



AST418 Gezegen Sistemleri ve Oluşumu
Ders 5: Zamanlama Yöntemleri - II
TTV, ETV, PTV

Geçiş/Tutulma Zamanlaması Değişimi Yöntemi

Transit/Eclipse Timing Variations (TTV, ETV)

Nedenleri:

- 1) Gezegen-gezegen etkileşmeleri nedeniyle yörünge nin tedirgin olması
- 2) Kütle çekim kaynaklı tedirginlik etkileri nedeniyle eksen dönmesi
- 3) Işık-zaman etkisi

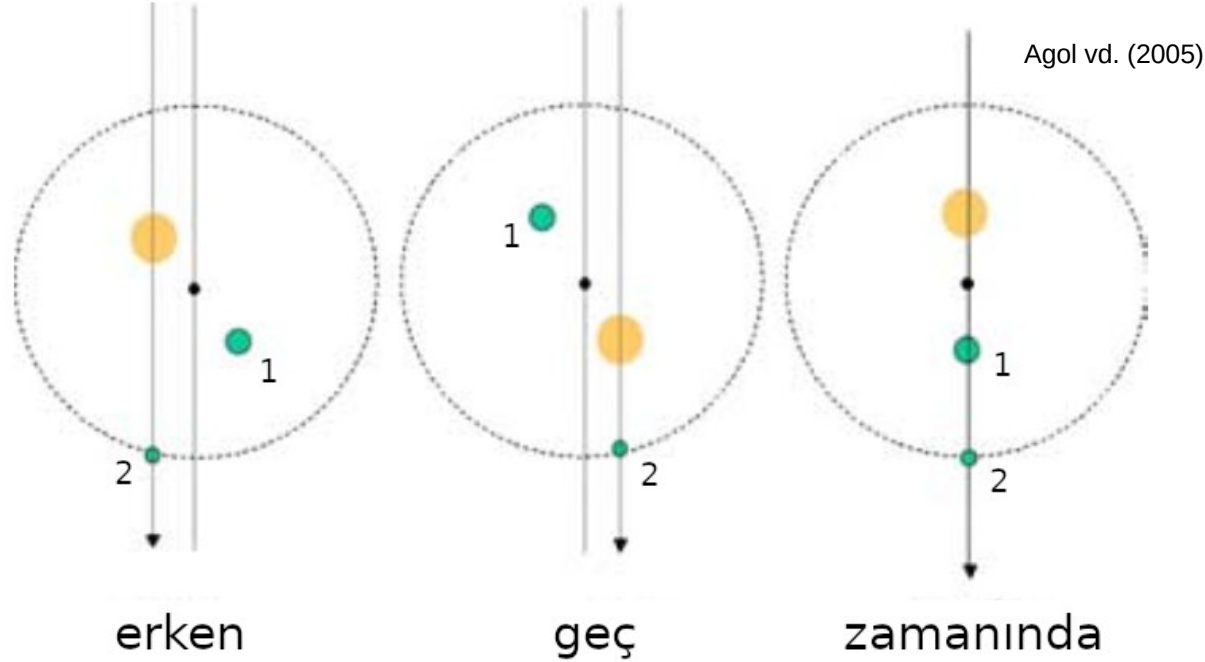
Gözlendiđi Sistemler:

- 1) Çoklu Gezegen Sistemleri
- 2) Doğal Uydular
- 3) Çift Yıldız Gezegenleri

Temel Motivasyon

- ✓ Geçiş yapan en az bir gezegen barındıran sistemlerde görünmeyen olası ilave bileşenleri bulmak
- ✓ Çoklu gezegen sistemlerinin popülasyon analizlerinde sıkışık sistemlere olan yanlılığı azaltmak
- ✓ Öte-uyduları keřfetmek
- ✓ Sıcak-Jüpiterlerin yörünge evrimini çalışmak
- ✓ Çoklu gezegen sistemlerindeki gezegenlerin kütlelerini kesinleřtirmek
- ✓ Gezegen-gezegen ve yıldız-gezegen arası dinamik etkileşmeleri çalışmak

Yörünge Geometrisi Etkisi



Işık-zaman etkisinin düzeltilmesi sonrası, yıldızla ortak kütle merkezleri etrafında hareket eden gezegenler (1,2) arası etkileşimlerin yok sayılması, ikisinin aynı düzlemde ($i = 90^\circ$) yörünge hareketi yaptığı ve $(1-e_2) a_2 \gg (1-e_2) a_1$ varsayılması durumunda dahi yıldızın ortak kütle merkezi etrafındaki cisimler kaynaklı hareketi gereği, geçişler yörüngenin farklı noktalarında ve dolayısıyla farklı zamanlarda gerçekleşecektir. Yukarıdaki durum için dıştaki gezegenin (2) geçiş zamanındaki değişim aşağıdaki (δt_2) kadar olur.

μ_i : indirgenmiş kütle,
 r_i : konum vektörü o.ü.

$$\mu_i = \frac{m_i}{M_{\text{tooplam}}} \sim \frac{m_i}{m_*} \longrightarrow \delta t_2 \approx \frac{P_2 \mu_1 r_1 \cos(\omega_1 + \theta(t)) \sqrt{1-e_2^2}}{2 \pi a_2 (1-e_2 \sin(\omega_2))}$$

Gezegen-Gezegen Etkileşimleri

Gezegenlerin birbirleriyle **kütleçekimsel olarak etkileştiği**, ancak rezonans durumunun dikkate alınmadığı durumda, dış-merkezli ($e_2 > 0$, eksantrik) bir yörüngede dolanan bir gezegen nedeniyle çembersel ($e_1 = 0$) bir yörüngede dolanan bir iç gezegenin ($N + 1$). geçiş zamanı:

$$T_{N+1} = N \times P_1 + \frac{m_2(1-e_2^2)^{-2/3}}{2\pi(m_*+m_1)} \frac{P_1^2}{P_2} (\theta_2 + e_2 \sin(\theta_2))$$

Gezegenlerin birbirleriyle **kütleçekimsel olarak etkileştiği**, ve rezonans durumunun dikkate alınmadığı durumda, her iki gezegenin de çembersel ($e_1 = e_2 = 0$) yörüngeler üzerinde hareket ettiği varsayımıyla geçiş zamanındaki değişim ($\mu_{pert.}$: tedirgin eden cismin indirgenmiş kütlesi)

$$\delta t \approx 0.7 \mu_{pert.} \left(\frac{a}{a_2 - a_1} \right)^2 P$$

Gezegenlerin birbirleriyle **kütleçekimsel olarak etkileştiği**, ve **1. dereceden $j : j+1$ rezonans** durumunun dikkate alındığı durumda maksimum geçiş zamanı değişimi:

$$\delta t_{max} \sim \frac{P}{4.5 j} \frac{m_{pert.}}{m_{pert.} + m_{geçiş}}$$

$l = 0, 1, \dots, N$. cisimler için $\alpha_{ij} = \min(a_i / a_j, a_j / a_i)$ yarı-büyük eksen uzunlukları oranı, $\theta_{ij}(\lambda_i, e_i, \omega_i, i_i, \Omega_i, (\lambda_j, e_j, \omega_j, i_j, \Omega))$ olmak üzere **genel olarak**:

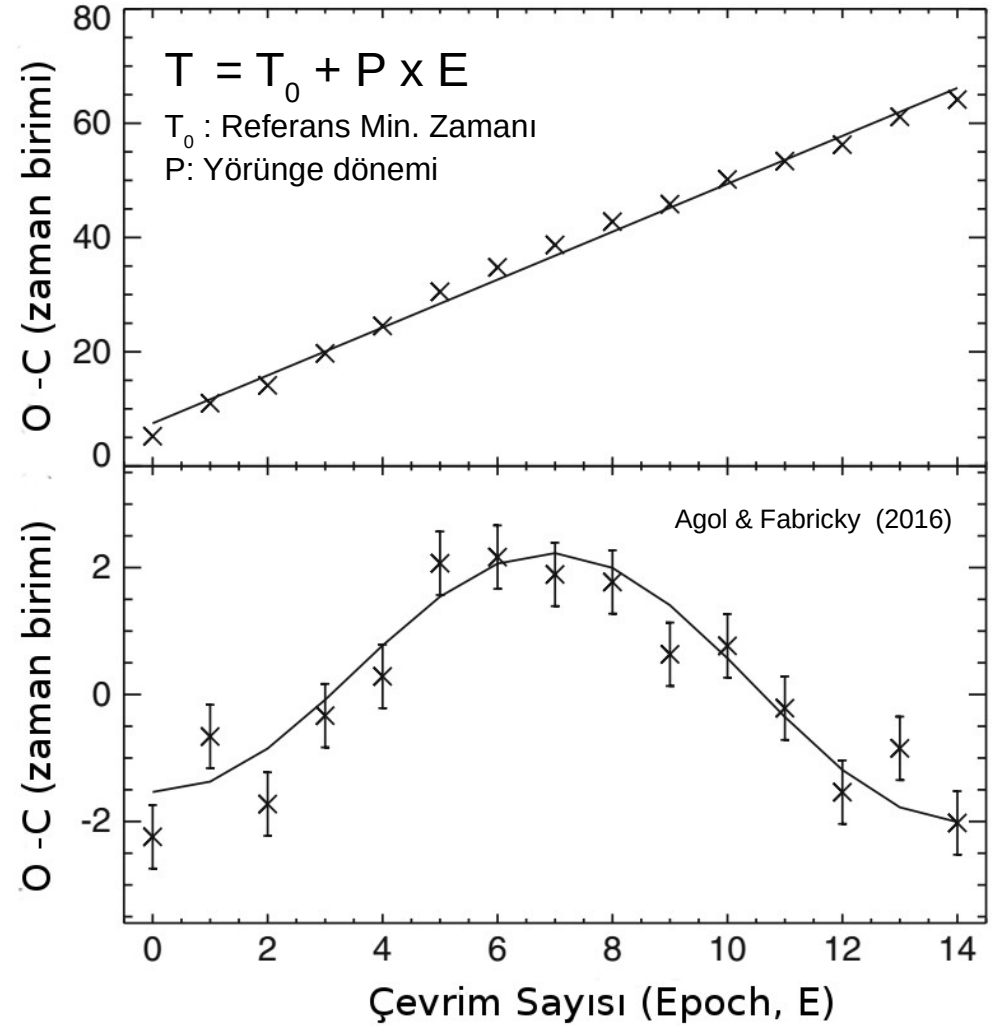
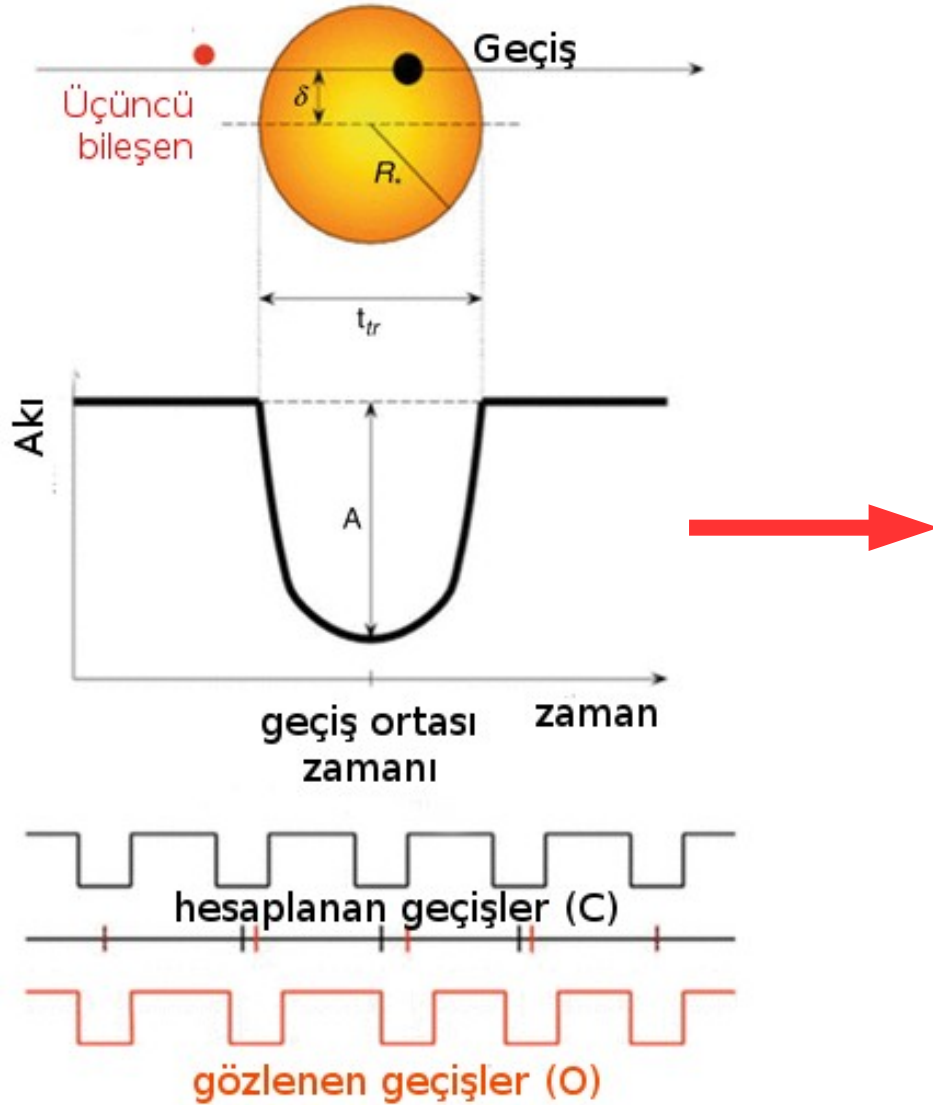
$$\delta t_i = P_i \sum_{j \neq i} \frac{m_j}{m_*} f_{ij}(\alpha_{ij} \theta_{ij})$$

