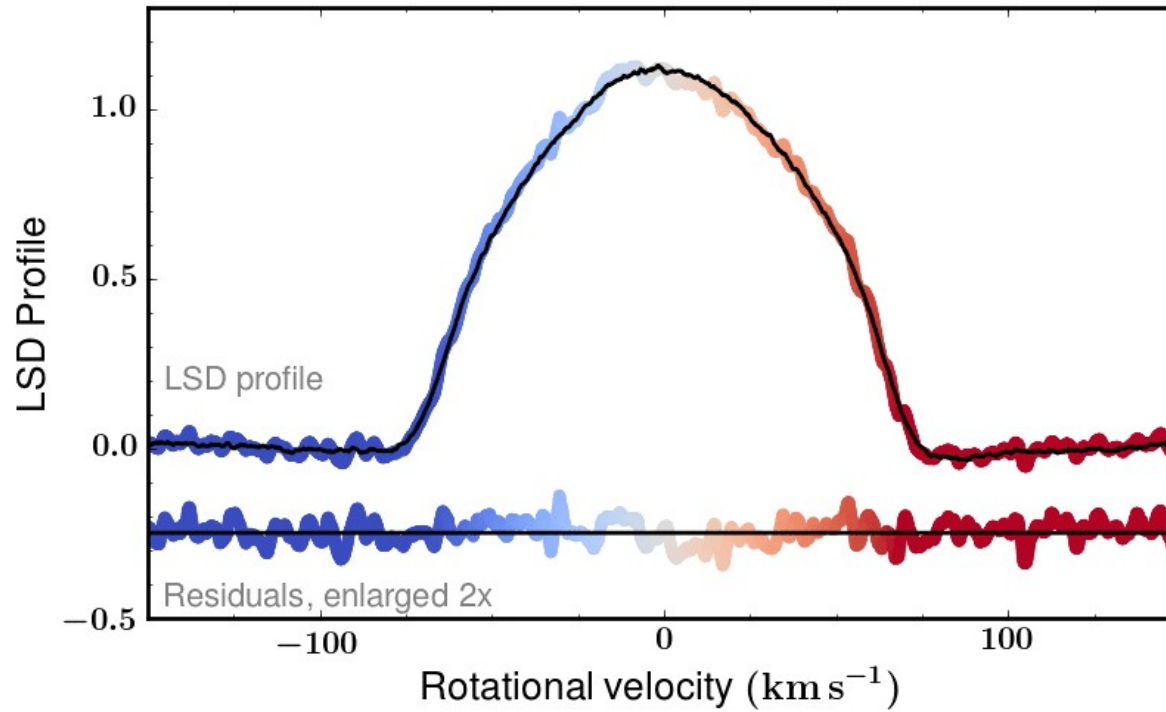
LSD (En Küçük Kareler Tersevrışim) yöntemiyle gezegenin neden olduğu profil bozulmasının doğrudan belirlenmesine dayanır. Yöntemin güçlüğü gezegen geçişi sırasında çok sayıda yüksek tayfsal çözünürlüklü tayfının alınmasının gerekliliğinden gelir.

Buna karşın bazı geçiş yapan gezegenler için gezegenin yörünge eğimi ile yıldızın dönme eksenindeki açı ( $\Psi$ ) belirlenebilmiştir (HD 15082b: Collier-Cameron vd. 2010; KOI-12b: Bourrier vd. 2015; HAT-P-57b: Hartmann vd. 2015; KELT-17b: Zhou vd. 2016)

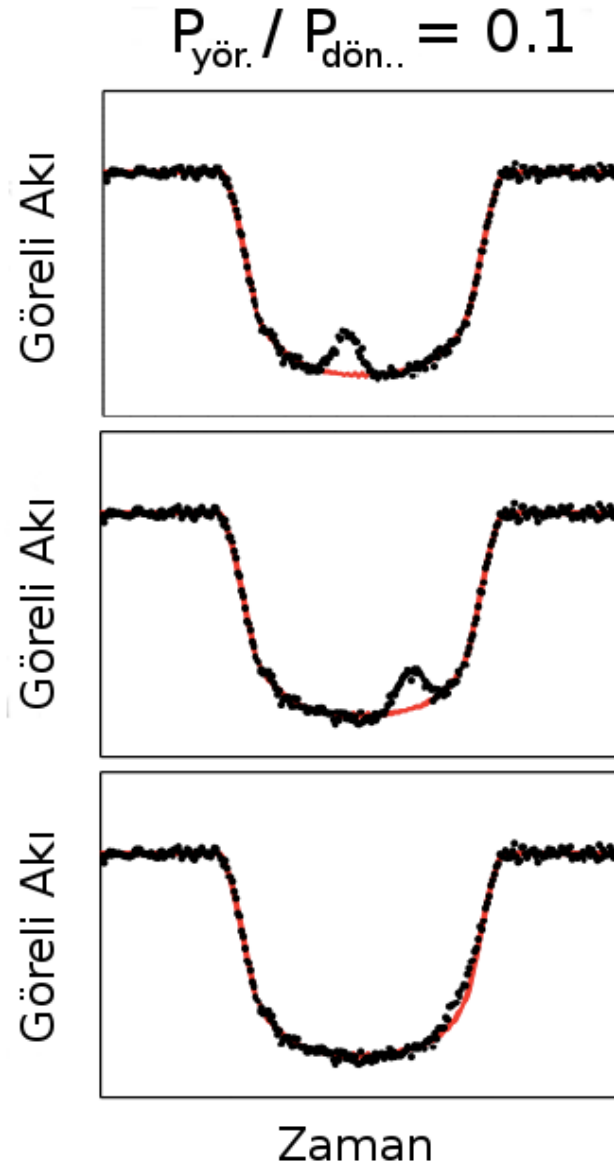
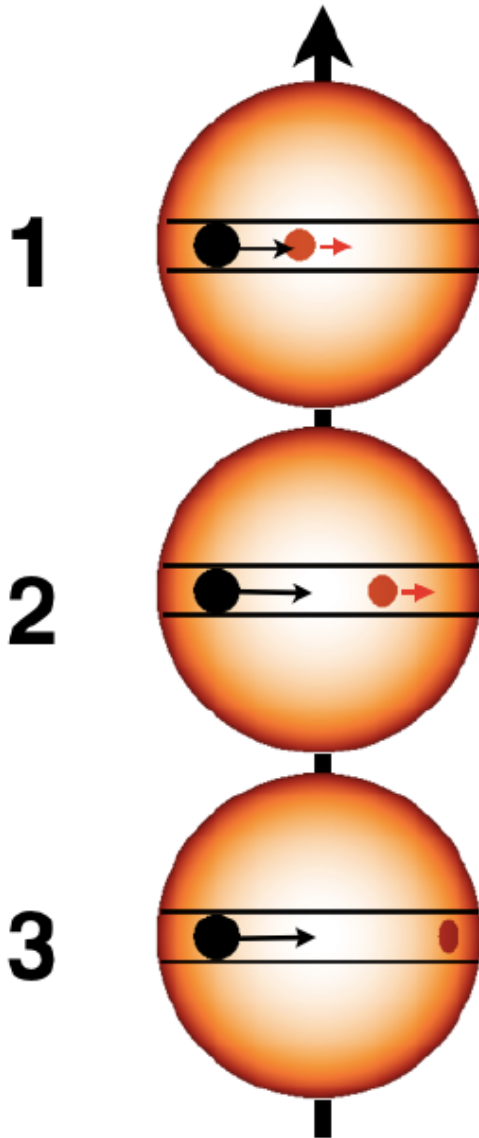




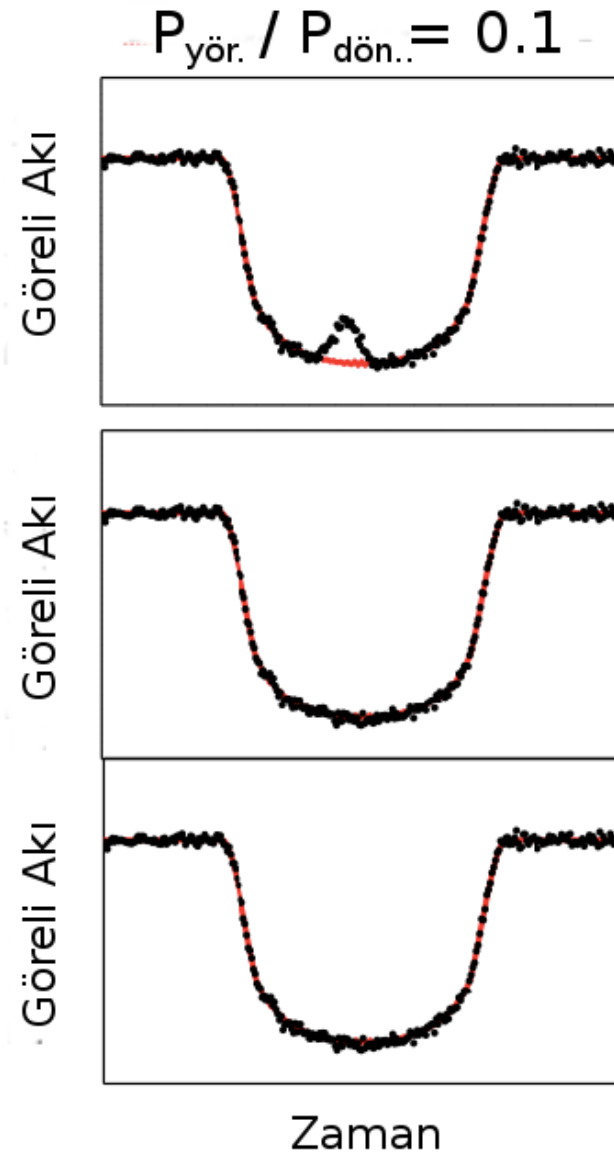
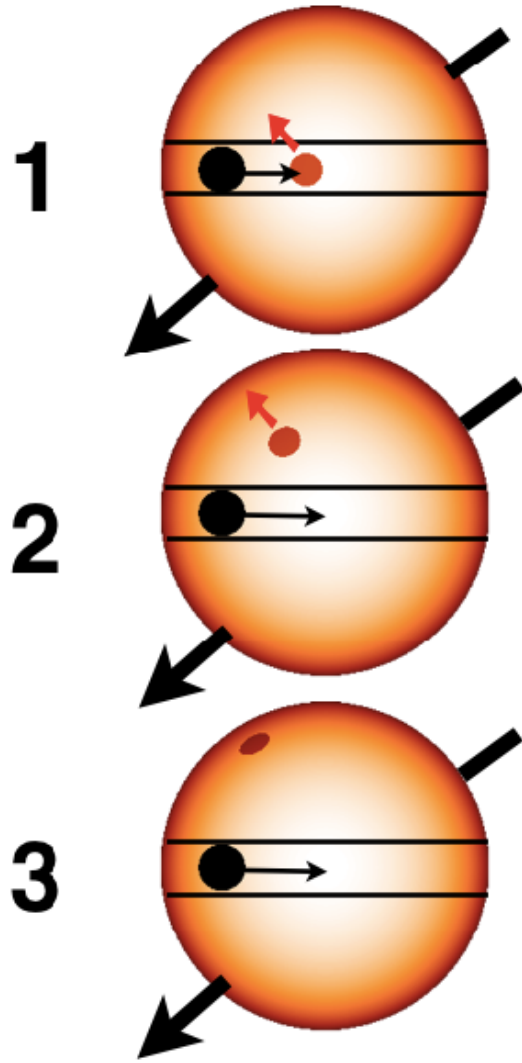
# KELT-7b



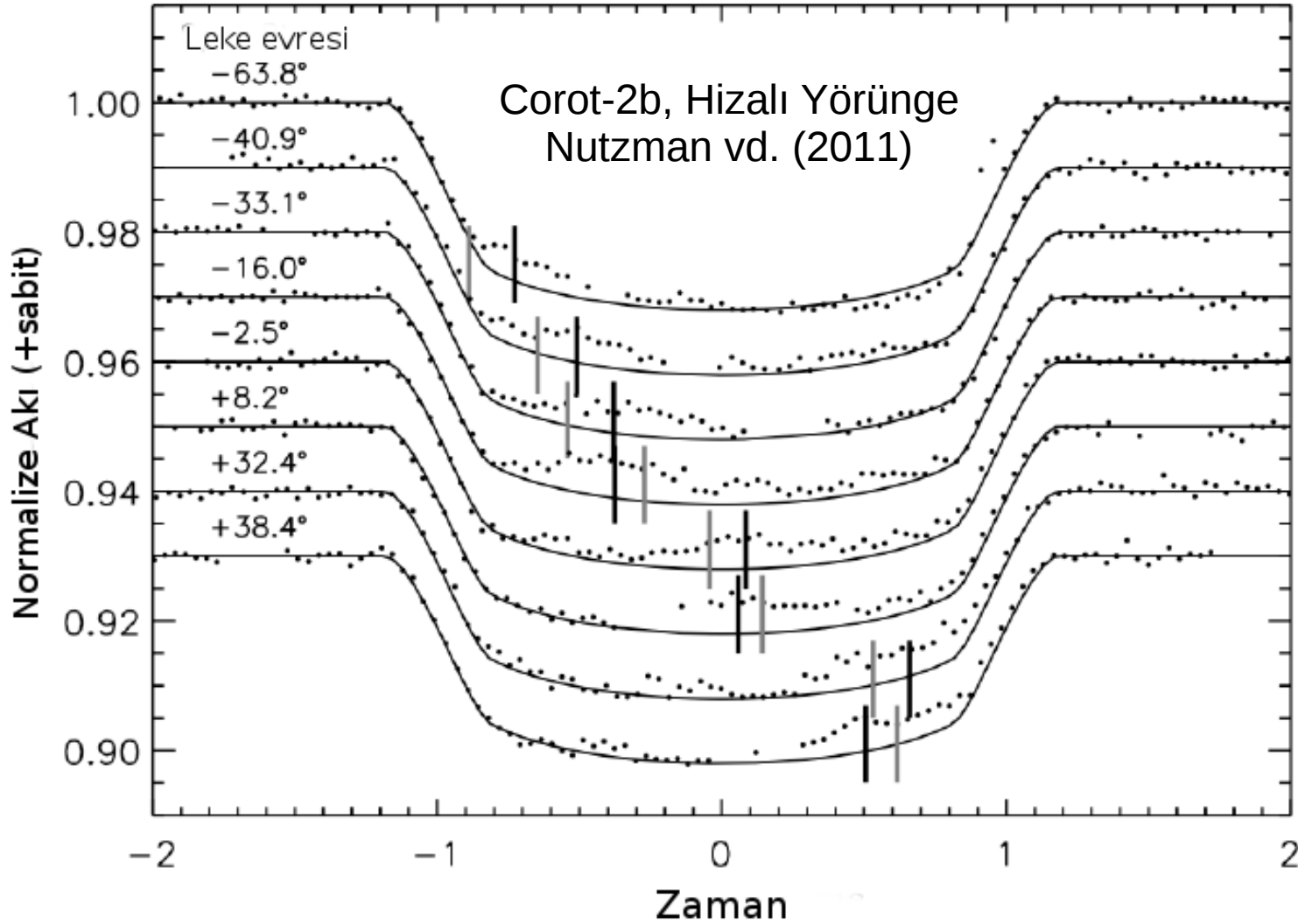
# Gezegen Geçişlerinde Leke Bölgesi Gözlemleri - I



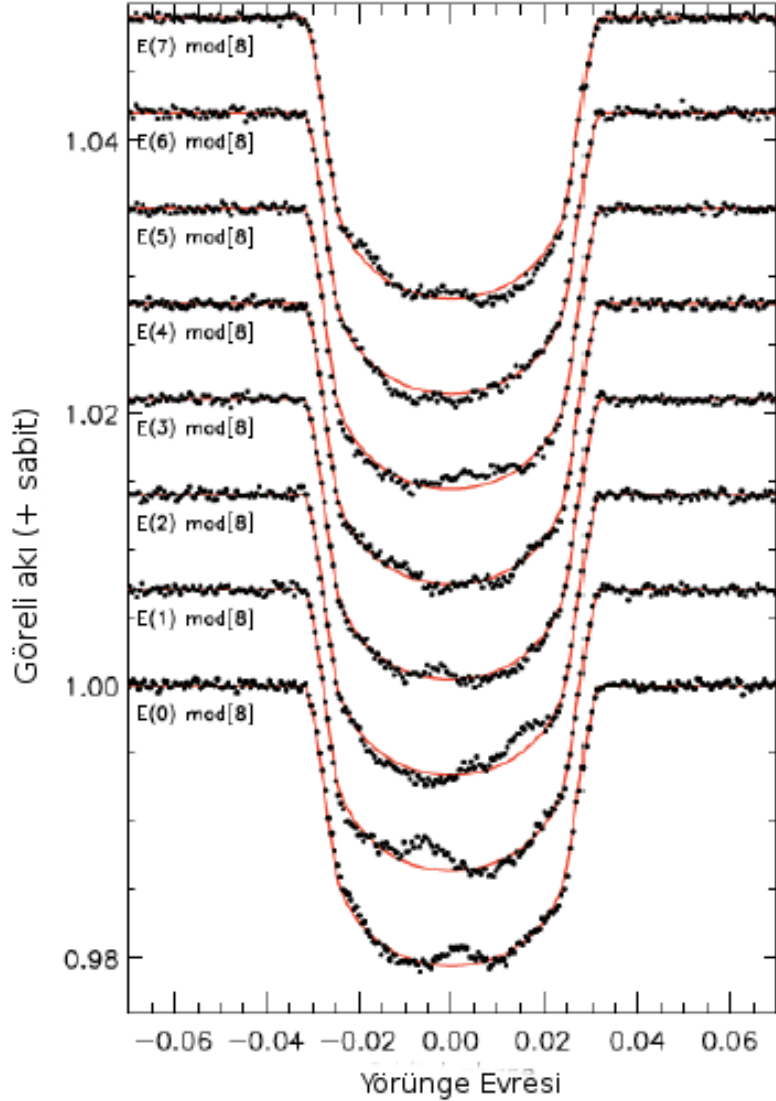
# Gezegen Geçişlerinde Leke Bölgesi Gözlemleri - II



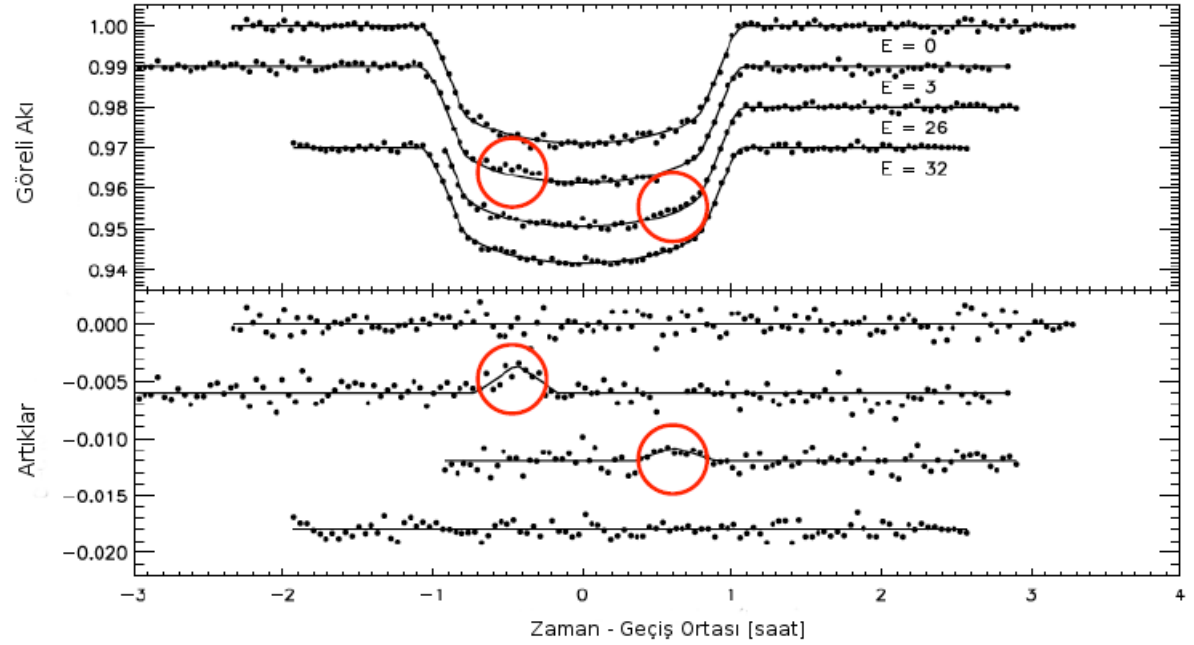
# Gezegen Geçişlerinde Leke Bölgesi Gözlemleri - III



# Gezegen Geçişlerinde Leke Bölgesi Gözlemleri - IV



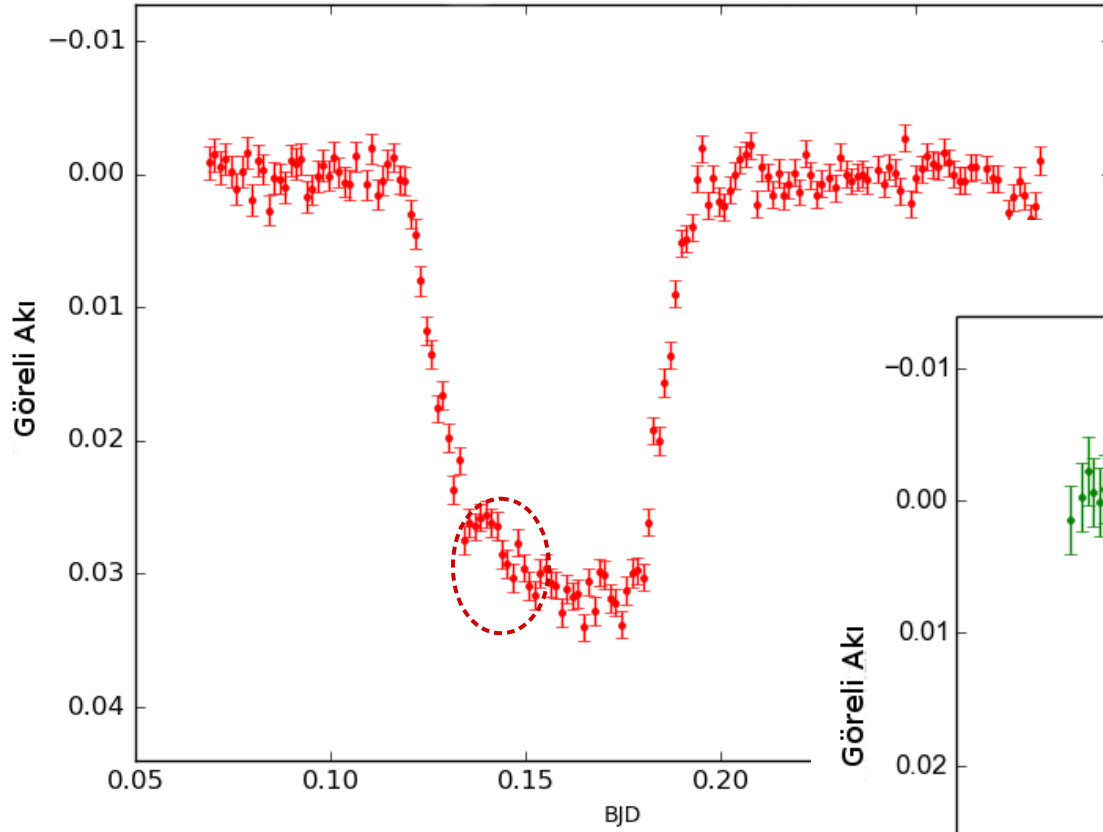
Kepler-17b, Hizalı Yörünge  
Desert vd. (2011)



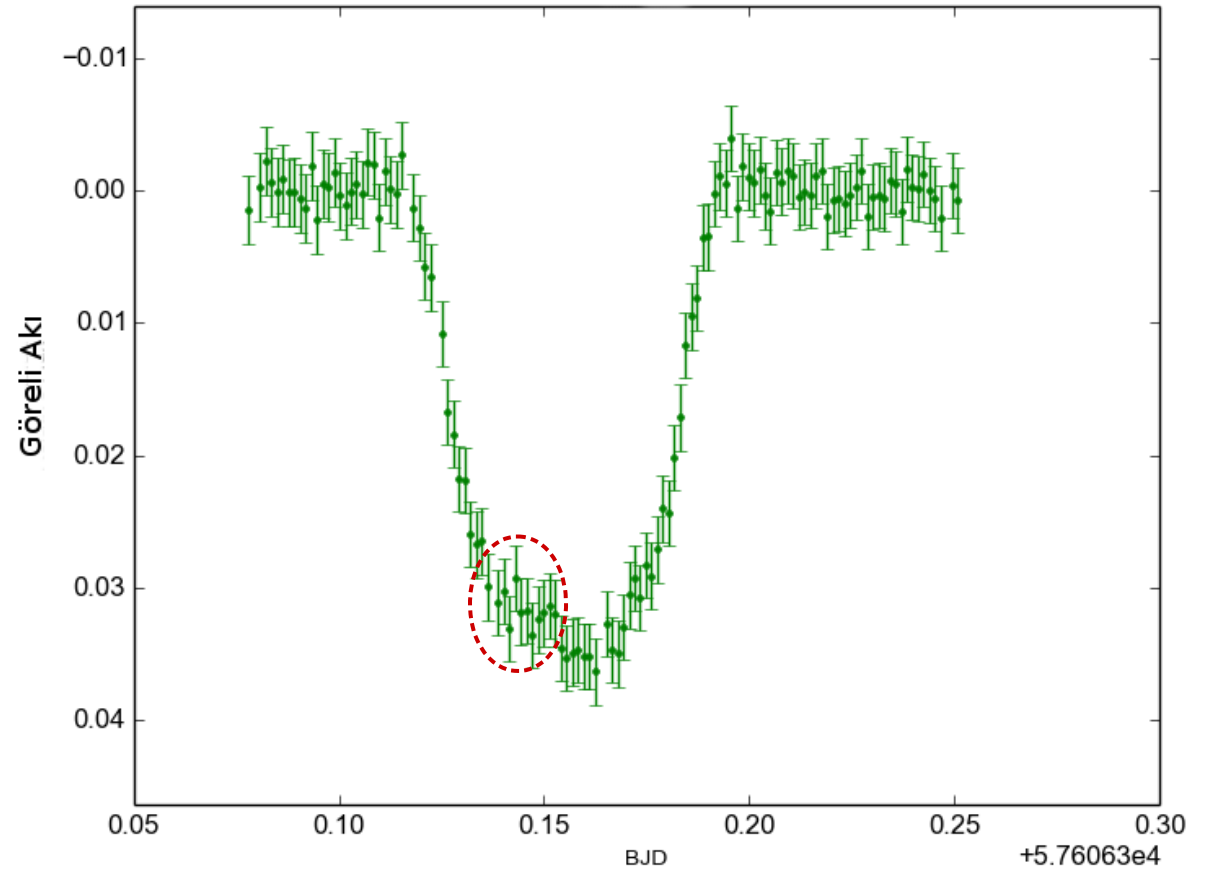
WASP-4b, Hizalanmamış Yörünge  
Sanchis Ojeda ve Winn (2011)

# Gezegen Geçişlerinde Leke Bölgesi Gözlemleri - V

WASP-52b R Bandı Işık Eğrisi  
TUG-T100, 2016-07-29,  $\mu = 1.08$  mmag



WASP-52b V Bandı Işık Eğrisi  
TUG-T100, 2016-08-05,  $\mu = 2.50$  mmag





# Gezegenin Kendi Işıması (Termal Emisyon)

$T_{\text{eff}} = 1000 \text{ K}$  sıcaklığında bir gezegen için, hem yıldızın hem de gezegenin karacisim ışınımı yaptığını varsayarak ışınım şiddetleri:

$$\text{Yıldızın Işığ\i} = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda k T_*} - 1)} 2\pi R_*^2$$

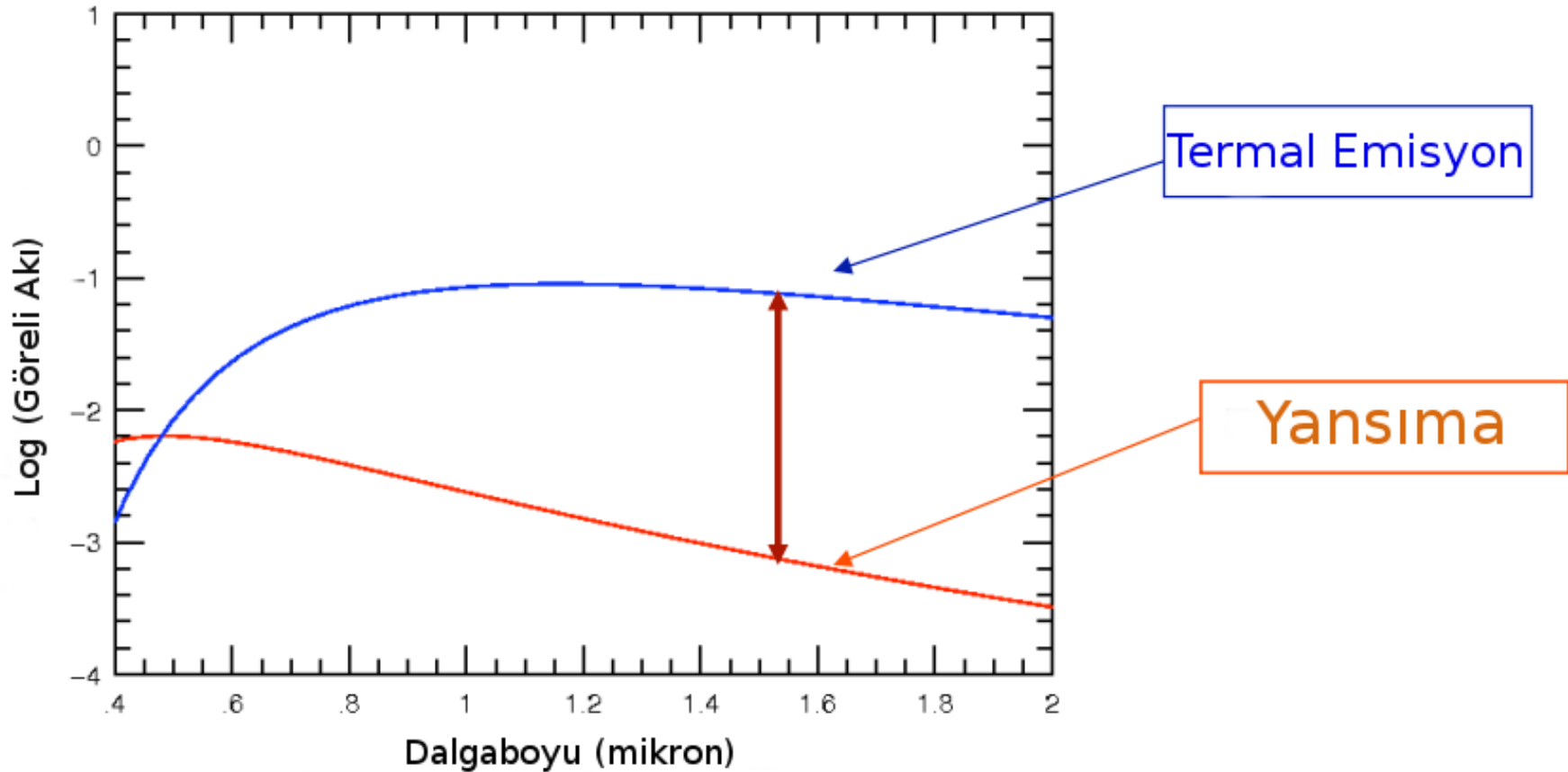
$$\text{Gezegenin Işığ\i} = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda k T_g} - 1)} 2\pi R_g^2$$

$$\frac{F_g}{F_*} = \frac{e^{hc/\lambda k T_*} - 1}{e^{hc/\lambda k T_g} - 1} \frac{R_g^2}{R_*^2}$$