Çeşitli konfigürasyonlar için gezegen-gezegen etkileşimi kaynaklı Geçiş Zamanları Değişimi (TTV) ifadesinin çıkarılışı Borkovits vd. (2003), Agol vd. (2005), Nesvorný and Morbidelli (2008); Nesvorný (2009); Nesvorný and Beaugé (2010); Agol and Deck (2016); Deck and Agol (2016) tarafından ele alınmıştır.

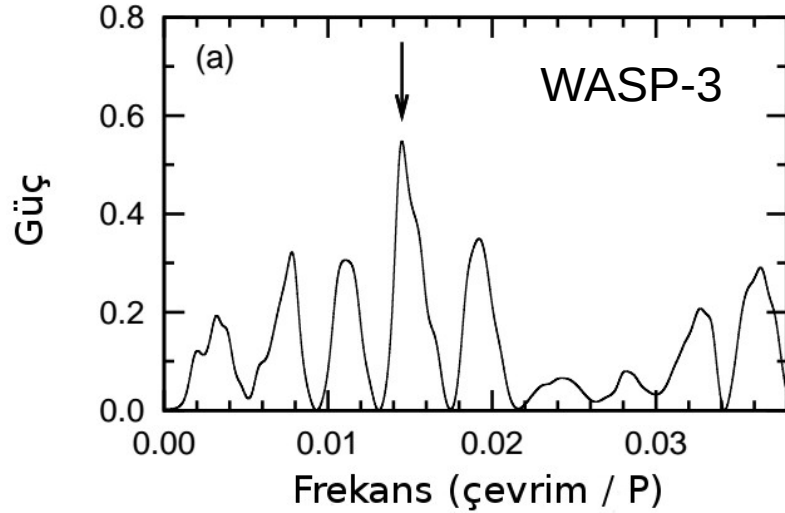
TTV Çalışmak İçin Ek Motivasyonlar

- ✓ TTV'si gözlenen ve bileşenleri geçiş yapan gezegenlerin karakterizasyonu
- ✓ TTV sinyalinin 3'lü bir yıldız sisteminde mümkün olmayacak bir şekilde antikorele olmasından dolayı dikine hız gözlemleri yapılmadan gözlenen cisimlerin yıldız olma olasılıklarının elenebilmesi
- ✓ Her ikisi de geçiş yapan gezegenlerin TTV genlikleri oranı kütleleri oranını verdiği, yarıçapları da bilindiği için yıldıza göre yoğunlukları oranı ve bu bilgilerden hareketle de gezegen yoğunlukları da elde edilebilir.
- ✓ Hem TTV'leri gözlenmiş hem de dikine hız gözlemleri bulunan sistemlerde tüm mutlak parametreler elde edilebilir.

Zamanlama Gözlemleri ve Analiz



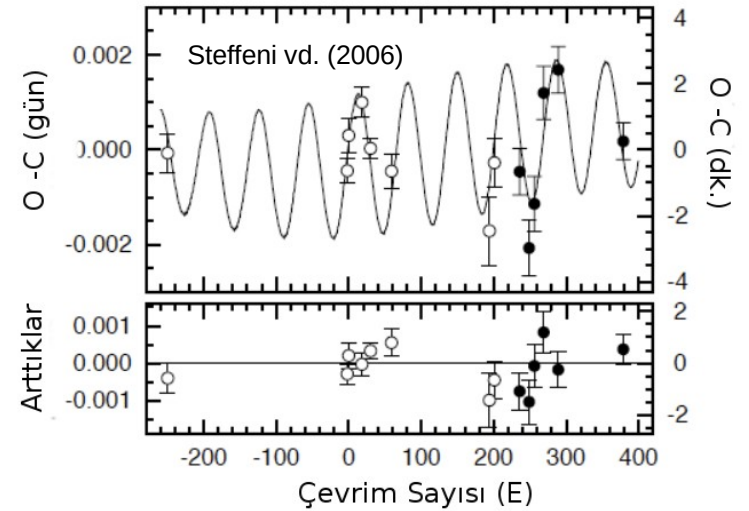
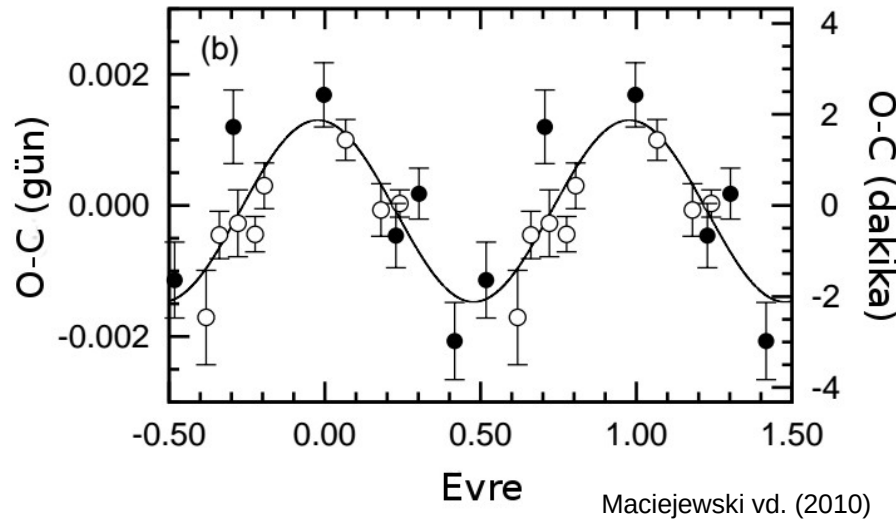
TTV Analizi: Ters Problem



$$m_3 \sin i = ?$$

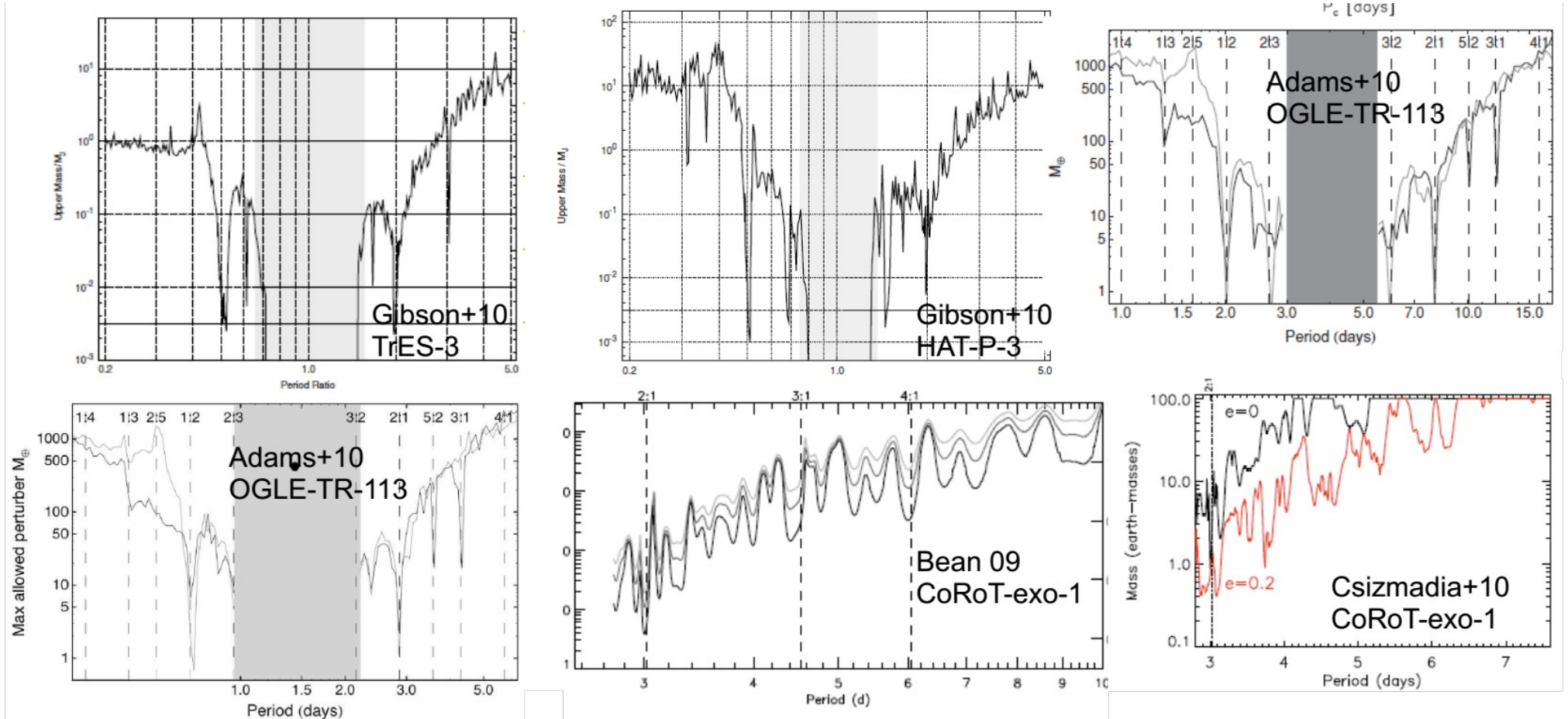
$$a_3 \sin i = ?$$

$$e_3, \omega_3 = ?$$



$$m_4 \sin i, a_4 \sin i, e_4, \omega_4 = ?$$

“Sıkıntı var...”*



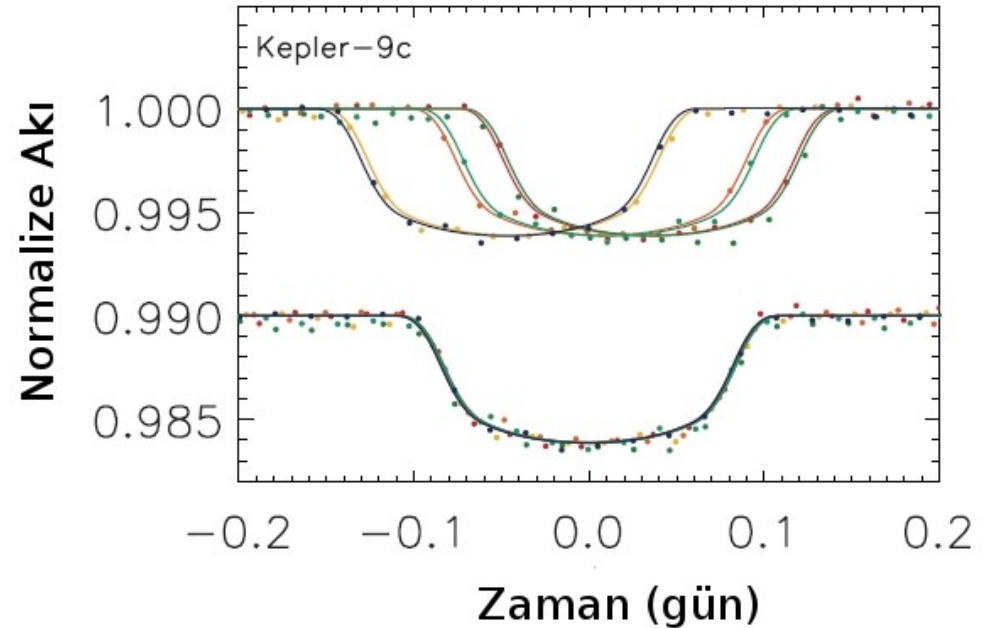
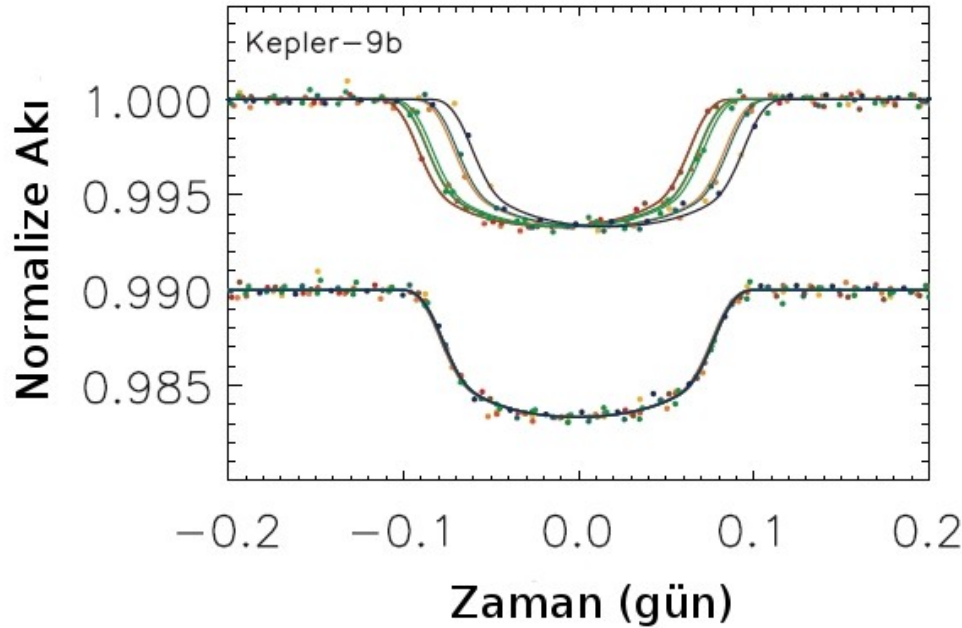
“Söyleyin bana kardeşlerim: kötü ve en kötü olarak kabul ettiğimiz nedir? Yozlaşma değil midir?” **

* Anonim

** Friedrich Nietzsche, “Böyle Buyurdu Zerdüşt”

İlk TTV Gözlemi: Kepler-9 Sistemi

TTV'nin kuşkusuz olarak tespit edildiği ilk sistem Kepler-9 sistemidir (Holman et al. 2010). Hem Kepler-9b, hem de Kepler-9c'nin transitlerinde TTV görünür (aşağıdaki şekil). Ancak her ikisi de transit yöntemiyle keşfedilmiş gezegenler olduğu için TTV ile ilk gezegen keşfi bu değildir. Aynı durum ilk keşiften önce yine TTV'si belirlenen Kepler-11 (Lissauer et al.2011) için de geçerlidir.



Holman vd. (2010)

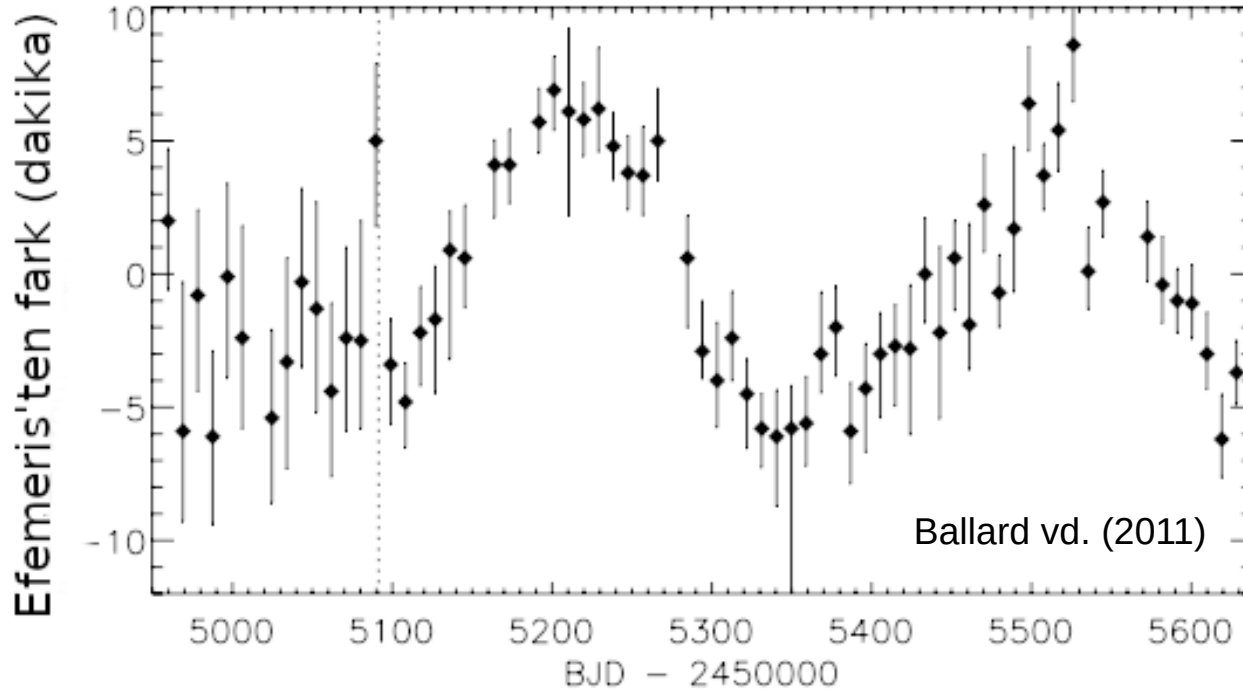
2:1 Rezonans

$P_b = 19.24$ gün

$P_c = 38.91$ gün

İlk TTV Keşfi: Kepler-19c

Her ne kadar makalesinde bu yöntemle keşfedilen ikinci gezegen olduğu söylene de aslında bu yöntemle keşfedilen ilk gezegen Kepler-19c'dir (Ballard et al. 2011). Zira bu makalede ilk keşifler için WASP-10c ve d (Maciejewski et al. 2011) 'ye atıf yapılmıştır. Oysa ki sonraki çalışmalar (Beck et al. 2019) bu konuda olumlu sonuç vermemiştir. Bazı kaynaklarda ilk TTV keşfi olduğu iddia olunan Kepler-46 c de ilk bulunan TTV gezegenlerinden olmakla birlikte keşfi biraz daha sonradır (1 yıl kadar sonra Nesvorny et al. 2012).