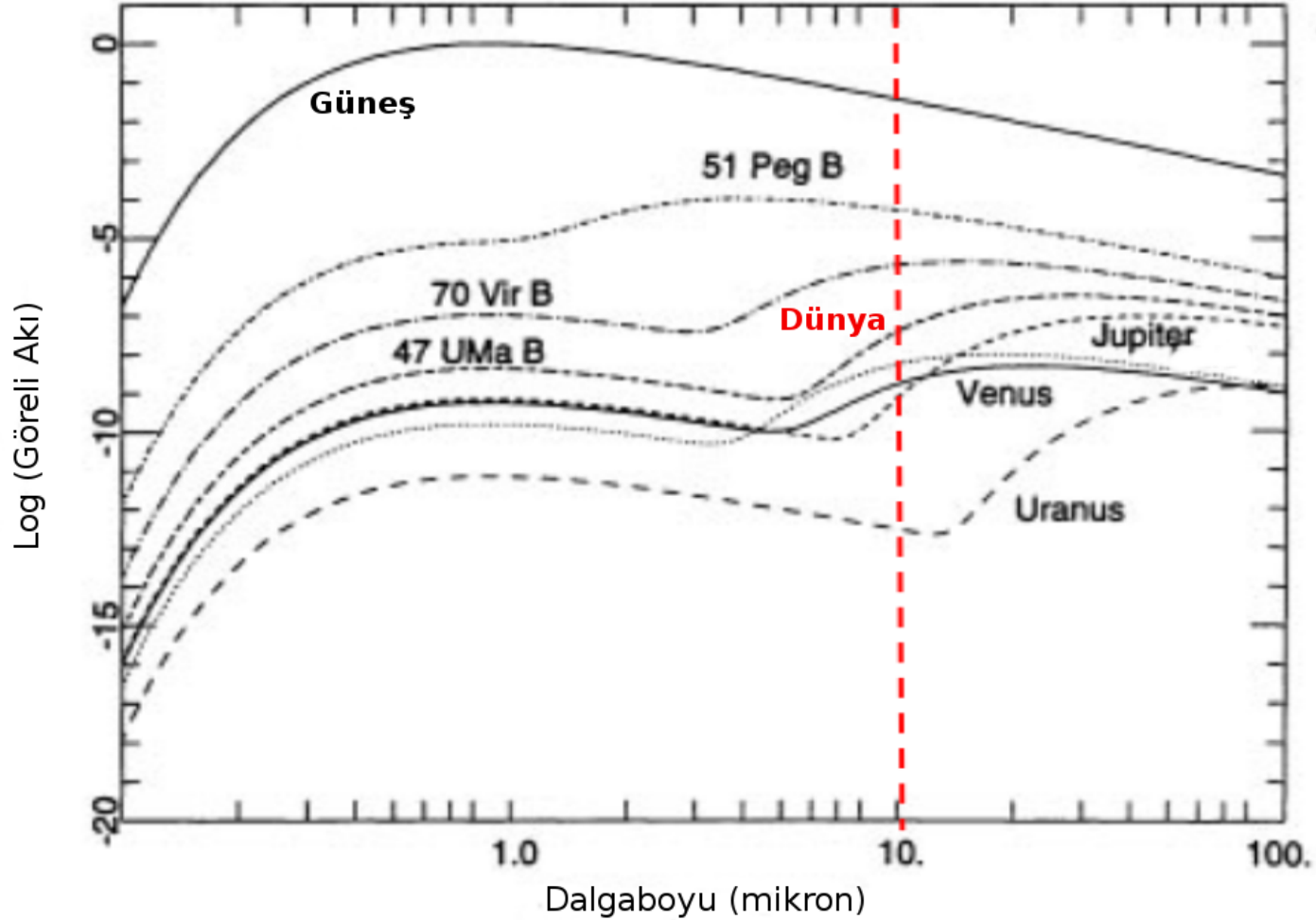
$T_* = 5800 \text{ K}$  sıcaklığında Güneş-benzeri bir yıldızın etrafındaki,  $1.5 R_{\text{jüp}}$  yarıçapında  $T_g = 1000 \text{ K}$  sıcaklığında bir gezegen için  $\lambda = 8 \mu\text{m}$ 'de  $F_g / F_* = 0.0016$

# Gezegeenin Kendi Işıması (Dalgaboyu Bağımlılığı)



$R = 1.5 R_{jüp}$ ,  $a = 0.025$  AB ( $P = 1^{gün.5}$ ),  $T_g = 2500$  K,  $A$  (g. albedo) = 0.1 bir gezegen için yansımaya ile gezegenin kendi ışması 5000 Angstrom civarında eşittir!

# Gezegeenin Kendi Işıması (Dalgaboyu Bağımlılığı)



Dünya'nın 10  $\mu\text{m}$ 'de Güneş Sistemi'nin en parlak gezegeni olduğuna dikkat ediniz!

# Geçiş Tayf Ölçümü - I

Şu ana kadar gezegenin disk kenarını düzgün bir yay olarak ele aldık. Ancak gaz gezegenlerin bir yüzeyi bulunmadığı gibi, karasal gezegenlerin de kalın atmosferleri olabilir.  $R_g$  gezegenin tüm dalgaboylarında opak olan yarıçapını tanımlamak üzere, gezegenin optik ince atmosferi kaynaklı ekstra ışık değişimi

$$\Delta \delta = \frac{\pi (R_g + N_H H)^2}{\pi R_*^2} - \frac{\pi R_g^2}{\pi R_*^2} \approx 2 N_H \delta \left( \frac{H}{R_g} \right)$$

- H : Gezegen atmosferinin ölçek yüksekliği (scale height)\*  
N<sub>H</sub> : Yıldız ışığının içinden geçtiği ölçek yüksekliği sayısı  
T : Gezegenin yüzey sıcaklığı (T),  
M<sub>m</sub> : Ortalama molekül ağırlığı,  
g : Yüzey çekim ivmesi
- $$H = \frac{k_B T}{\mu_m g}$$

İfadeler gezegen atmosferi kaynaklı değişimin yüksek ölçek yükseklikleri için büyük olacağını açıkça göstermektedir. Bu da yüksek yüzey sıcaklıklı, “hafif” atmosfere sahip sıcak-Jüpiterler için bu değişimin daha büyük olacağı anlamına gelir.

## Tipik sıcak-Jüpiter

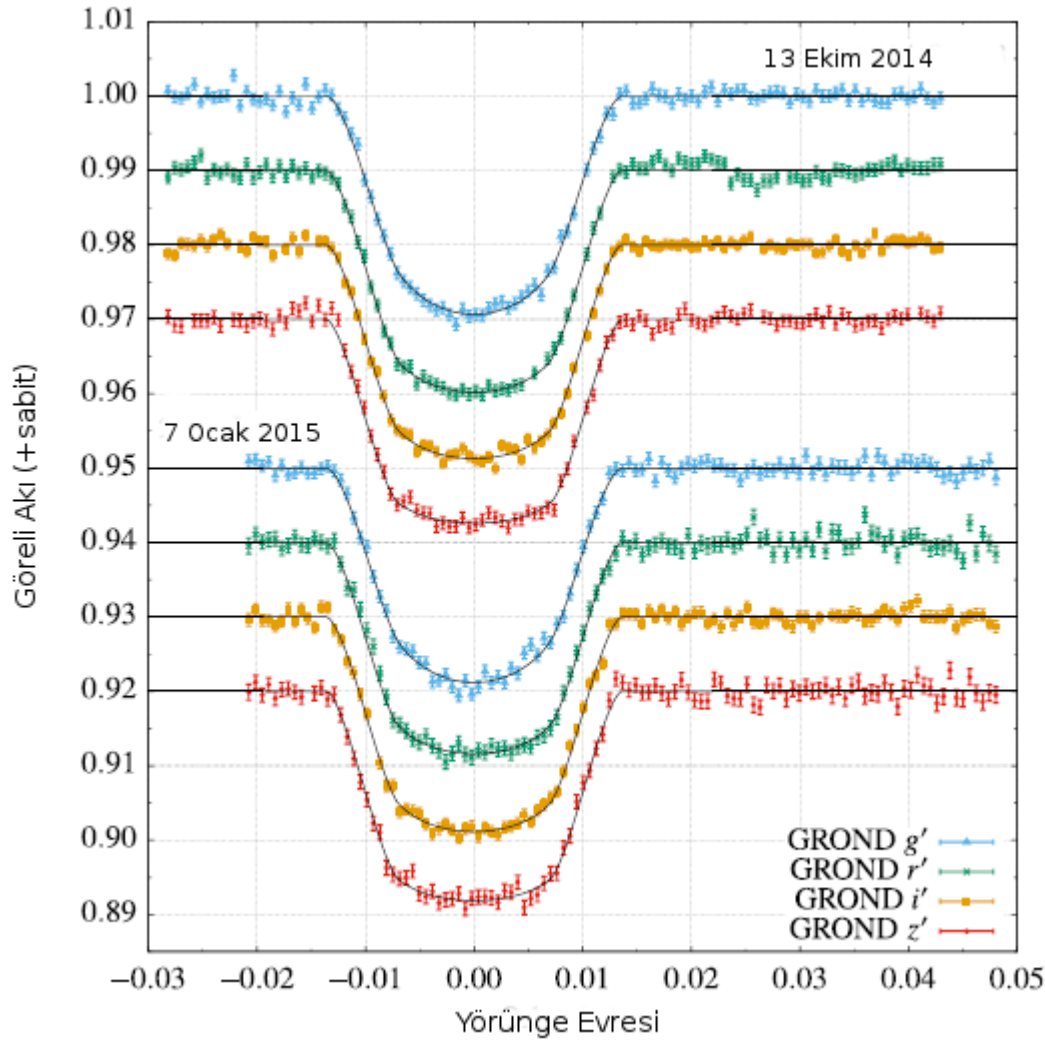
$$\begin{aligned} T_{\text{eq}} &= 1300 \text{ K} \\ g &= 25 \text{ m/s}^2 \\ \mu_m &= 2 \text{ akb} \end{aligned} \longrightarrow \Delta \delta \approx \% 1$$

## Yer-benzeri

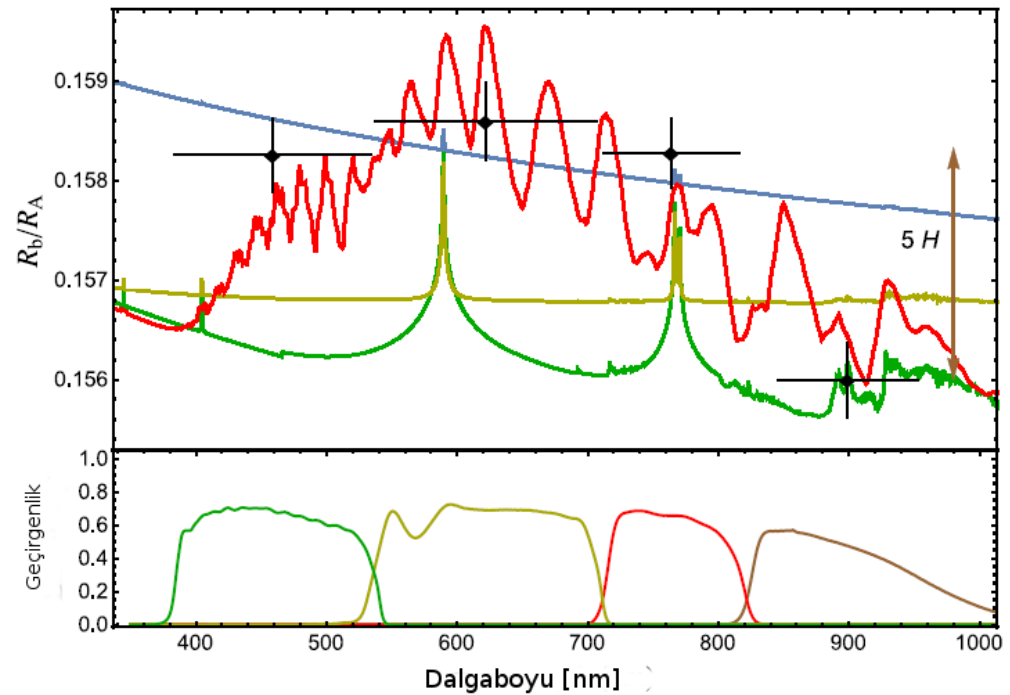
$$\begin{aligned} T_{\text{eq}} &= 273 \text{ K} \\ g &= 10 \text{ m/s}^2 \\ \mu_m &= 28 \text{ akb} \end{aligned} \longrightarrow \Delta \delta \approx 10^{-6}$$

**Ölçek Yüksekliği (H):** Gezegenin yüzeyinden atmosferi boyunca basıncın 1/e katına indiği yüksekliğe denir. Dünya için ölçek yüksekliği, yüzey sıcaklığının 290 K alınması durumunda 8.5 km olarak verilir.

# Geçiş Tayf Ölçümü - II

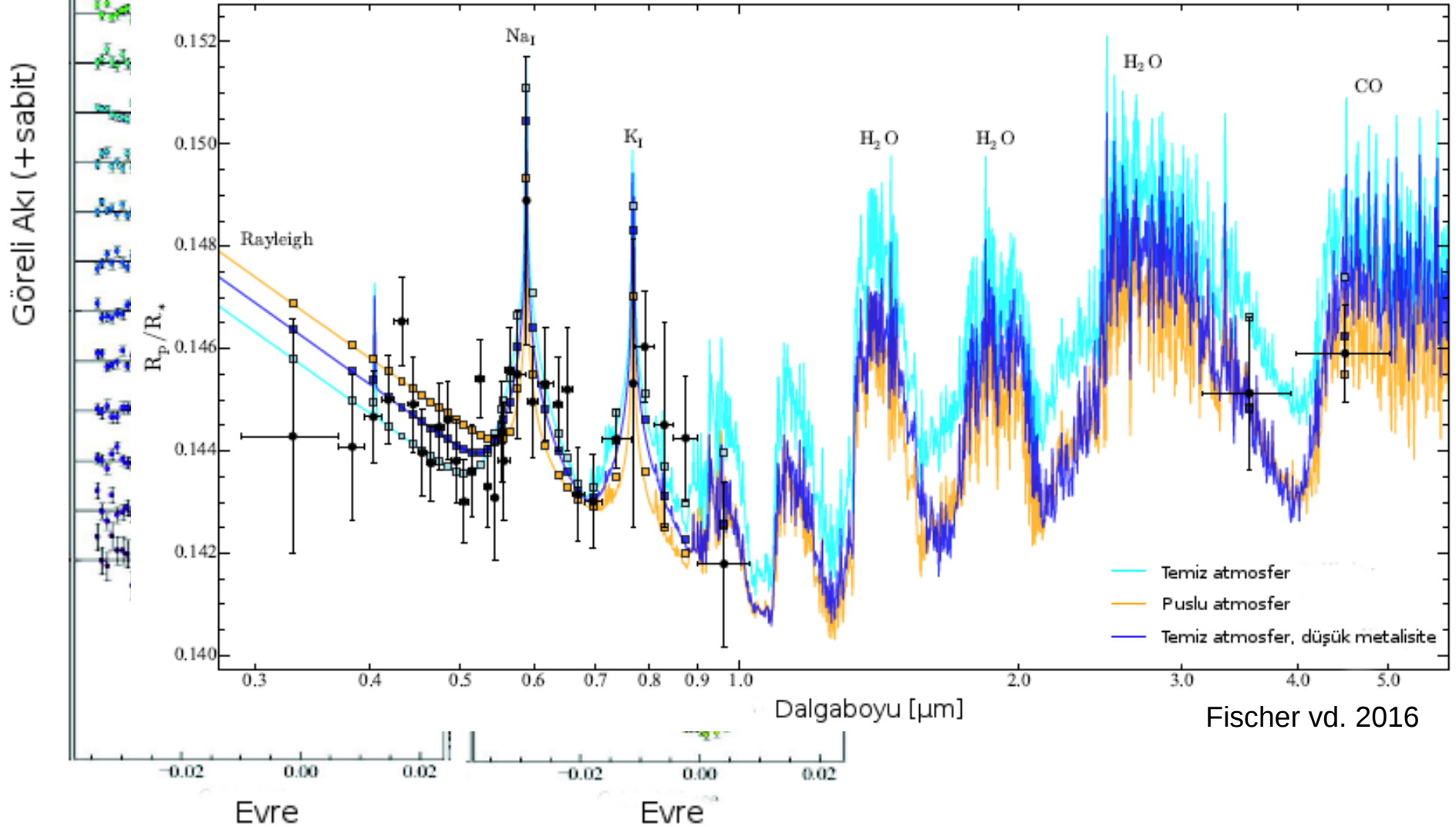


WASP-98b'nin iki farklı tarihte yapılmış çok bant GROND gözlemleri (Mancini & Southworth 2016)

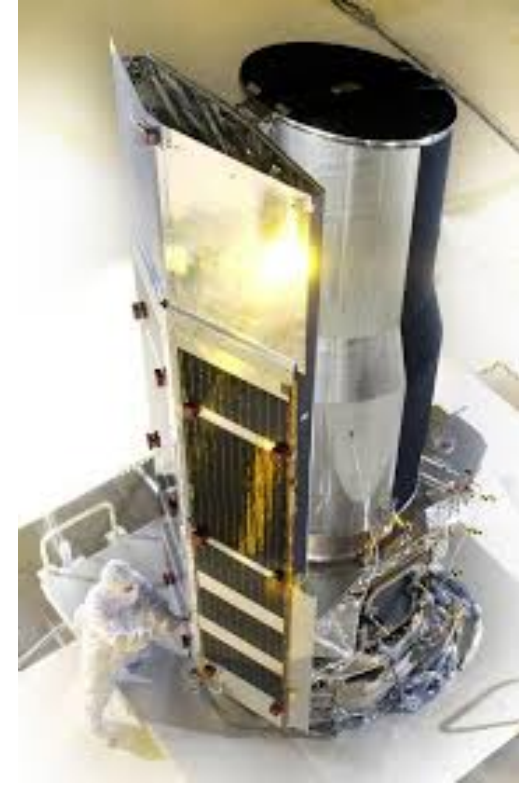
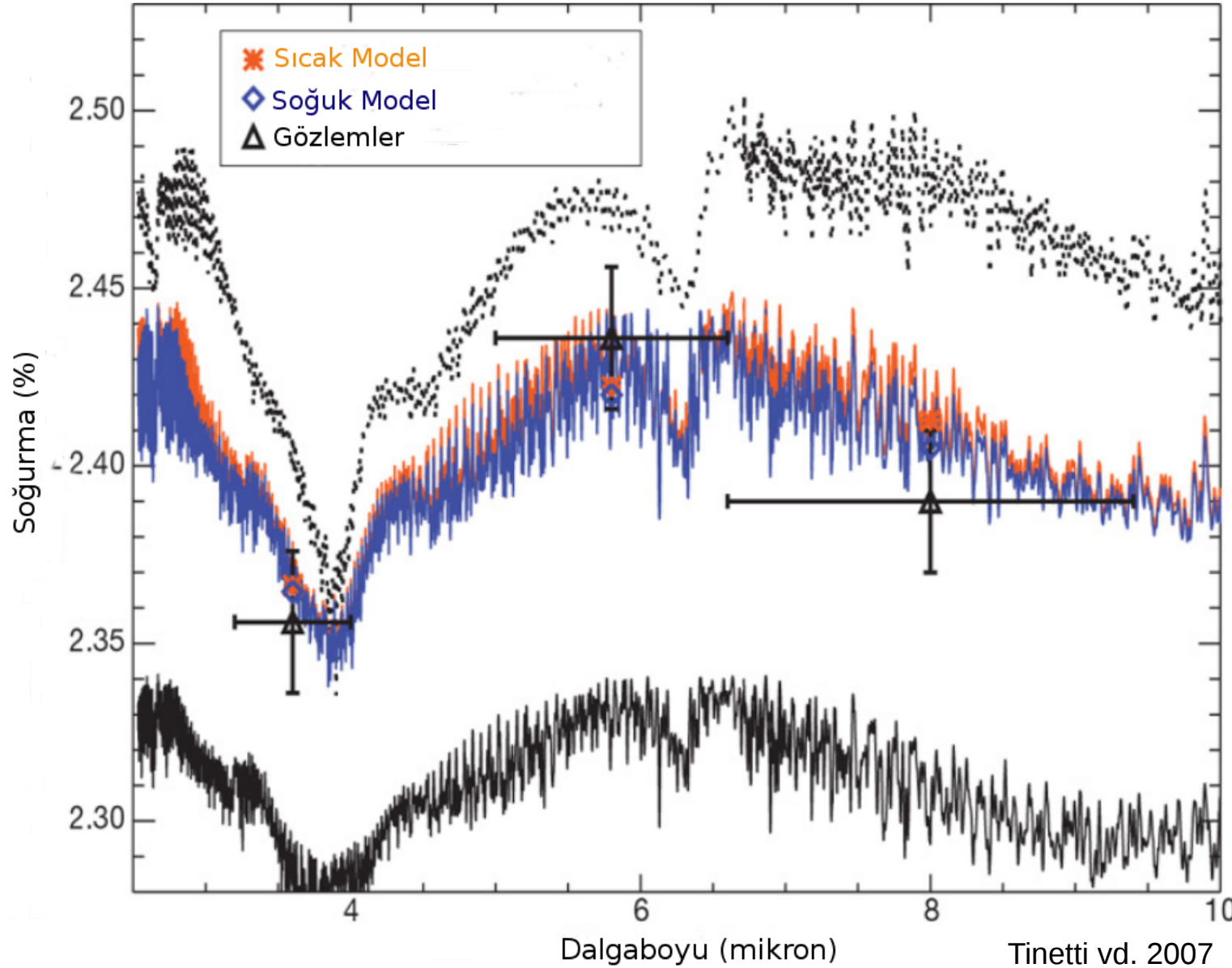


$k$  ( $R_b / R_*$ ) değerleri ağırlıklı ortalama ile belirlenmiştir. Hata değerleri gözlemsel hatalardan türetilirken dalgaboyundaki hata kullanılan fotometrik bandın FWHM'sini göstermektedir. **Yeşil** “temiz bir atmosfer”, **mavi** aynı atmosferin puslu bir versiyonu için Rayleigh saçılması 1000 kat artırılmış hali, **sarı** bulutlu bir atmosfer, **kırmızı** TiO ve VO baskın atmosferi göstermektedir

Güncel ötegezegen atmosfer çalışmaları büyük gezegenler barındırdığı bilinen çok parlak yıldızların çok bant geçiş gözlemlerinin yapılarak, her banttaki geçiş derinliklerinin çeşitli atmosfer modellerinden beklentiyle karşılaştırılmasına dayanmaktadır.

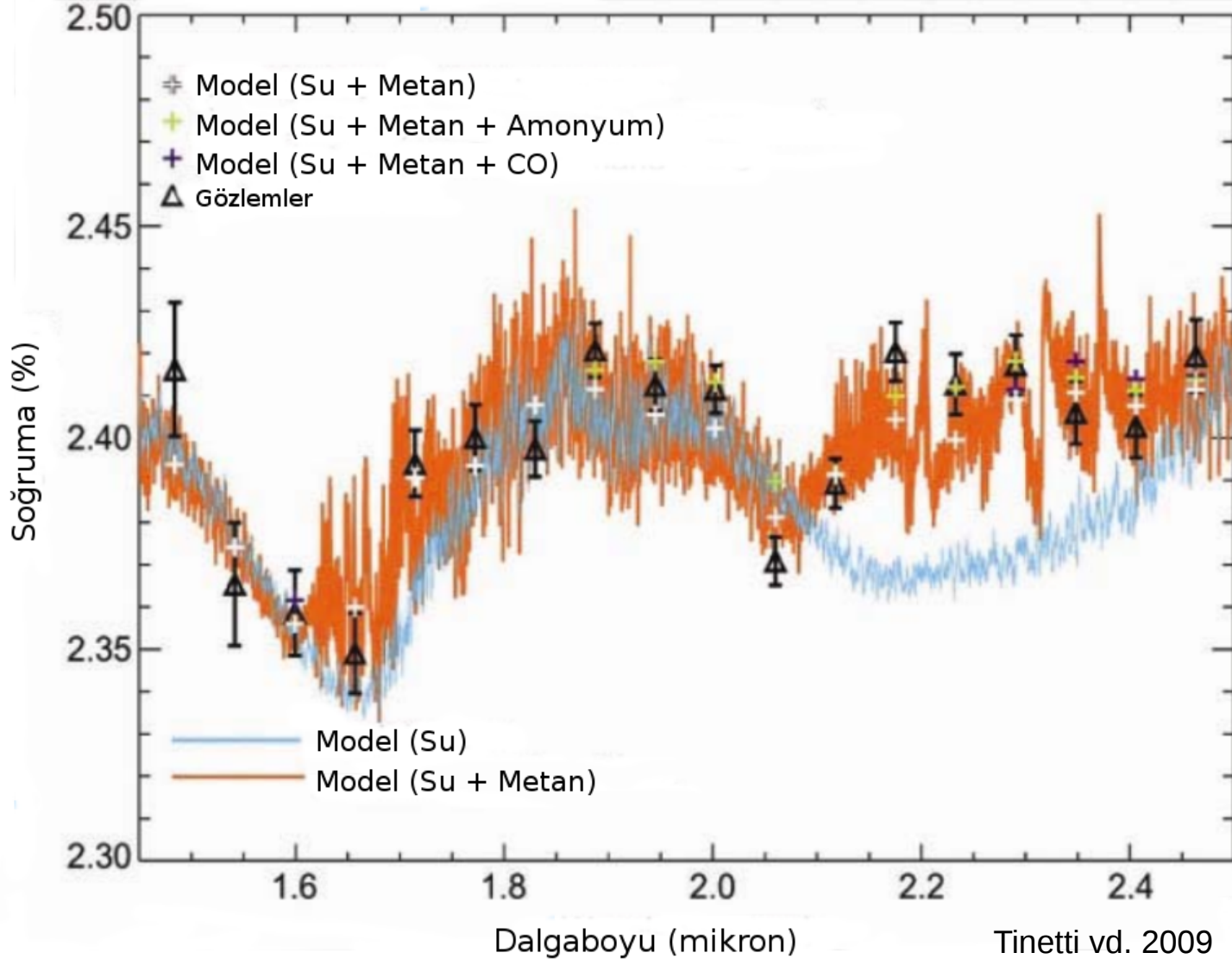


Spitzer gözlemleri model tayflardaki su ( $H_2O$ ) soğurma çizgileri ile uyumlu gözükmemektedir. HD189733b'nin atmosferinde  $SU$  bulunmuştur! Ancak 2.22 gün yörünge dönemi, yıldızına ( $T_* \sim 4875$  K) yakın HD189733b, yaşanabilir bölge içerisinde değildir. Yani atmosferde bulunan su yüzeyde sıvı formda olamaz!



85 cm çaplı Spitzer Uzay Teleskobu 3 ile 180  $\mu$  arasında gözlem yapmayı sağlamaktadır.

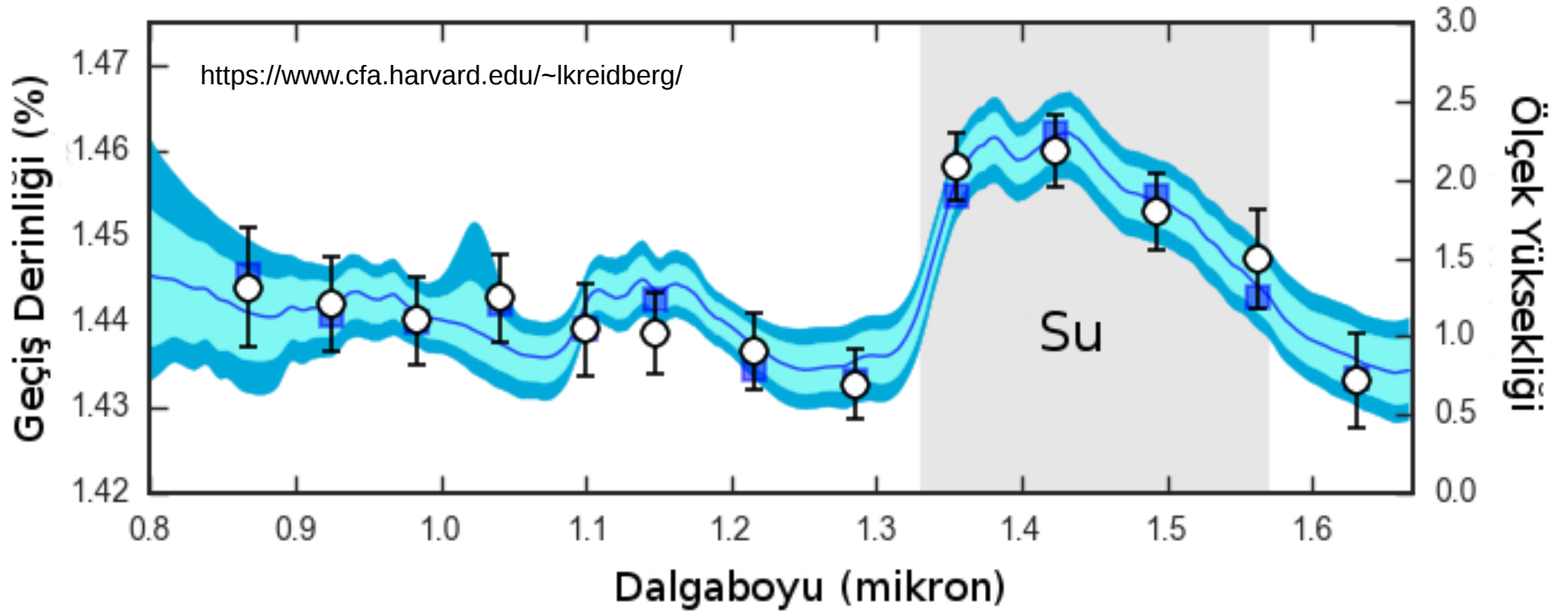
Hubble Uzay Teleskobu (HST) gözlemleri de model tayflardaki su ( $H_2O$ ) ve metan ( $CH_4$ ) soğurma çizgileri ile uyumlu gözükmektedir. HD189733b'nin atmosferinde SU ve METAN bulunmuştur!