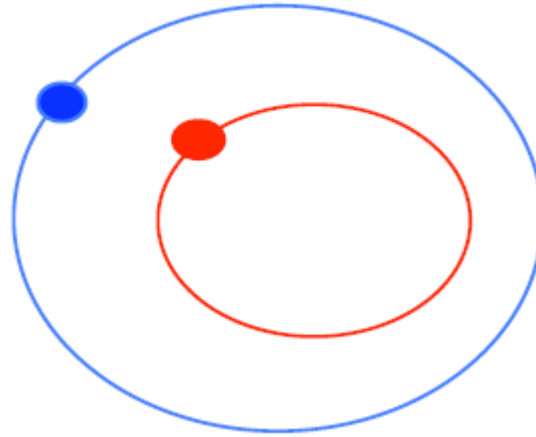
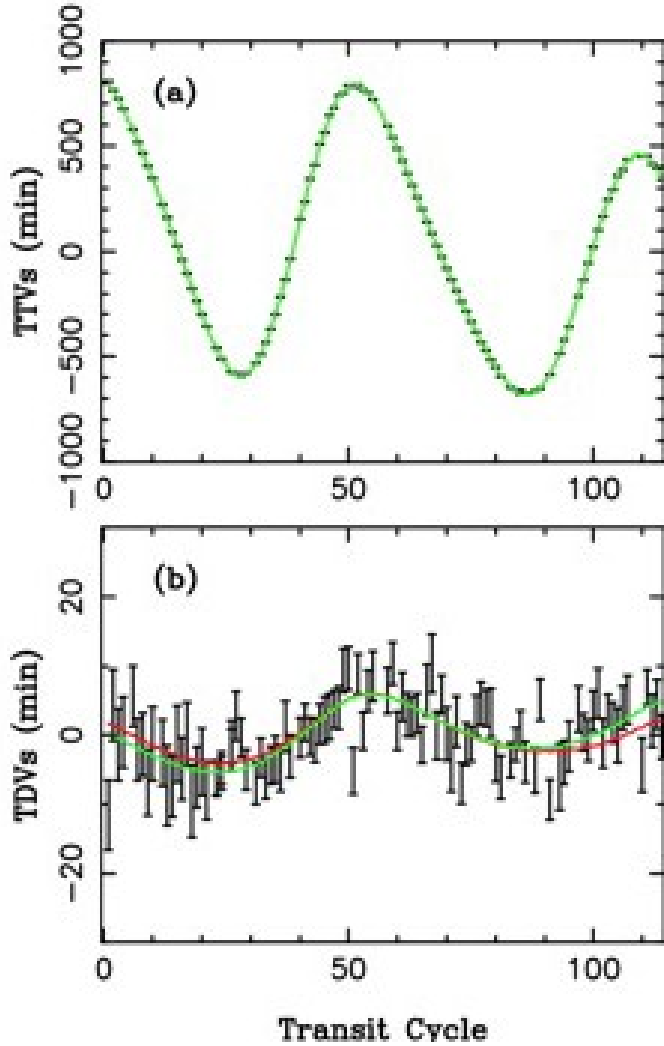


TTV Keşifleri (17*)

Gezegen	Keşif yılı	Araştırma	Yayın
Kepler-19 c	2011	Kepler	Ballard vd. (2011)
Kepler-46 c	2012	Kepler	Saad-Olivera vd. (2017)
Kepler-46 c	2012	Kepler	Nesvorny vd. (2012)
Kepler-122 f	2014	Kepler	Morton vd. (2016)
Kepler-338 e	2014	Kepler	Yayınlanmadı
Kepler-37 e	2014	Kepler	Yayınlanmadı
Kepler-414 c	2014	Kepler	Berger vd. (2018)
Kepler-415 c	2014	Kepler	Yayınlanmadı
Kepler-416 c	2014	Kepler	Yayınlanmadı
Kepler-419 c	2014	Kepler	Dawson vd. (2014)
Kepler-539 c	2016	Kepler	Mancini vd. (2016)
Kepler-448 c	2017	Kepler	Masuda (2017)
Kepler-411 e	2018	Kepler	Sun vd. (2019)
Kepler-82 f	2019	KOINet	Freudenthal vd. (2019)
WASP-126 c	2019	TESS	Pearson (2019)
WASP-18 c	2019	TESS	Pearson (2019)
Kepler-160 d	2020	Kepler	Heller vd. (2020)

* 2020-12-25 itibarı ile NASA Exoplanet Archive

KOI-142



2:1 Rezonans

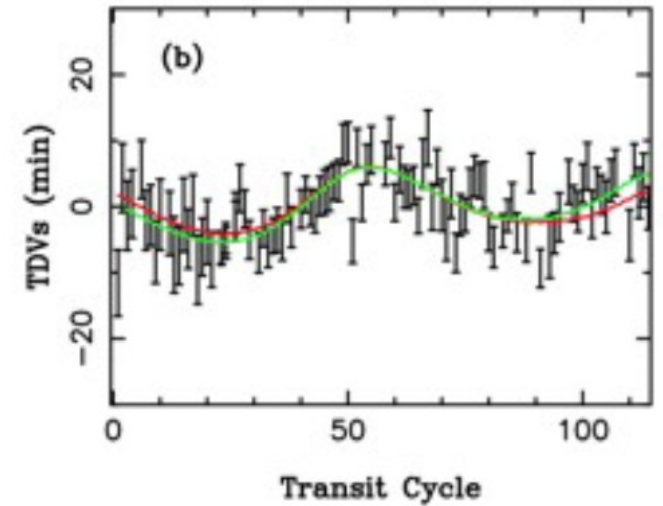
$P_b = 10.95$ gün

$P_c = 22.34$ gün

Bu durumda geçişin süresi de değişebilir

→

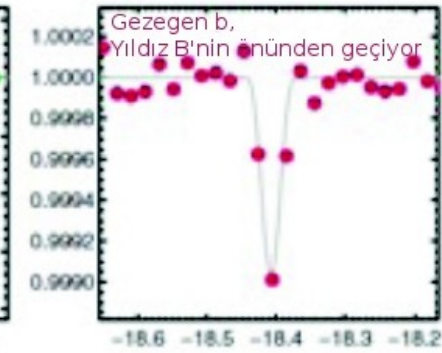
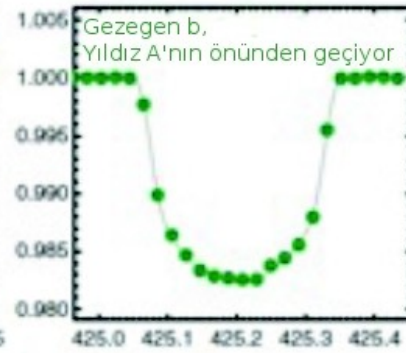
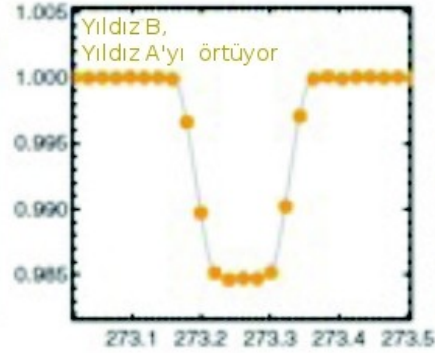
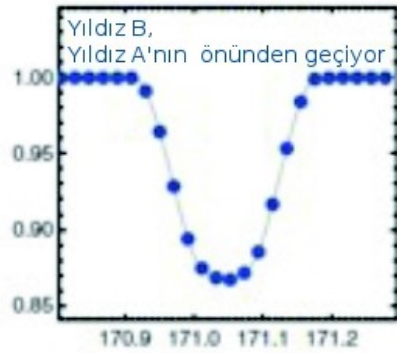
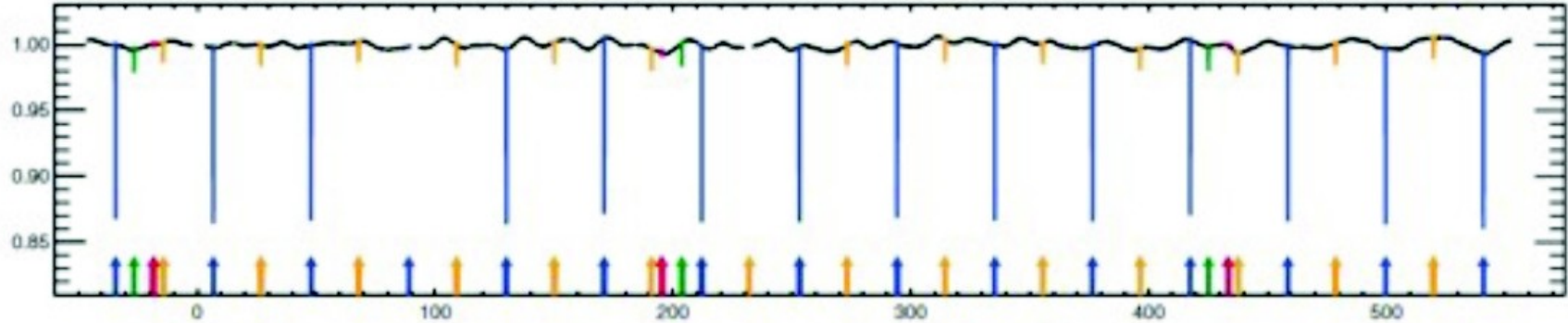
Geçiş Süresi Değişimi
(ing. Transit Duration
Variation, TDV) gözlenir!



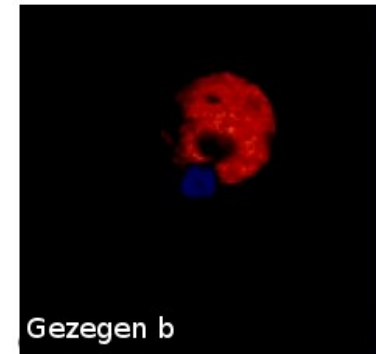
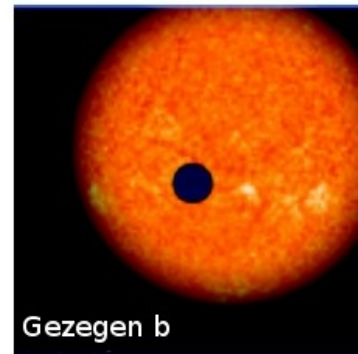
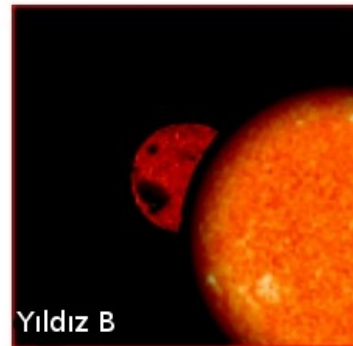
Kepler - 16b



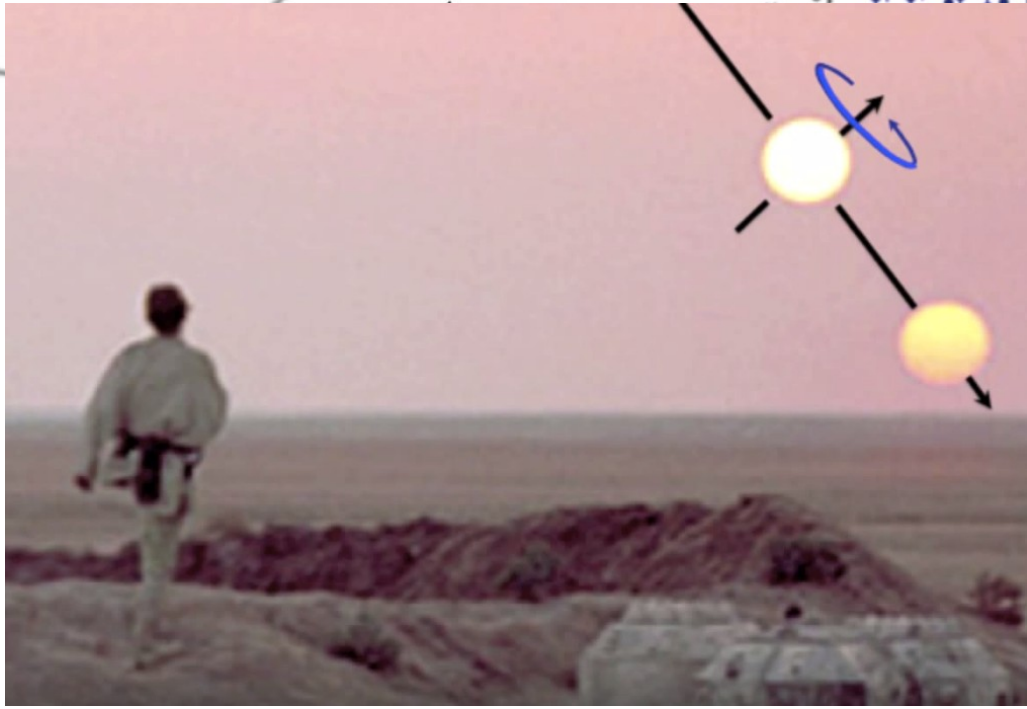
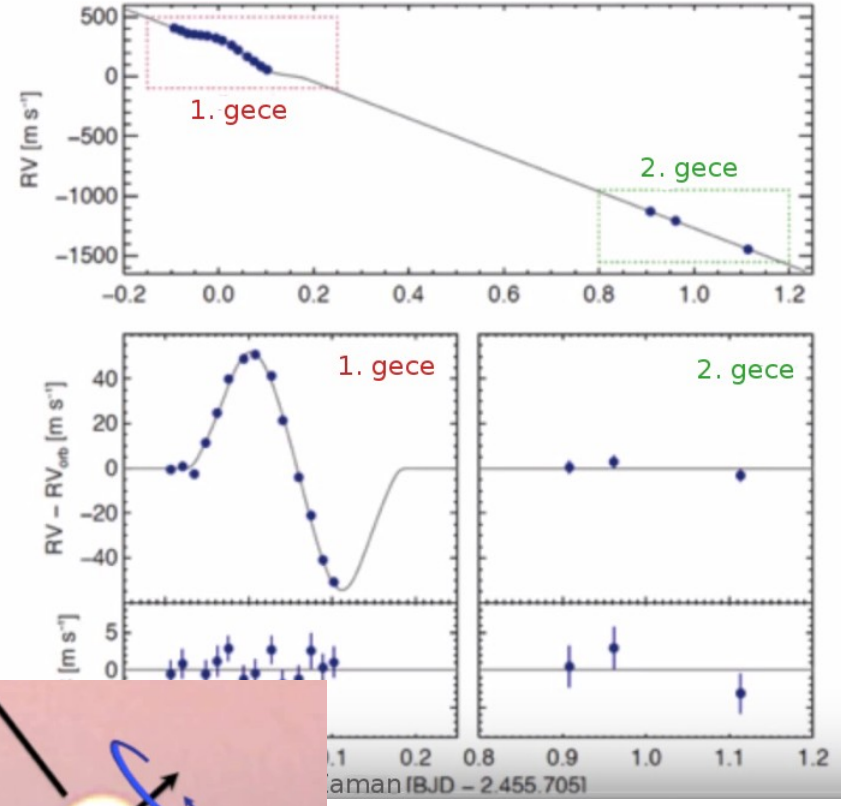
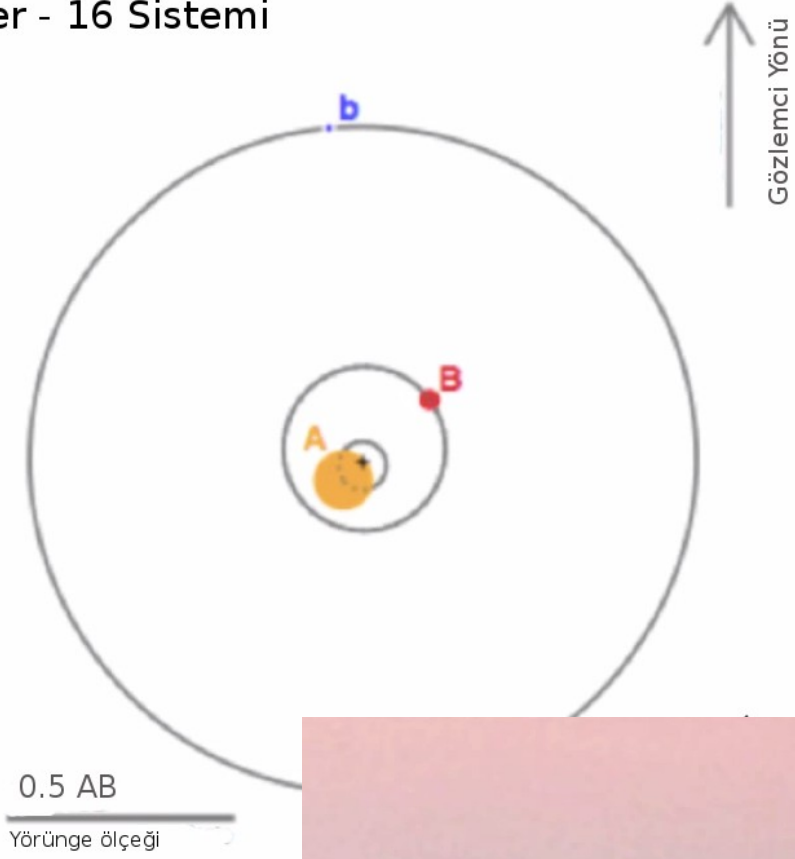
Görelî Akı



Zaman (BJD - 2455000)



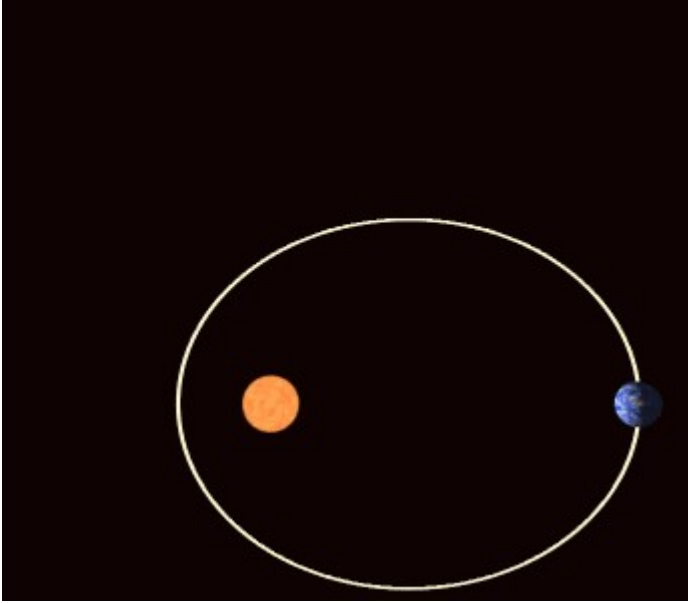
Kepler - 16 Sistemi



Rossiter-McLaughlin Etkisi

Geçiş / Tutulma Zamanı Değişim Nedenleri* – 1

Eksen Dönmesi

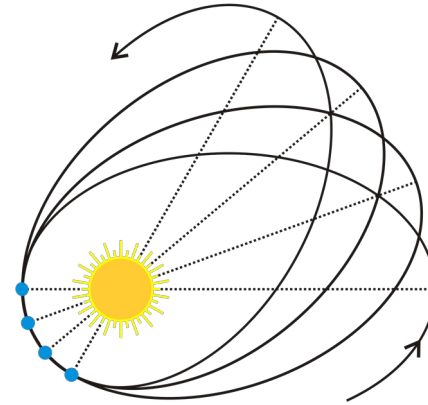


Nedenleri:

- 1) Sisteme bağlı diğer cisimlerin kütle çekim etkisi kaynaklı tedirginlik etkileri
- 2) Dönme ve iç yapı kaynaklı olarak küresel simetriden uzaklaşma sonucu dört kutuplu (quadrupole) moment değişimi
- 3) Görelilik etkileri (Merkür için 100 yılda 43" kadar küçük bir etki)

Yukarıda verilen sıra bir gezegen sistemi için aynı zamanda neden oldukları eksen dönmesi büyüklüğü için bir önem sırasındır.