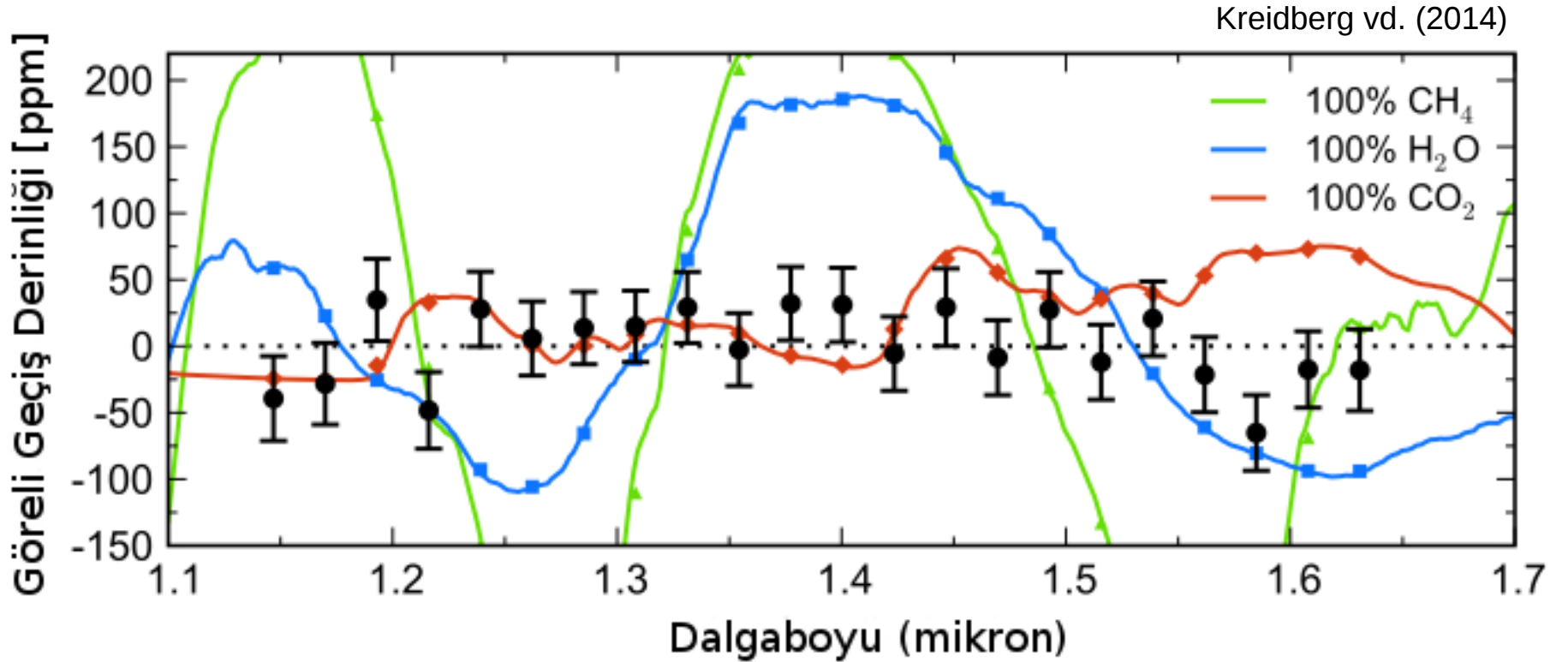
2.4 m çaplı Hubble Uzay Teleskobu yakın kızılötede gözlem yapmaya imkan sağlayan kameralara (NICMOS) sahiptir!



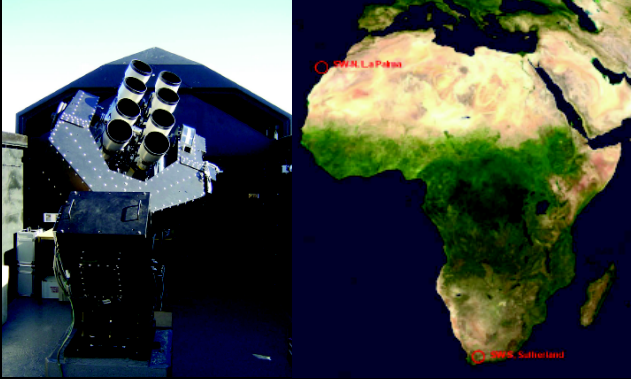
Sıcak Jüpiter türündeki WASP-12b ötegezegenin Hubble Uzay Teleskobu (HST) WFC3 kamerasıyla yapılan geçiş gözlemleri gezegenin atmosferinde su soğurmasına ilişkin yapıları açıkça ortaya koymuştur. Bu durum gezegenin karbonca zengin olduğu önerilen atmosferiyle tutarsız görünmekle birlikte oldukça ilginç bir atmosfer oluşumunun da olabileceğine işaret ediyor olabilir (Kreidberg vd. 2017).



Süper-Dünya türündeki GJ1214b ötegezegenin Hubble Uzay Teleskobu (HST) WFC3 kamerasıyla yapılan geçiş gözlemleri geçiş derinliğinin gözlem yapılan dalgaboyu aralığında dalgaboyuyla değişmediğini göstermiştir. Herhangi bir soğurma yapısının gözlenmediği bu düşük çözünürlüklü tayf gezegen atmosferinin üst katmanlarının kalın ve homojen bir bulut tabakasıyla kaplı olduğuna yorulmuştur (Kreidberg vd. 2014).



# Geçiş Yöntemiyle Ötegezegen Araştırma Projeleri



**Wide Angle Surve for Planets (Super WASP):** 11.1 cm'lik 8 teleskop → 61° / kamera. 14"/piksel, İki düzenekle tüm gökyüzü! 2006 - ?, 168 gezegen!



**Hunagrian Automated Telescope Network (HAT-Net):** 11 cm'lik teleskoaplardan oluşan bir düzenek → 64° / kamera. Mount Hopkins / Arizona, Kitt Peak / Hawaii, Avustralya, Namibya ve Şili'de kurulu 5 düzenekle tüm gökyüzü! 2001 - ?, 65 gezegen!



**XO:** 20 cm'lik iki özdeş teleskop, 7° 25'.4 / piksel, Haleakala / Maui, 8 gezegen



**Qatar Exoplanet Survey (QES):** Super WASP'a özdeş, Arizona'da kurulu 1 düzenek. 2009 - ?, 6 gezegen



**Trans Atlantic Exoplanet Survey (TrES):** Palomar'da 10 cm'lik küçük bir teleskop, 2003-2007, 5 gezegen

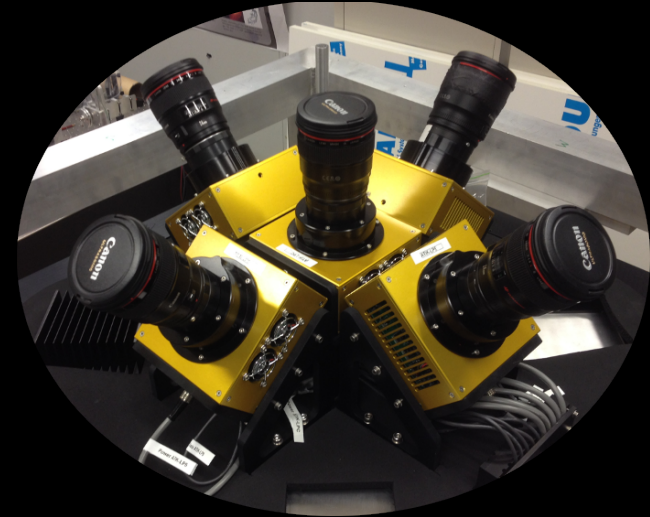


**Kilo-Degree Extremely Little Telescope (KELT):** 4.2 cm'lik küçük bir kamerayla 26x26°'lik bir görüş alanı. Sutherland / Güney Afrika ve Winer Gözlemevi'nde iki teleskop, 22 gezegen

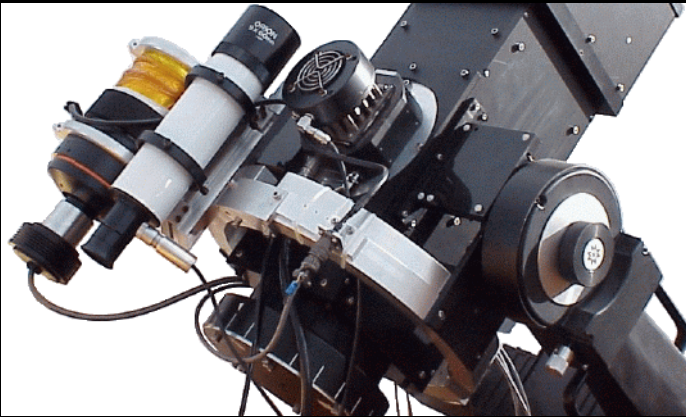
# Geçiş Yöntemiyle Ötegezegen Araştırma Projeleri



**Next Generation Transit Survey (NGTS):** 20 cm'lik 12 teleskop → 96  $\square^\circ$ , 5"/piksel, Şili Paranal 2016 - ?, 4 gezegen!



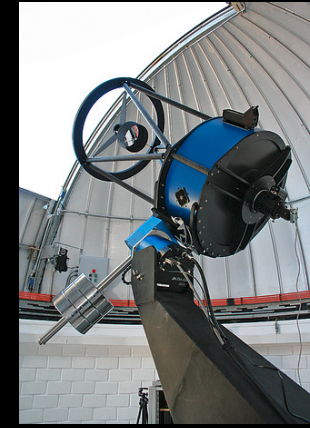
**Multi-Site All Sky Camera, MASCARA:** 2.4 cm'lik beş özdeş Canon kamera, 40° X 70° / kamera, Las Palmas, İspanya ve La Silla, Şili'de 2 düzenek, 2014-?, 1 gezegen ve KELT-20b!



**Stare:** 10 cm'lik bir teleskop, Arizona'da kurulu 1 düzenek. 10.8 "/piksel, 6.2  $\square^\circ$ , 2015 - ?, Henüz keşfi yok



**The MEarth Project:** Mount Hopkins ve Cerro Tololo'da özdeş 40 cm'lik 8 teleskoptan oluşan iki düzenek, M-tayf türünden yıldızlara odaklanmış bir proje, 2014-?, 3 gezegen (LHS-1140b, GJ-1132b, GJ-1214b)



**TRAPPIST & Speculoos Surveys:** La Silla, Şili'de 60 cm'lik bir teleskopla başlayan araştırma, Cerro Paranal'de 1 m'lik 4 teleskopla devam edecek, 1 sistem 7 gezegen!



## KELT-18b: Puffy Planet, Hot Host, Probably Perturbed

Kim K. McLeod<sup>1</sup>, Joseph E. Rodriguez<sup>2</sup>, Ryan J. Oelkers<sup>3</sup>, Karen A. Collins<sup>3</sup>, Allyson Bieryla<sup>2</sup>, Benjamin J. Fulton<sup>4,42</sup>, Keivan G. Stassun<sup>3,5</sup>, B. Scott Gaudi<sup>6</sup>, Kaloyan Penev<sup>7</sup>, Daniel J. Stevens<sup>6</sup>, Knicole D. Colón<sup>8,9,10</sup>, Joshua Pepper<sup>11</sup>, Norio Narita<sup>12,13,14</sup>, Ryu Tsuguru<sup>14,15</sup>, Akihiko Fukui<sup>16</sup>, Phillip A. Reed<sup>17</sup>, Bethany Tirrell<sup>17</sup>, Tiffany Visgaitis<sup>17</sup>, John F. Kielkopf<sup>18</sup>, David H. Cohen<sup>19</sup>, Eric L. N. Jensen<sup>19</sup>, Joao Gregorio<sup>20</sup>, **Özgür Baştürk**<sup>21</sup>, Thomas E. Oberst<sup>22</sup>, Casey Melton<sup>1</sup>, Eliza M.-R. Kempton<sup>23</sup>, Andrew Baldrige<sup>23</sup>, Y. Sunny Zhao<sup>23</sup>, Roberto Zambelli<sup>24</sup>, David W. Latham<sup>2</sup>, Gilbert A. Esquerdo<sup>2</sup>, Perry Berlind<sup>2</sup>, Michael L. Calkins<sup>2</sup>, Andrew W. Howard<sup>25</sup>, Howard Isaacson<sup>26</sup>, Lauren M. Weiss<sup>27,43</sup>, Paul Benni<sup>28</sup>, Thomas G. Beatty<sup>29,30</sup>, Jason D. Eastman<sup>2</sup>, Matthew T. Penny<sup>6,44</sup>, Robert J. Siverd<sup>31</sup>, Michael B. Lund<sup>3</sup>, Jonathan Labadie-Bartz<sup>11</sup>, G. Zhou<sup>2</sup>, Ivan A. Curtis<sup>32</sup>, Michael D. Joner<sup>33</sup>, Mark Manner<sup>34</sup>, Howard Relles<sup>2</sup>, Gaetano Scarpetta<sup>35,36</sup>, Denise C. Stephens<sup>33</sup>, Chris Stockdale<sup>37</sup>, T. G. Tan<sup>38</sup>, D. L. DePoy<sup>39,40</sup>, Jennifer L. Marshall<sup>39,40</sup>, Richard W. Pogge<sup>6</sup>, Mark Trueblood<sup>41</sup>, and Patricia Trueblood<sup>41</sup>

<sup>1</sup>Department of Astronomy, Wellesley College, Wellesley, MA 02481, USA; [kmcleod@wellesley.edu](mailto:kmcleod@wellesley.edu)

<sup>2</sup>Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge, MA 02138, USA

<sup>3</sup>Department of Physics and Astronomy, Vanderbilt University, Nashville, TN 37235, USA

<sup>4</sup>Institute for Astronomy, University of Hawaii, Honolulu, HI 96822, USA

<sup>5</sup>Department of Physics, Fisk University, Nashville, TN 37208, USA

<sup>6</sup>Department of Astronomy, The Ohio State University, Columbus, OH 43210, USA

<sup>7</sup>Department of Astrophysical Sciences, Princeton University, Princeton, NJ 08544, USA

<sup>8</sup>NASA Ames Research Center, M/S 244-30, Moffett Field, CA 94035, USA

<sup>9</sup>Bay Area Environmental Research Institute, Petaluma, CA 94952, USA

<sup>10</sup>NASA Goddard Space Flight Center, Exoplanets and Stellar Astrophysics Laboratory (Code 667), Greenbelt, MD 20771, USA

<sup>11</sup>Department of Physics, Lehigh University, Bethlehem, PA 18015, USA

<sup>12</sup>Department of Astronomy, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan

<sup>13</sup>Astrobiology Center, NINS, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan

<sup>14</sup>National Astronomical Observatory of Japan, NINS, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan

<sup>15</sup>SOKENDAI (The Graduate University for Advanced Studies), 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan

<sup>16</sup>Okayama Astrophysical Observatory, National Astronomical Observatory of Japan, Asakuchi, Okayama 719-0232, Japan

<sup>17</sup>Department of Physical Sciences, Kutztown University, Kutztown, PA 19530, USA

<sup>18</sup>Department of Physics and Astronomy, University of Louisville, Louisville, KY 40292, USA

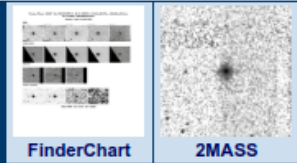
<sup>19</sup>Department of Physics and Astronomy, Swarthmore College, Swarthmore, PA 19081, USA

<sup>20</sup>Atalaia Group and CROW Observatory, Portalegre, Portugal

<sup>21</sup>Ankara Üniversitesi Fen Fak. Astronomi ve Uzay Bil. E Blok 205 TR-06100 Tandogan, Ankara, Turkey

<sup>22</sup>Department of Physics, Westminster College, New Wilmington, PA 16172, USA

# PLANET HOST OVERVIEW PAGE



## Object and Aliases

Default Alias	Aliases					
KELT-18	2MASS J14260576+5926393	BD+60 1538	GSC 03865-01173	SAO 29143	TYC 3865-1173-1	WISE J142605.74+592639.4

## NASA Exoplanet Archive Links

Planet	Related Overviews			Transit Service
	Confirmed	Kepler Pipeline		
KELT-18 b	<a href="#">Planet</a>	<a href="#">Host</a>		<a href="#">KELT-18 b Transits</a>