Dışmerkezliliği olan sistemlerde küçük kütleli gezegenin (ya da yoldaş yıldız bileşenin) yörüngesi de uzayda zamanla döner. Bu görselde eksen dönmesi adı verilen bu etki görselleştirme için abartılı olarak gösterilmektedir. Özellikle gezegen sistemlerinde yörünge dış merkezliliği çok daha az, eksen dönmesi hareketi çok daha küçüktür ve yavaş gerçekleşir! ©wikipedia

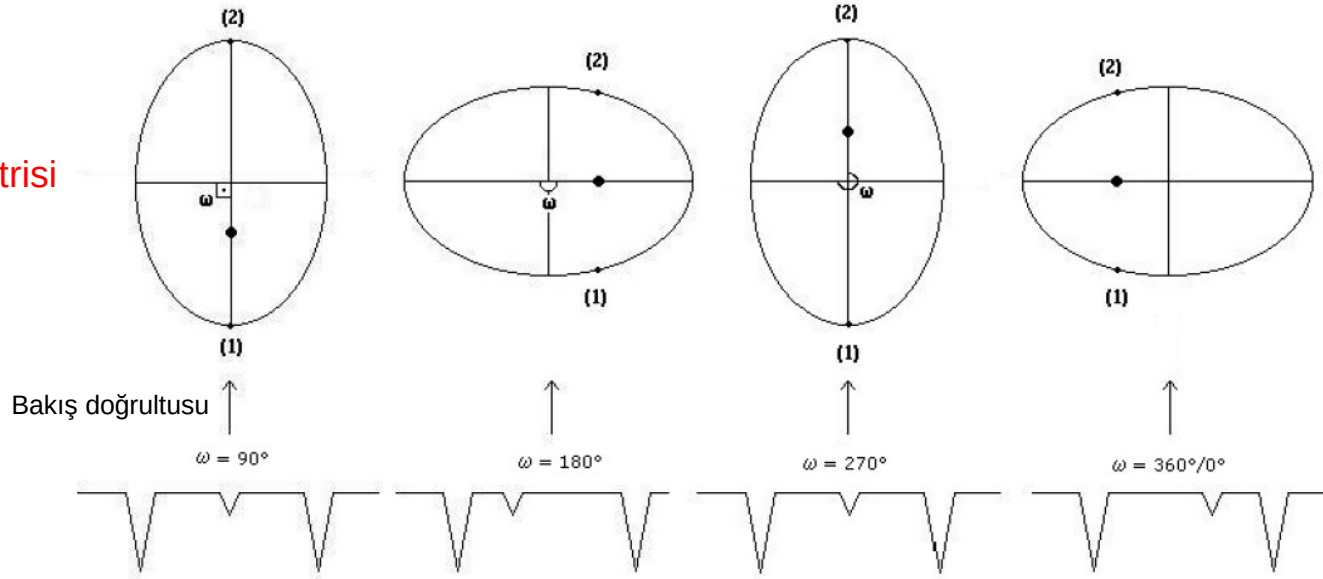


*Not: Burada çift yıldız sistemlerinde korunumlu / korunumsuz kütle transferi ve kütle kaybı kaynaklı seküler (tek düze) dönem değişimleri dersin merkezinde gezegen sistemleri olduğu gerekçesiyle değerlendirilmemiştir.

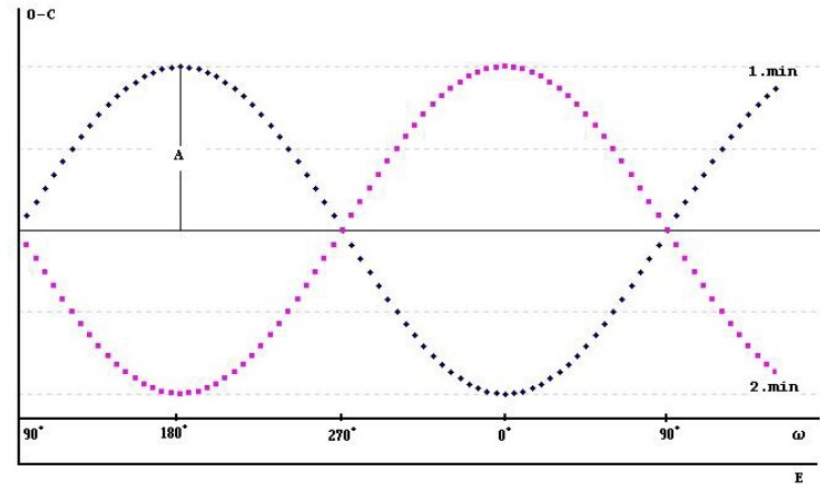
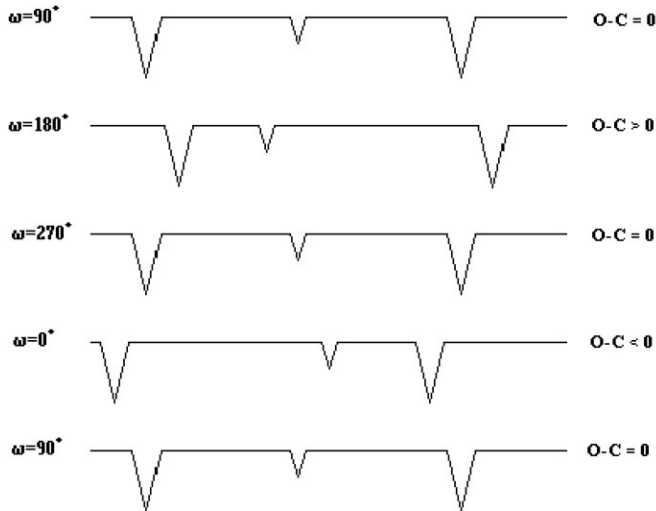
Geçiş / Tutulma Zamanı Değişim Nedenleri - 1

Eksen Dönmesi Kaynaklı Geçiş / Tutulma Zamanlaması Değişimleri

Yörünge Geometrisi



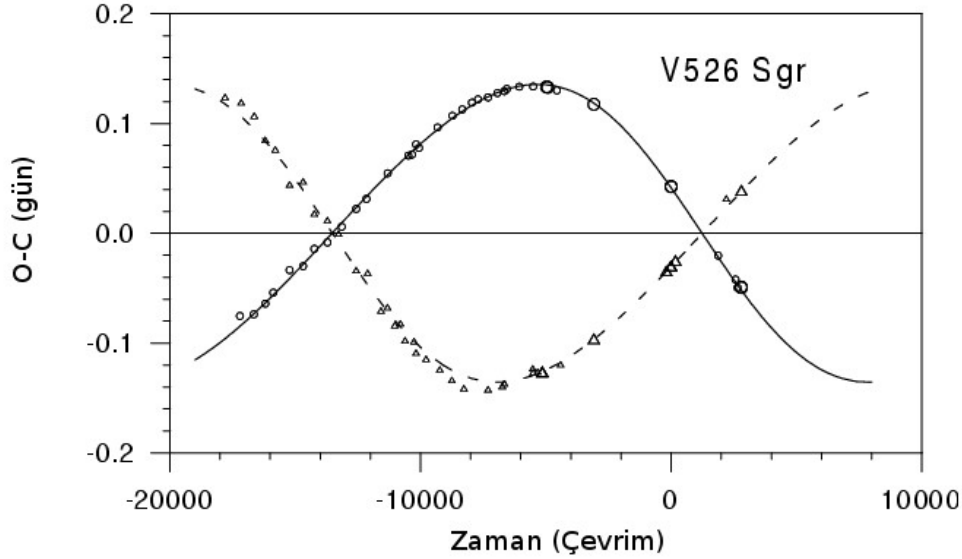
Işık Eğrisi



Eksen Dönmesi Kaynaklı Tutulma Zamanları Değişimi

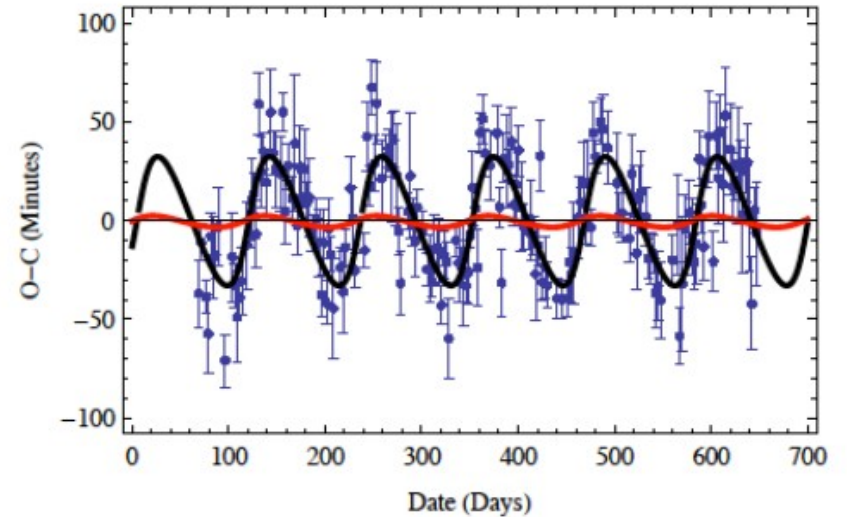
Geçiş / Tutulma Zamanı Değişim Nedenleri - 1

Eksen Dönmesi Kaynaklı Geçiş / Tutulma Zamanlaması Değişimleri



V526 Sgr Çift Yıldız Sisteminin Eksen Dönmesi Kaynaklı Dönem Değişimi (Wolf & Zejda 2005)

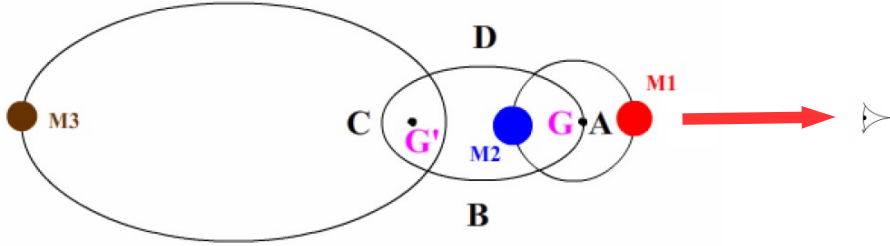
Söz konusu bir gezegen sistemi olduğu vakit 2. minimumu (örtme) gözlemek düşük ışık değişimi genliği nedeniyle oldukça güçtür. Bu durumda sadece 1. minimum değişimi gözlenir.



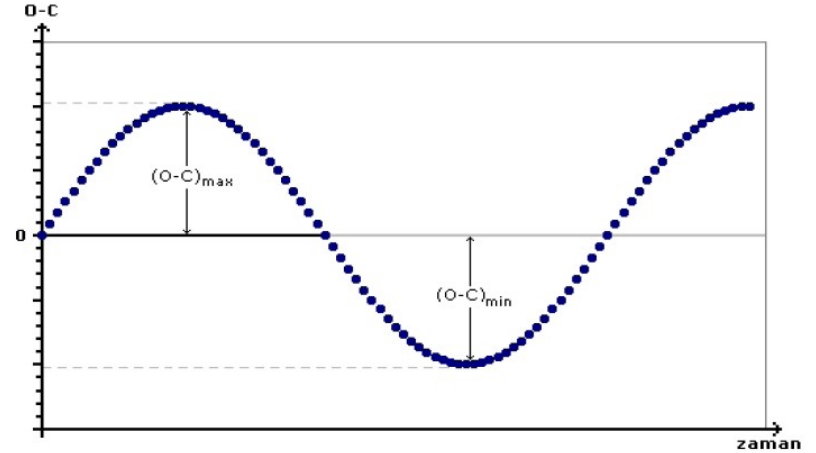
KOI-928 Sistemine Bağlı Bir Gezegen Kaynaklı Dönem Değişimi (Steffen vd. 2011)

Geçiş / Tutulma Zamanı Değişim Nedenleri - 2

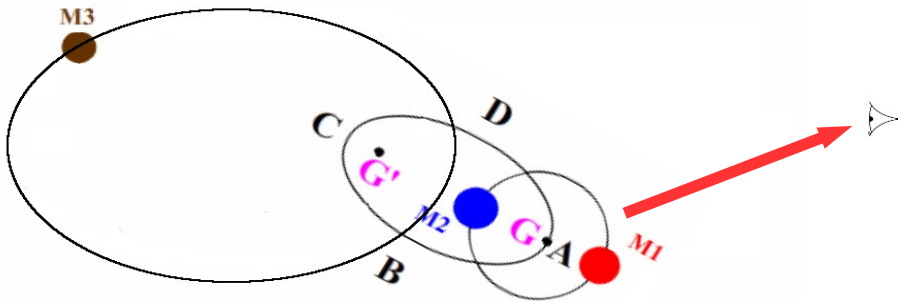
Işık - Zaman Etkisi Kaynaklı Geçiş / Tutulma Zamanlaması Değişimleri



$M_1 - M_2$ sistemini gözlediğinizi ve bu sistemin de gözleyemediğiniz bir M_3 kütlesi ile ortak kütle merkezi etrafında yörünge hareketi yaptığını düşünün. Yukarıdaki konumdayken gözlediğiniz bir minimum zamanın (örtme ya da geçiş) zamanı t_1 olsun.



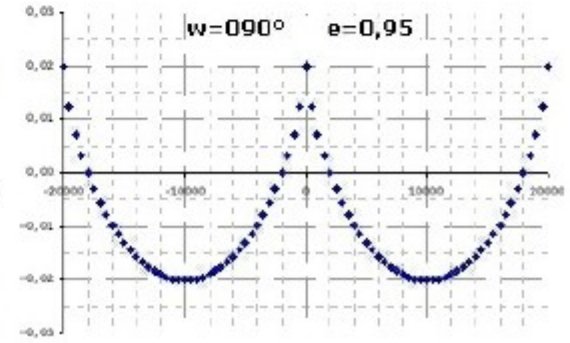
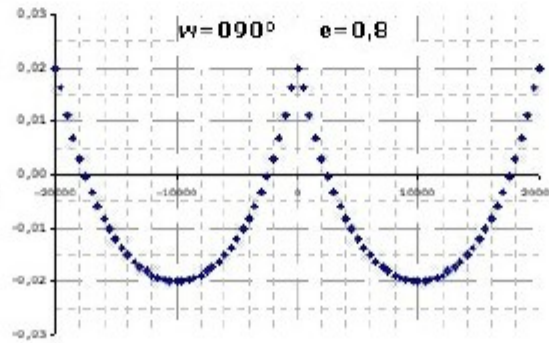
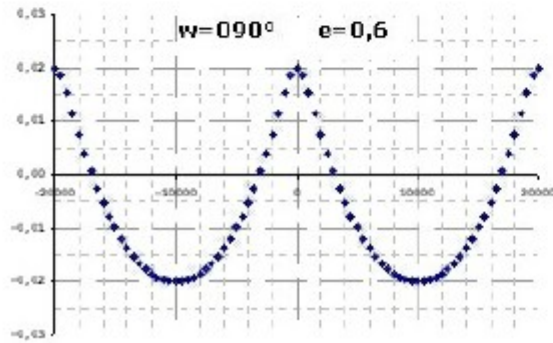
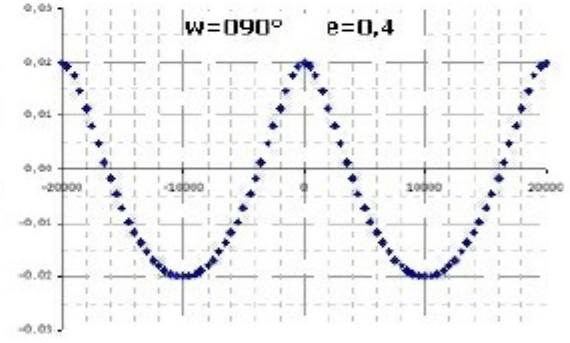
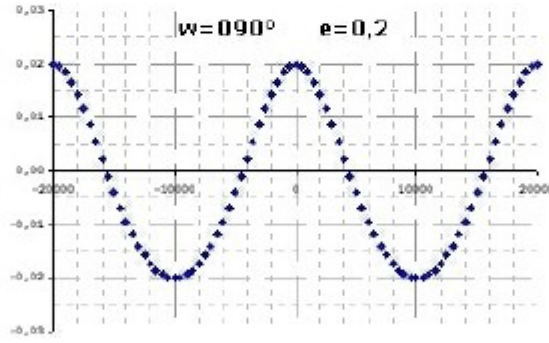
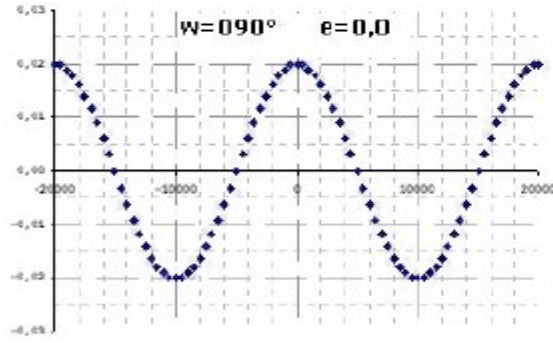
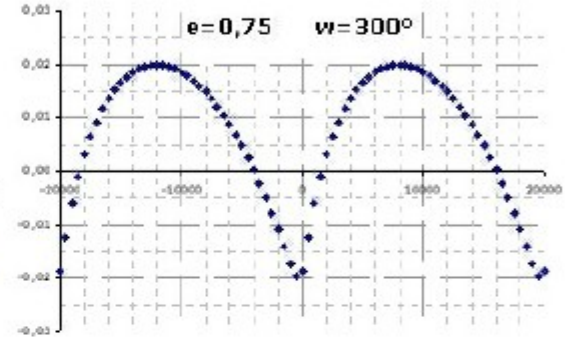
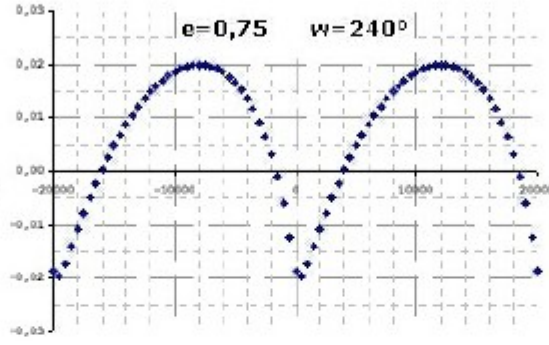
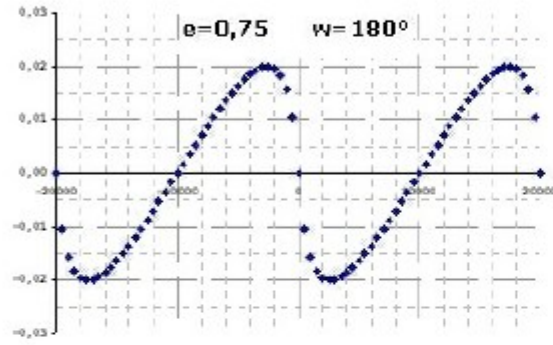
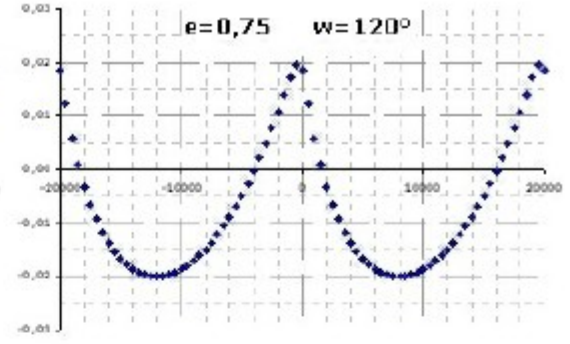
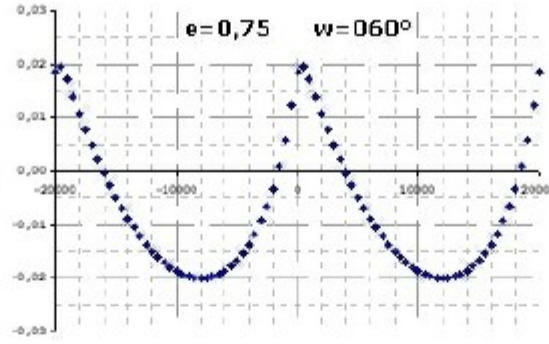
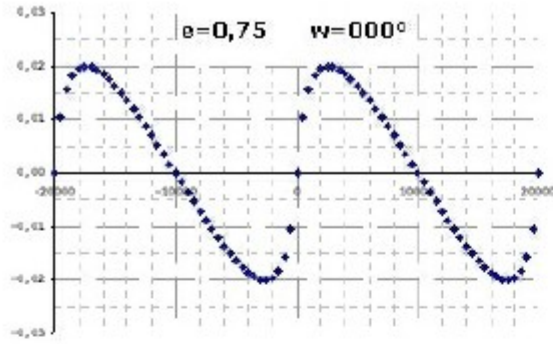
Sonuç gözlenen (O: observed) ve hesaplanan (C: calculated) minimum zamanlar arasında zamanla düzenli olarak değişen bir farktır (O-C). Bu fark size gözlediğiniz sisteme kütle çekim etkisi ile bağlı üçüncü bir cismin (M_3) olabileceğini söylemektedir.



Yörünge hareketi nedeniyle gözlediğiniz sistem sizden bir miktar uzaklaşıyor olsun. Bu sırada gözleyeceğimiz bir geçiş ya da tutulmanın zamanı (t_2) ışık hızı sonlu olduğundan t_1 'e göre daha geç olacaktır! Bu şekilde gözlediğiniz $M_1 - M_2$ sisteminin, gözleyemediğiniz M_3 nedeniyle minimum zamanları düzenli değişir. Bu değişimden M_3 'ün varlığını tespit edebilirsiniz!