## Planet Orbital Properties

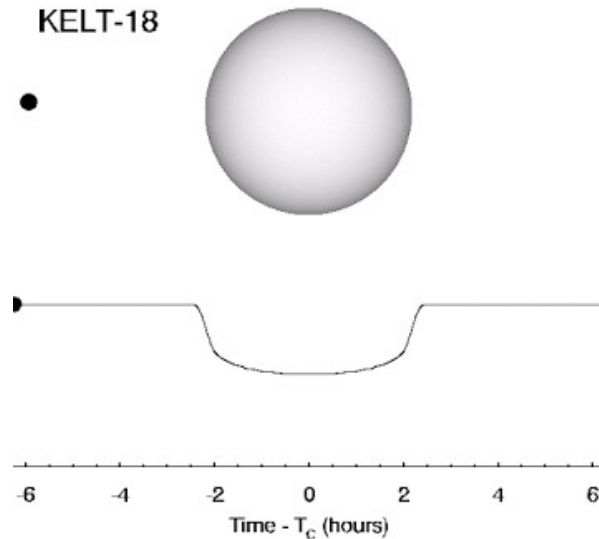
Planet	Period (days)	Semi-Major Axis (AU)	Inclination (deg)	Eccentricity	Time of Periastron Passage (days)	Longitude of Periastron (deg)	Date of Orbital Solution	Reference
b	2.8717518±0.0000028	0.04550 <sup>+0.00067</sup> <sub>-0.00069</sub>	88.86 <sup>+0.79</sup> <sub>-1.20</sub>	0	null	null	null	<a href="#">McLeod et al. 2017</a>

## Planet Parameters

Planet	M sin(i)		Mass		Radius			Density	Equilibrium Temperature	Reference
	(Jupiter Mass)	(Earth Mass)	(Jupiter Mass)	(Earth Mass)	(Solar Radii)	(Jupiter Radii)	(Earth Radii)	(g/cm <sup>3</sup> )	(K)	
b	1.18±0.11	375±35	1.18±0.11	375±35	0.1613 <sup>+0.0043</sup> <sub>-0.0037</sub>	1.570 <sup>+0.042</sup> <sub>-0.036</sub>	17.60 <sup>+0.47</sup> <sub>-0.40</sub>	0.377±0.040	2085 <sup>+39</sup> <sub>-38</sub>	<a href="#">McLeod et al. 2017</a>







## Planet Transit Properties

Planet	Depth (perc)	Duration (days)	Duration (hours)	Mid-Point (days)	Impact Parameter	Occultation Depth (perc)	Ratio of Distance to Stellar Radius	Ratio of Planet to Stellar Radius	Reference
b	0.716±0.015	0.1935 <sup>+0.0011</sup> <sub>-0.0010</sub>	4.644 <sup>+0.026</sup> <sub>-0.024</sub>	2457542.52504±0.00039	0.102 <sup>+0.100</sup> <sub>-0.071</sub>	null	5.138 <sup>+0.038</sup> <sub>-0.078</sub>	0.08462±0.00091	<a href="#">McLeod et al. 2017</a>





# KPS-1b: The First Transiting Exoplanet Discovered Using an Amateur Astronomer's Wide-field CCD Data

Artem Burdanov<sup>1</sup> , Paul Benni<sup>2</sup> , Eugene Sokov<sup>3,4</sup>, Vadim Krushinsky<sup>5</sup>, Alexander Popov<sup>5</sup>, Laetitia Delrez<sup>6</sup>, Michael Gillon<sup>1</sup>, Guillaume Hébrard<sup>7,8</sup>, Magali Deleuil<sup>9</sup>, Paul A. Wilson<sup>7,10</sup> , Olivier Demangeon<sup>1</sup>, **Özgür Baştürk<sup>11</sup>** , Erika Pakštienė<sup>13</sup> , Iraida Sokova<sup>3</sup>, Sergei A. Rusov<sup>3</sup>, Vladimir V. Dyachenko<sup>4</sup>, Denis A. Rastegaev<sup>4</sup>, Anatoliy Beskakotov<sup>4</sup>, Alessandro Marchini<sup>14</sup> , Marc Bretton<sup>15</sup>, Stan Shadick<sup>16</sup>, and Kirill Ivanov<sup>17</sup>

<sup>1</sup> Space sciences, Technologies and Astrophysics Research (STAR) Institute, Université de Liège, Allée du 6 Août 17, B-4000 Liège, Belgium  
[artem.burdanov@uliege.be](mailto:artem.burdanov@uliege.be)

<sup>2</sup> Acton Sky Portal (Private Observatory), Acton, MA, USA

<sup>3</sup> Central Astronomical Observatory at Pulkovo of Russian Academy of Sciences, Pulkovskoje shosse d. 65, St. Petersburg, 196140, Russia

<sup>4</sup> Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, Nizhnij Arkhyz, 369167, Russia

<sup>5</sup> Ural Federal University, ul. Mira d. 19, Yekaterinburg, 620002, Russia

<sup>6</sup> Astrophysics Group, Cavendish Laboratory, J.J. Thomson Avenue, Cambridge CB3 0HE, UK

<sup>7</sup> Institut d'Astrophysique de Paris, UMR 7095 CNRS, Université Pierre & Marie Curie, 98bis Boulevard Arago, F-75014 Paris, France

<sup>8</sup> Observatoire de Haute-Provence, Université d'Aix-Marseille & CNRS, F-04870 Saint Michel l' Observatoire, France

<sup>9</sup> Aix Marseille Université, CNRS, LAM (Laboratoire d'Astrophysique de Marseille) UMR 7326, F-13388 Marseille, France

<sup>10</sup> Leiden Observatory, Leidenbus 9513, 2300 RA Leiden, The Netherlands

<sup>11</sup> Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço, Universidade do Porto, CAUP, Rua das Estrelas, PT4150-762 Porto, Portugal

<sup>12</sup> Ankara University, Faculty of Science, Department of Astronomy and Space Science, TR-06100 Tandogan, Ankara, Turkey

<sup>13</sup> Institute of Theoretical Physics and Astronomy, Vilnius University, Saulėtekio av. 3, Vilnius, LT-10257, Lithuania

<sup>14</sup> Astronomical Observatory—DSFTA, University of Siena, Via Roma 56, I-53100 Siena, Italy

<sup>15</sup> Baronnies Provençales Observatory, Hautes Alpes—Parc Naturel Régional des Baronnies Provençales, F-05150 Moydans, France

<sup>16</sup> Physics and Engineering Physics Department, University of Saskatchewan, Saskatoon, SK, S7N 5E2, Canada

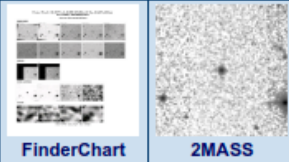
<sup>17</sup> Irkutsk State University, ul. Karla Marxa d. 1, Irkutsk, 664003, Russia

*Received 2017 December 21; accepted 2018 April 11; published 2018 May 16*

## Abstract

We report the discovery of the transiting hot Jupiter KPS-1b. This exoplanet orbits a  $V = 13.0$  K1-type main-sequence star every 1.7 days, has a mass of  $1.090^{+0.086}_{-0.087} M_{\text{Jup}}$  and a radius of  $1.03^{+0.13}_{-0.12} R_{\text{Jup}}$ . The discovery was made by the prototype Kourovka Planet Search (KPS) project, which used wide-field CCD data gathered by an amateur

# PLANET HOST OVERVIEW PAGE



## Object and Aliases

Default Alias	Aliases
KPS-1	2MASS J11004017+6457504 WISE J110040.13+645750.0

## NASA Exoplanet Archive Links

Planet	Related Overviews		Transit Service
	Confirmed	Kepler Pipeline	
KPS-1 b	<a href="#">Planet</a>	<a href="#">Host</a>	<a href="#">KPS-1 b Transits</a>

## Planet Orbital Properties

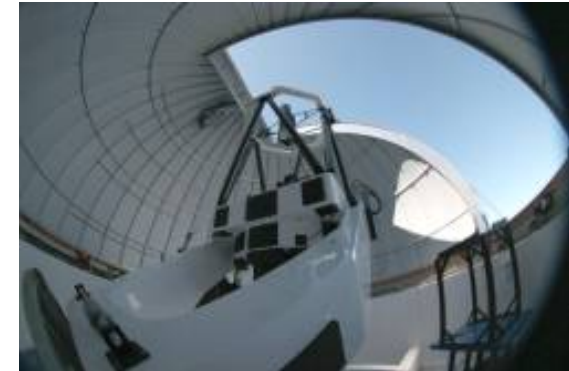
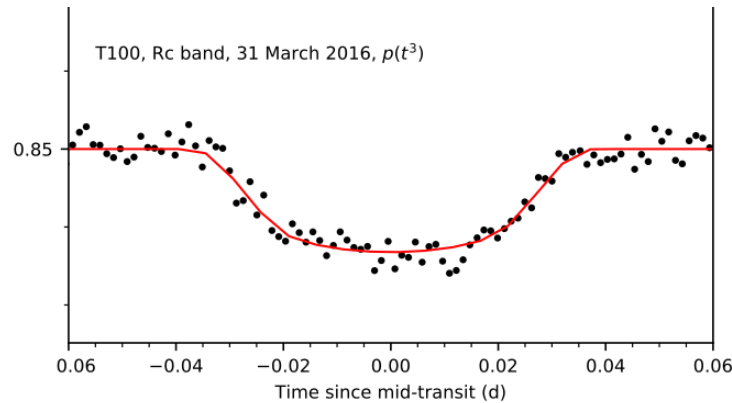
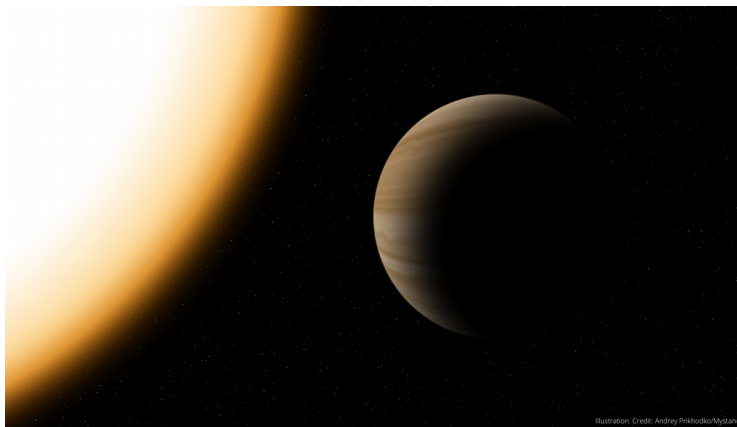
Planet	Period (days)	Semi-Major Axis (AU)	Inclination (deg)	Eccentricity	Time of Periastron Passage (days)	Longitude of Periastron (deg)	Date of Orbital Solution	Reference
b	1.706291±0.000059	0.0269±0.0010	83.20 <sup>+0.88</sup> <sub>-0.90</sub>	0	null	null	null	<a href="#">Burdanov et al. 2018</a>

## Planet Parameters

Planet	M sin(i)		Mass		Radius			Density	Equilibrium Temperature	Reference
	(Jupiter Mass)	(Earth Mass)	(Jupiter Mass)	(Earth Mass)	(Solar Radii)	(Jupiter Radii)	(Earth Radii)	(g/cm <sup>3</sup> )	(K)	
b	null	null	1.090 <sup>+0.086</sup> <sub>-0.087</sub>	346.4 <sup>+27.3</sup> <sub>-27.7</sub>	0.106 <sup>+0.013</sup> <sub>-0.012</sub>	1.03 <sup>+0.13</sup> <sub>-0.12</sub>	11.5 <sup>+1.5</sup> <sub>-1.3</sub>	1.31 <sup>+0.49</sup> <sub>-0.36</sub>	1459±56	<a href="#">Burdanov et al. 2018</a>

## Planet Transit Properties

Planet	Depth (perc)	Duration (days)	Duration (hours)	Mid-Point (days)	Impact Parameter	Occultation Depth (perc)	Ratio of Distance to Stellar Radius	Ratio of Planet to Stellar Radius	Reference
b	null	0.0700 <sup>+0.0023</sup> <sub>-0.0020</sub>	1.68 <sup>+0.06</sup> <sub>-0.05</sub>	2457508.37019 <sup>+0.00079</sup> <sub>-0.00078</sub>	0.754 <sup>+0.040</sup> <sub>-0.049</sub>	null	null	0.1143 <sup>+0.0037</sup> <sub>-0.0034</sub>	<a href="#">Burdanov et al. 2018</a>



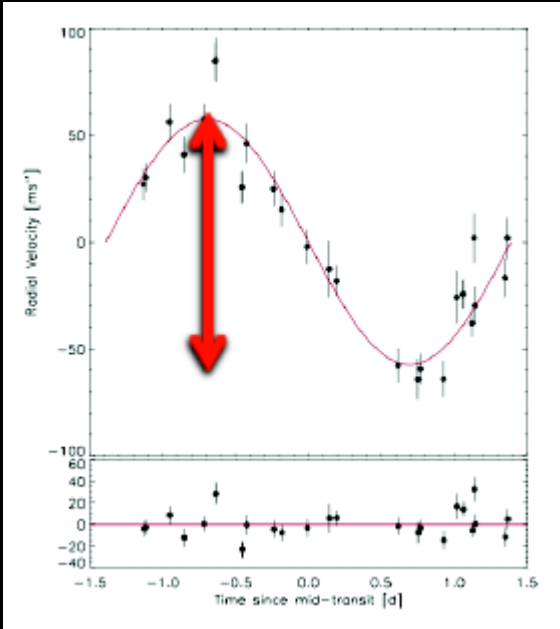
KPS-1b: Bir Ötegezegen Keşfinin Hikayesi: <http://ozgur.astrotux.org/tr/blog/>



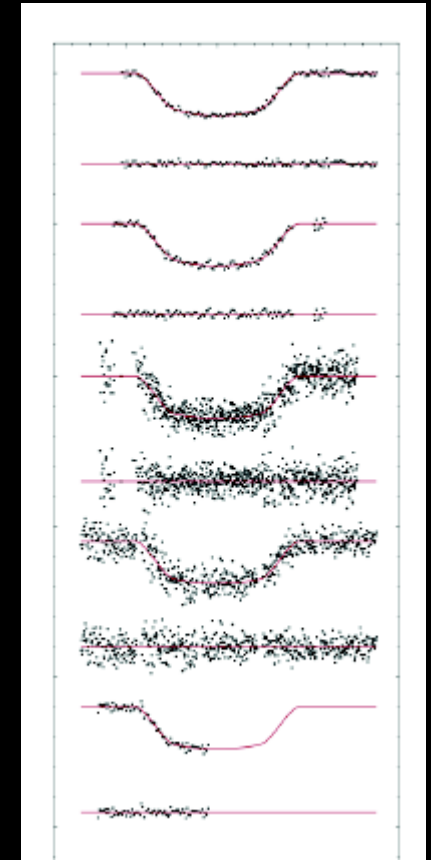
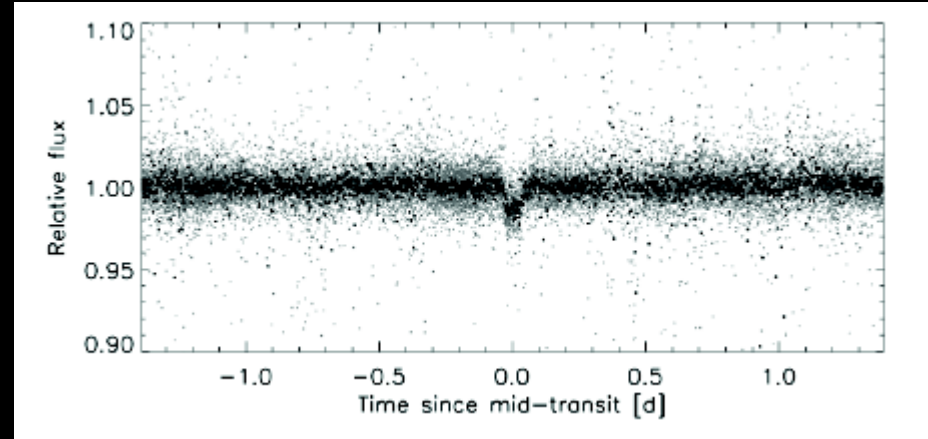
# Geçiş Yöntemiyle Gezegen Keşfinin Üç Altın Kuralı

3. Duyarlı Gözlemlerle  
Defalarca Aynı Şekli  
Gözlemek

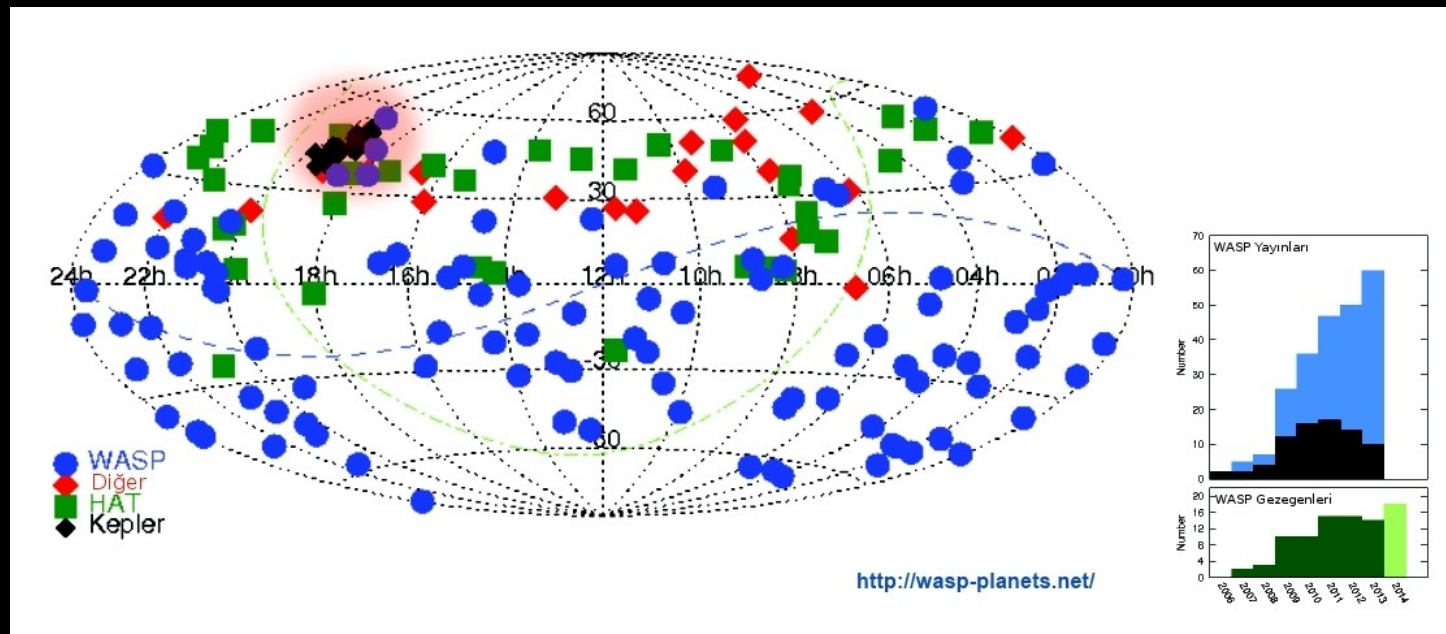
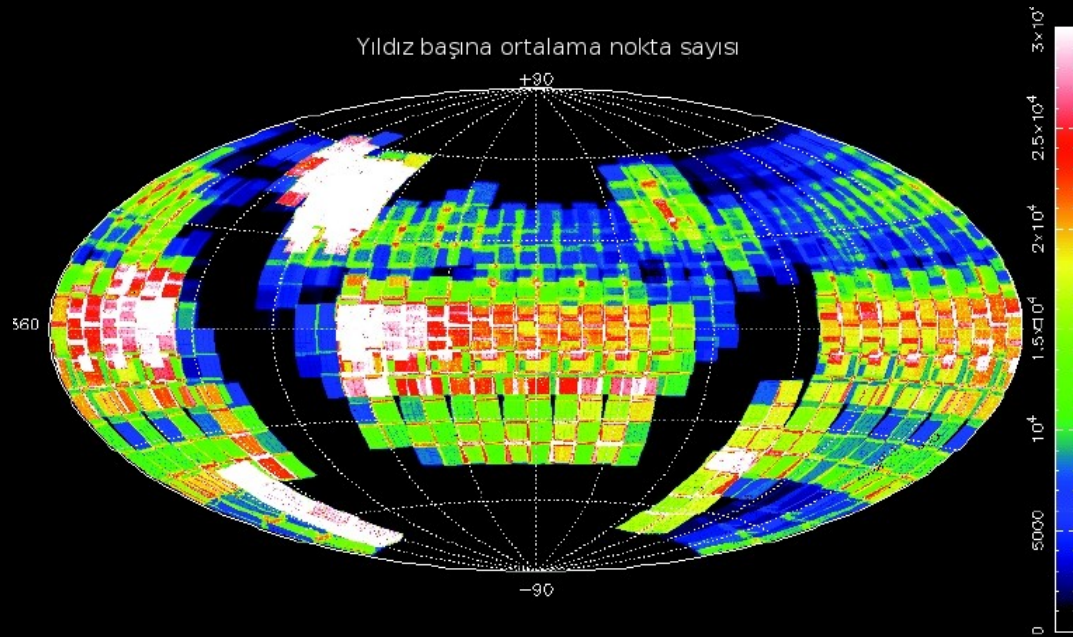
2. Dikine Hız ile Onaylamak



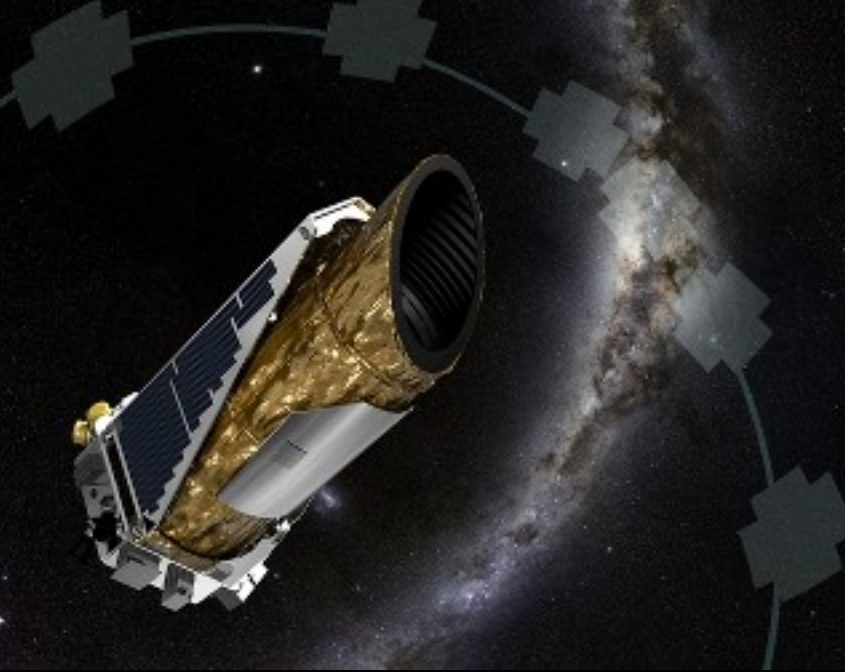
1. Geçiş Tespit Etmek



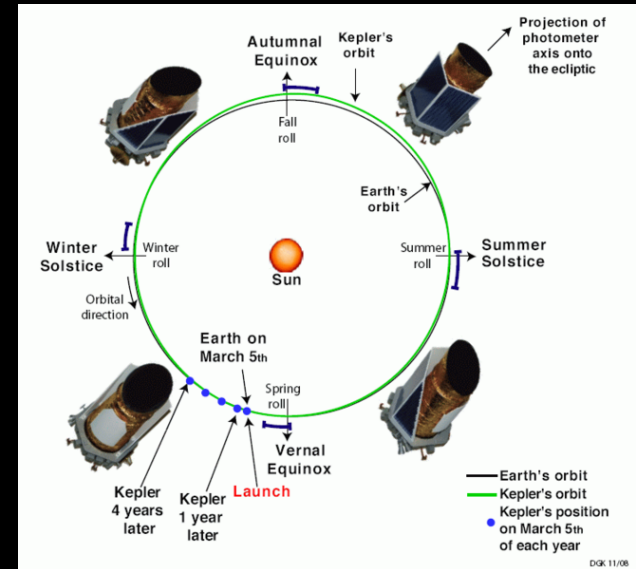
# Super WASP



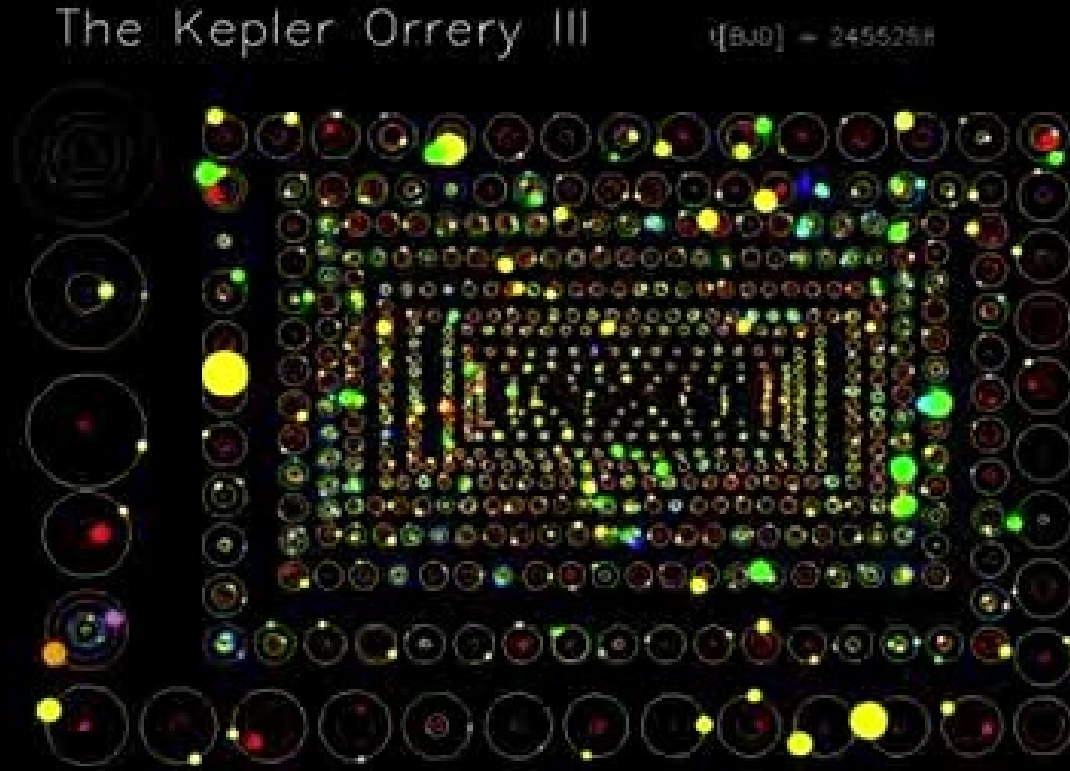
# Kepler Uzay Teleskobu



- ✓ 7 Mart 2009'da uzaya gönderildi. 2013'te hassas yönlendirilmesini sağlayan iki tekerleğinin bozulması nedeniyle aynı yıldızların uzun süreli hassas fotometrisini yapamaz hale geldi.
- ✓ 115 karederecelik bir alanda yaklaşık 170000 yıldızın hassas fotometrisini gerçekleştirdi.
- ✓ 0.95 m'lik (efektif) birincil ayna çapına sahip teleskobu taşıyan uzay aracının ağırlığı yaklaşık 1 ton.
- ✓ 2200x1024 piksellik 42 CCD kameranın sürekli olarak aynı bölgeyi gözlemesi planlanmıştı.
- ✓ 29.4 dakika ve 58.89 saniyelik (bir sezonda sadece 524 yıldız için) iki ayrı poz süresiyle gözlem yaptı.
- ✓ Fotometrik olarak aynı duyarlılığa sahip olmasa da Kasım 2018'e kadar K2 adıyla gezegen keşfine devam etti.
- ✓ Bugüne kadar onaylanmış toplam 2328 gezegen keşfini yanı sıra sayısı 2425'i geçen de gezegen adayı keşfetti. K2'nin keşif sayısı ise 359 aday sayısı ise 473'tür.



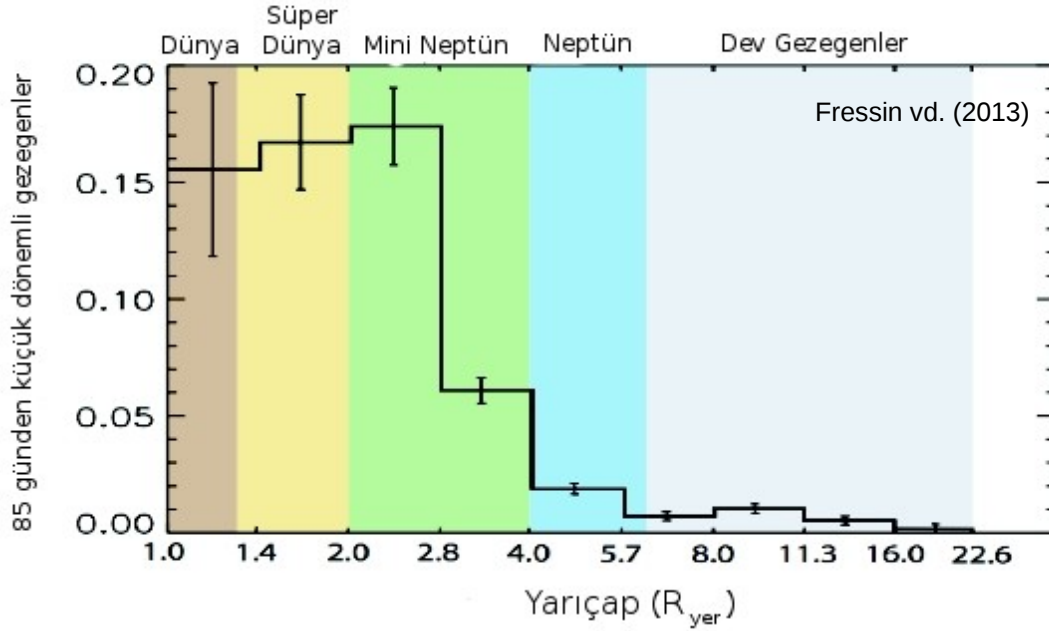
# Kepler Keşifleri - I



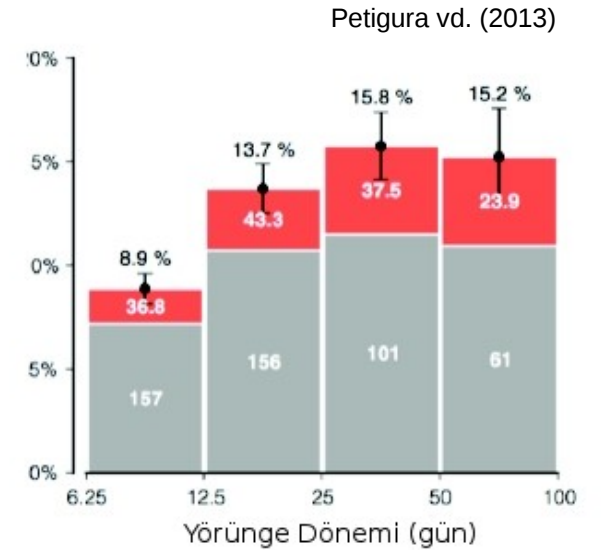
Toplam 885 gezegen içeren 361 Kepler keşfi çoklu gezegen sisteminin (sarı renk 2 gezegenli sistemlerde (242), yeşil 3 gezegenli sistemlerde (85), açık mavi 4 gezegenli (25), koyu mavi 5 gezegenli (8), more 6 gezegenli (1: Kepler-11) sistemlerdeki en dıştaki gezegeni göstermektedir) büyüklük, yörünge dönemi ve yörünge çapı birbirine göre ölçeklendirilmiş animasyonu. © Dan Fabricky, Chicago University

# Kepler Orrery 2016

# Kepler Keşifleri - II



Keşfedilen gezegenlerin gözlemsel yanlışlıklardan arındırılmış büyüklükleri



Keşfedilen gezegenlerin gözlemsel yanlışlıklardan arındırılmış dönemleri

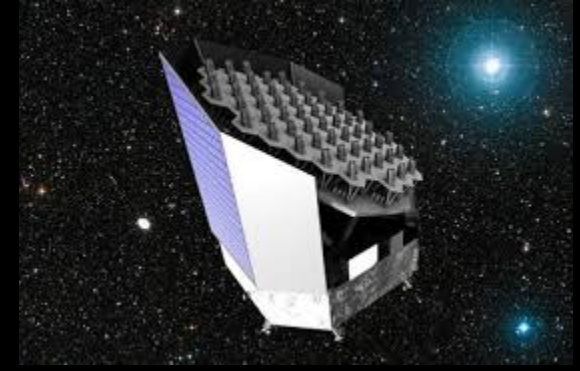
# Uzay Teleskoplarıyla Ötegezegen Araştırma Projeleri



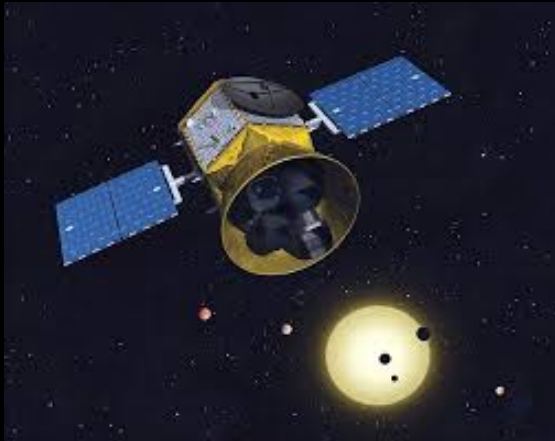
**Convection, Rotation and planetary Transits (CoRoT):** 27 cm'lik bir teleskop ve 4 CCD dedektörle uzaydan yürütülen proje 2006 - 2013, 45 gezegen!



**CHAracterising ExOPlanet Satellite (CHEOPS):** Bern Üniversitesi tarafından geliştirilen projede 32 cm'lik bir uzay teleskobu kullanılacak. Hedef parlak yıldızların etrafında küçük ( $R > 1.6 R_{Dünya}$ ) gezegen keşfi. 2019 yazında fırlatılması planlandı.



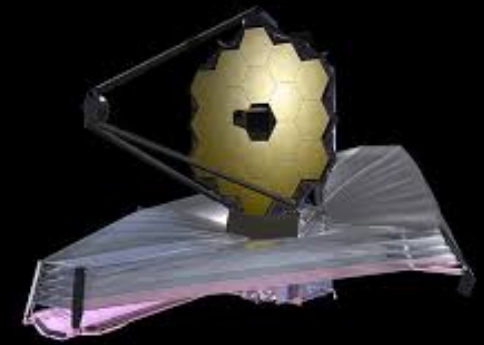
**PLANetary Transits and Oscillations of stars (PLATO):** 32 küçük teleskop taşıyacak uzay aracının 2024'te fırlatılması planlanıyor. Uydu teleskop Yer-Güneş ikilisinin L2 noktasında gözlem yapacak ve 48.5 x 58.8 karederecelik bir alan görecektir.



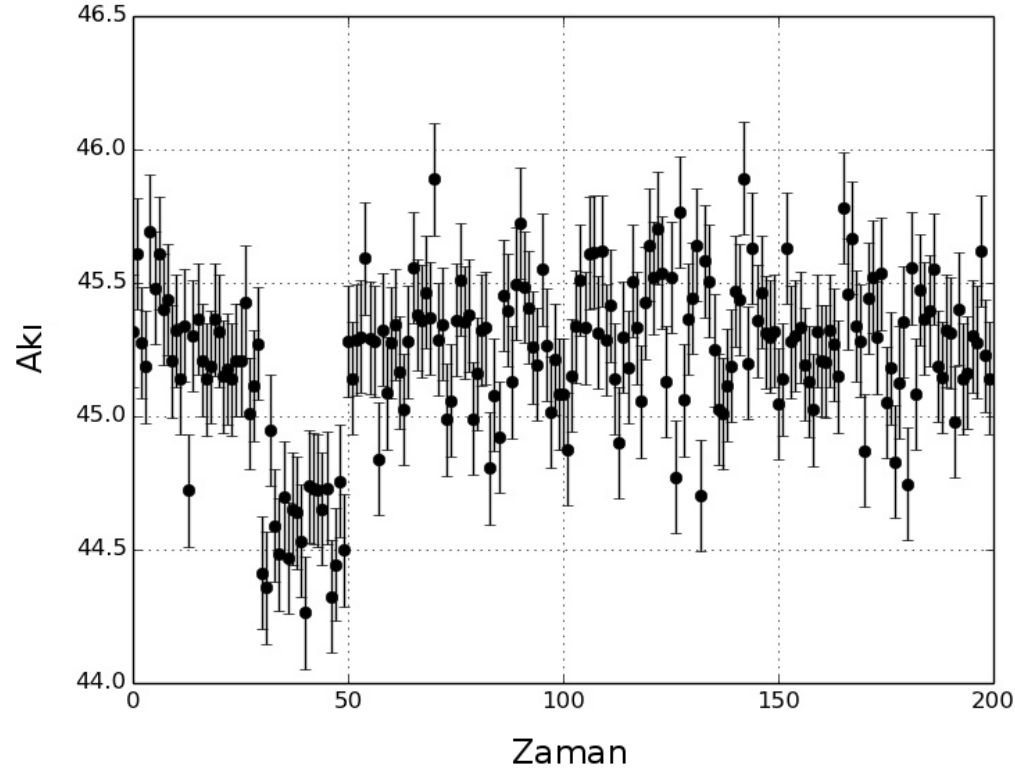
**The Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS):** 4 küçük teleskopla tüm gökyüzünde Kepler'in gözlediği yıldızlardan daha parlak toplamda 500 000 yıldız etrafında gezegen arayacak. Fırlatılma tarihi: Mart 2018 (Çalışmaya güney gök yarımküresinden başlamış ve ilk gezegenini de keşfetmiştir).



**Gaia:** Gaia'nın gözlediği yıldızların yüksek duyarlılıklı konum ölçümlerinin yapmasının yanı sıra ışık şiddetlerini de (70 kez) ölçecek olması nedeniyle geçiş yöntemiyle de gezegen keşfetmesi bekleniyor.



**James Webb Uzay Teleskobu (JWST):** 10 milyar \$'lık proje kapsamında yapımı tamamlanan 6.5 metrelik teleskobun 2021-2022 arasında uzaya gönderilmesi planlanıyor.



Yukarıda bir gezegen geçişi dolayısı ile gerçekleştiğini düşündüğünüz bir ışık değişimi görüyorsunuz. Aşağıdaki sorular (7. soru hariç) bu geçişi yapan gezegen için verimiştir.

**Soru 1.** Yıldızın gezegen geçişi dışındaki parlaklığı aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiş olabilir? (Birimler rastgele seçilmiştir!)

a) 44.25

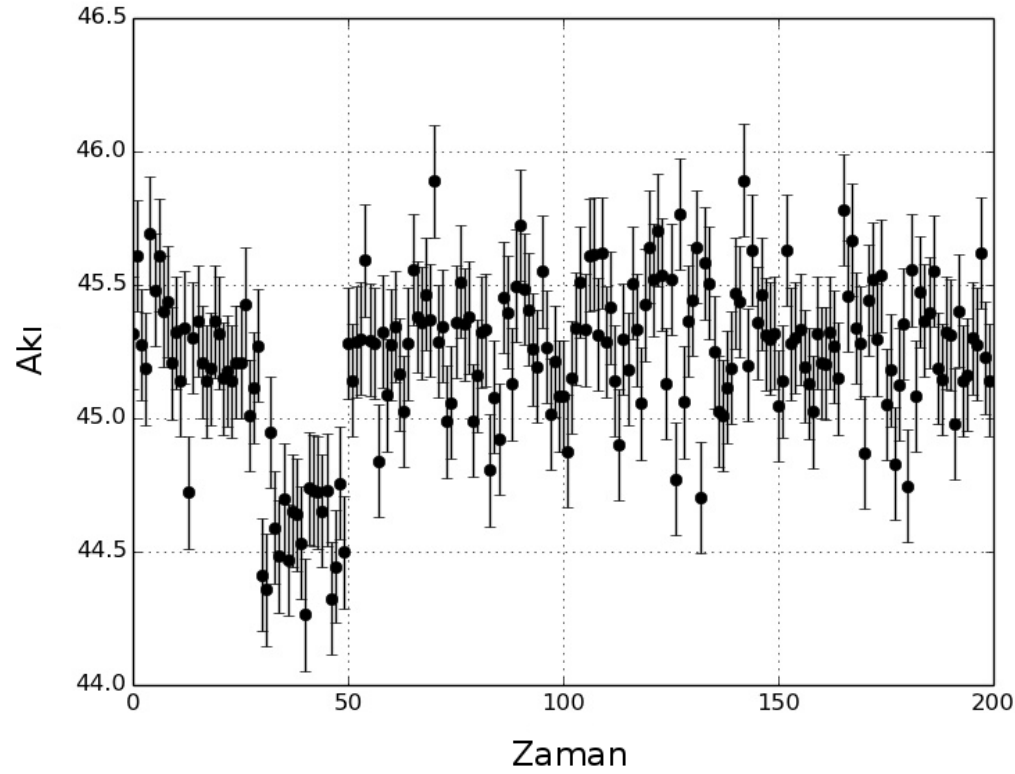
b) 45.00

c) 45.30

d) 45.95

e) 46.10





Yukarıda bir gezegen geçişi dolayısı ile gerçekleştiğini düşündüğünüz bir ışık değişimi görüyorsunuz.

**Soru 2.** Yıldızın gezegen geçişi sırasındaki parlaklığı aşağıdaki şıklardan hangisinde doğru olarak verilmiş olabilir? (Birimler rastgele seçilmiştir!)

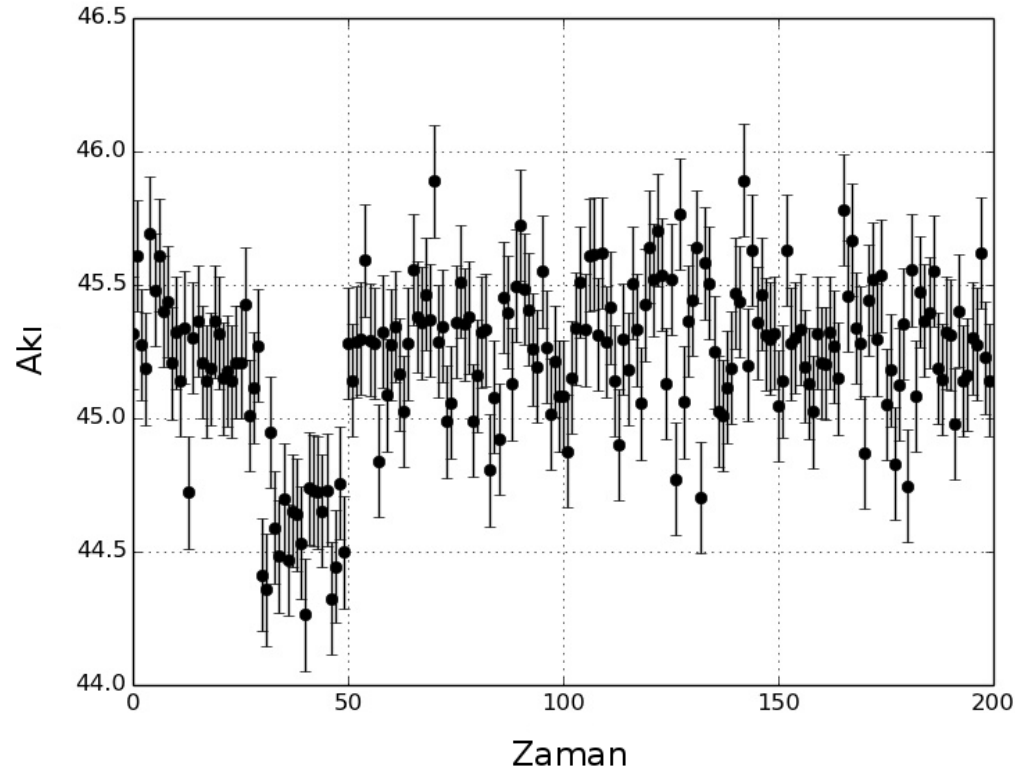
a) 44.25

b) 44.60

c) 45.00

d) 45.30

e) 45.80



Yukarıda bir gezegen geçişi dolayısı ile gerçekleştiğini düşündüğünüz bir ışık değişimi görüyorsunuz.

**Soru 3.** Yıldızın gezegen geçişi sırasındaki parlaklık değişimi aşağıdaki şıklardan hangisinde doğru olarak verilmiş olabilir? (Birimler rastgele seçilmiştir!)

a) 0.20

b) 0.40

c) 0.50

d) 0.70

e) 0.90

**Soru 4.** Yıldızın yarıçapı  $5 \times 10^8$  m olduğuna göre gezegenin yarıçapı  $R_{jüp}$  cinsinden nedir? (Jüpiter'in ekvator yarıçapı 71500 km 'dir.)

- a) 1.20      b) 0.62      c) 0.95      d) 0.1.03      **e) 0.87**

**Soru 5.** Bir süre gözlem yaptıktan sonra parlaklık değişiminin 4.3 gün dönemle tekrarlandığını farkediyorsunuz. Gezegenin yörüngesi çember kabul edilecek olursa yıldızından uzaklığı kaç Astronomi Birimi'dir? ( $M_* = 1.3 \times 10^{30}$  kg, 1 AB = 149.6 milyon km,  $G = 6.67 \times 10^{-11}$  m<sup>3</sup> / (kg s<sup>2</sup>))

- a) 0.450      b) 1.000      **c) 0.045**      d) 0.090      e) 0.135

**Soru 6.** İki cismin ısı dengesinde ve gezegenin sadece yıldızı tarafından "ısıtılan" bir karacisim olduğu varsayılırsa gezegenin denge sıcaklığı Kelvin cinsinden aşağıdaki şıklardan hangisinde doğru verimiştir? ( $A = 0.34$ ,  $T_* = 5000$  K,  $\epsilon = 1$ ).

- a) 273      b) 1023      c) 710      **d) 868**      e) 1256

**Soru 7.** Dünya için denge sıcaklığı ( $A_{Dünya} = 0.367$ ) aşağıdaki şıklardan hangisinde doğru olarak verimiştir?

- a) 249**      b) 298      c) 210      d) 273      e) 300

# Kaynaklar

- ✓ Charbonneau, David; Brown, Timothy M.; Latham, David W.; Mayor, Michel, 2000, "*Detection of Planetary Transits Across a Sun-like Star*", The Astrophysical Journal, 529, L45-L48
- ✓ Knutson, Heather A., 2007, "*Extrasolar planets: Water on distant worlds*", Nature, 448, 143
- ✓ Madhusudhan, N.; Knutson, H.; Fortney, J. J.; Barman, T., 2014, "*Exoplanetary Atmospheres*", Protostars and Planets VI, University of Arizona Press, Tucson, 914 pp., p.739-762
- ✓ Mazeh, Tsevi, 2000, "*The Spectroscopic Orbit of the Planetary Companion Transiting HD 209458*", The Astrophysical Journal, 532, 55
- ✓ Winn, Joshua N, 2010, "*Transits and Occultations*", arXiv1001.2010W