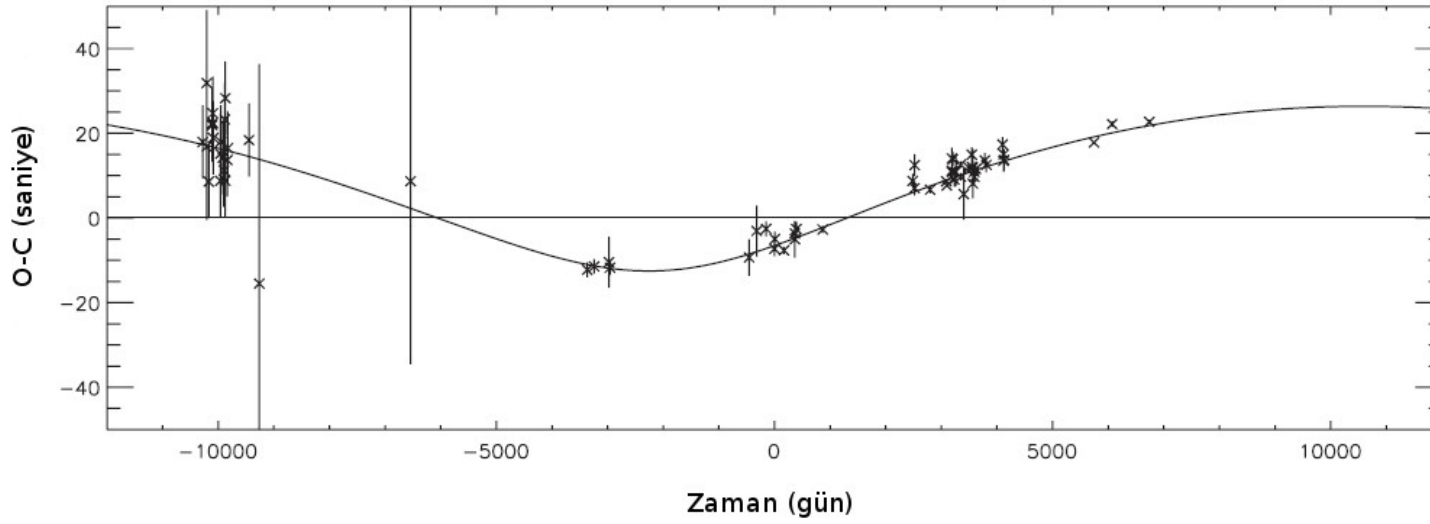
$$O - C = \frac{A_{LITE}}{\sqrt{(1 - e_3^2 \cos^2 \omega_3)}} \left[\left(\frac{1 - e_3^2}{1 - e_3^2 \cos v} \right) \sin(v + \omega_3) \right] + e_3 \sin \omega_3$$

e_3 dış merkezliliğinde, ω_3 açısıyla yönelmiş bir yörüngeye sahip 3. bir cismin neden olacağı genliği A_{LITE} olan ışık zaman etkisi kaynaklı bir O-C değişiminin ifadesi yukarıdaki şekilde Irwin (1959) ve Mayer (1990) tarafından verilmiştir.

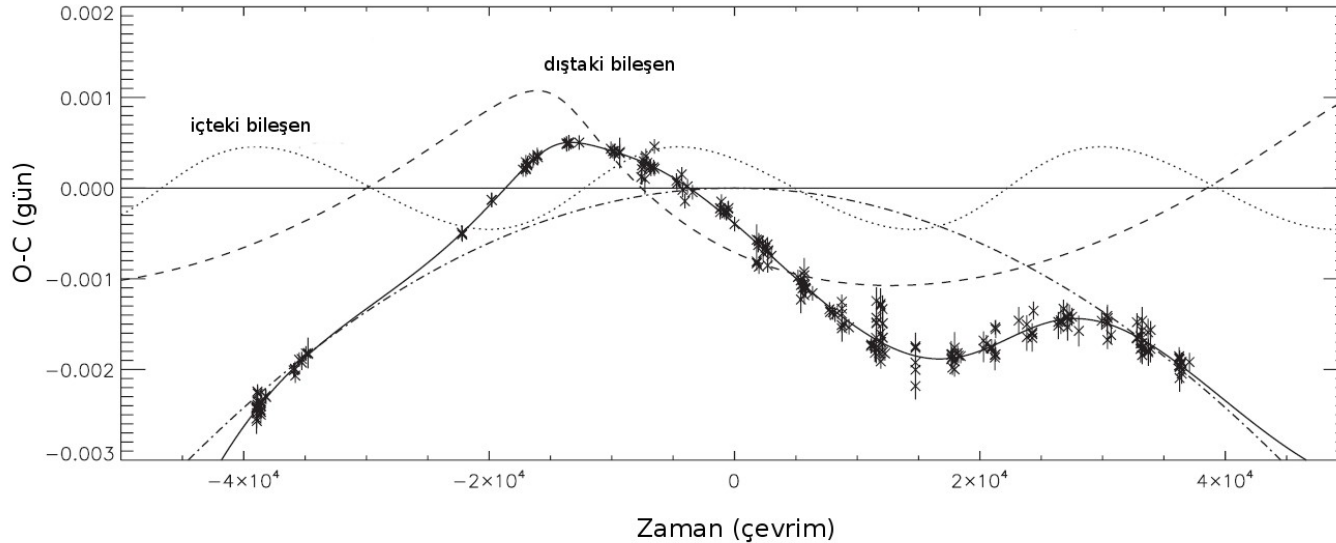


Çeşitli ω ve e değerleri için O-C değişimi

$$O - C = \frac{A_{LTE}}{\sqrt{(1 - e_3^2 \cos^2 \omega_3)}} \left\{ \left[\frac{1 - e_3^2}{1 + e_3 \cdot \cos v} \sin(v + \omega_3) \right] + e_3 \sin \omega_3 \right\}$$



NSVS 14256825 sisteminde m_3 sini = $6.7 M_{jüp}$ kütleli gezegen adayı kaynaklı O-C değişimi (Hinse vd. 2014)



HW Vir sisteminde m_3 sini = $12 M_{jüp}$ (içteki) ve m_3 sini = $14 M_{jüp}$ (içteki) kütleli iki gezegen adayı kaynaklı O-C değişimi. Bu iki değişimin üstüne bindiği kütle aktarımı kaynaklı parabolik değişim konumuz dışıdır. (Horner vd. 2013)

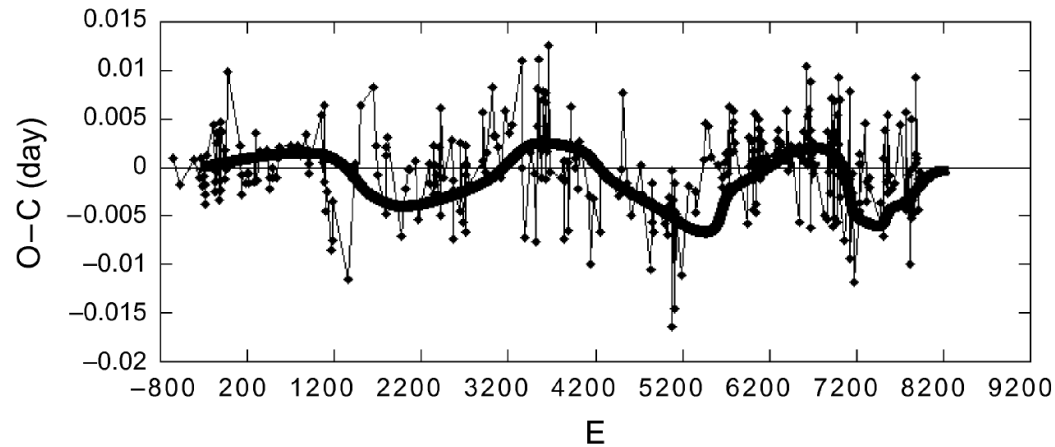
Şekillerden de açıkça görülebileceği gibi zamanlama yöntemiyle gezegen keşfi için

- 1) örtme / tutulma zamanlarını büyük bir hassasiyetle (saniye mertebesinde) belirlemeye,
- 2) uzun zamana mümkün olduğunca eşit şekilde yayılmış, sık gözlem noktalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Geçiş / Tutulma Zamanı Değişim Nedenleri - 3

Manyetik Etkinlik Kaynaklı Geçiş / Tutulma Zamanlaması Değişimleri

Applegate kuramına (1992) göre kuvveti değişken manyetik etkinliğin yıldızın dönme hızında neden olduğu zamanla değişim, açısal momentumun korunumu gereği çoklu sistemlerde yörünge dönemlerine de yansır ve yörünge dönemi değişir. Yörünge döneminin, manyetik etkinlik kaynaklı olduğu için onun gibi çevrimsel olan bu değişimi sistemde gözlenen geçiş / tutulma zamanlarının da çevrimsel olarak daha geç ve daha erken gözlenmesine neden olur.



RZ Cas'ın manyetik etkinlik kaynaklı O-C değişimi (Golovin & Pavlenko 2005)

Manyetik etkinlik kaynaklı O-C değişimleri ilave cisim(ler)in yaratacağı değişimlerden farklı olarak katı birer döneme sahip olmayıp çevrimsel ve daha kaotiktirler. Ayrıca bu değişimlere ışık şiddeti, renk ve (tayfsal ve fotometrik) manyetik etkinlik belirteçlerinin değişimleri de eşlik eder. Dolayısı ile bu değişimlerin takip edilebileceği gözlemlerin varlığında ilave cisim(ler)in yaratabileceği O-C değişimlerinden ayırdedilebilmeleri de mümkündür.

Zamanlama Yöntemi: Çift Yıldız Gezegenleri

Eğer bir çift (ya da çoklu) yıldız sisteminde tutulma (çift sistem yıldızlarının bakış doğrultusuna göre birinin diğerinin önünden geçmesi nedeniyle sistemden alınan toplam ışıpta azalmanın gözleendiği zamanlar) zamanları düzenli olarak değişiyor ve bu değişim diğer senaryolarla açıklanamıyorsa sistemde gözlenemeyen bir başka bileşen daha olduğu düşünülür. Sisteme bağlı üçüncü bir bileşenin varlığı aslında iki etkiye aynı anda yol açar.

1. Işık-Zaman Etkisi

$$A_{1.min} = \frac{\Delta P_{\text{çift}}}{P_{\text{çift}}} = \frac{M_{\text{gez}}}{(M_{\text{gez}} + M_A + M_B)^{3/2}} \left(\frac{P_{\text{gez}}}{P_{\text{çift}}} \right)^{(2/3)} \left(\frac{GM_A}{2\pi c^3 P_{\text{gez}}} \right)^{(1/3)}$$

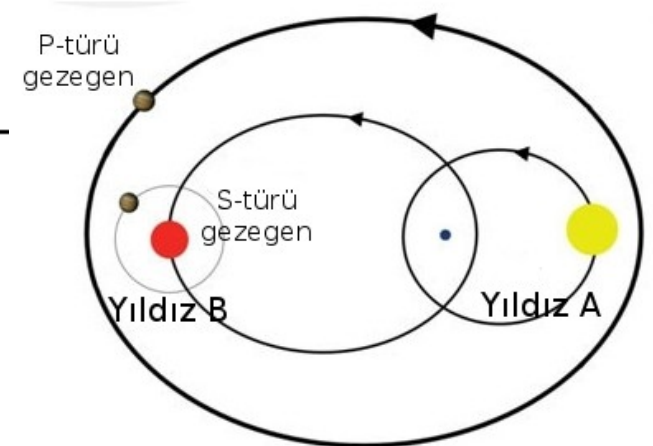
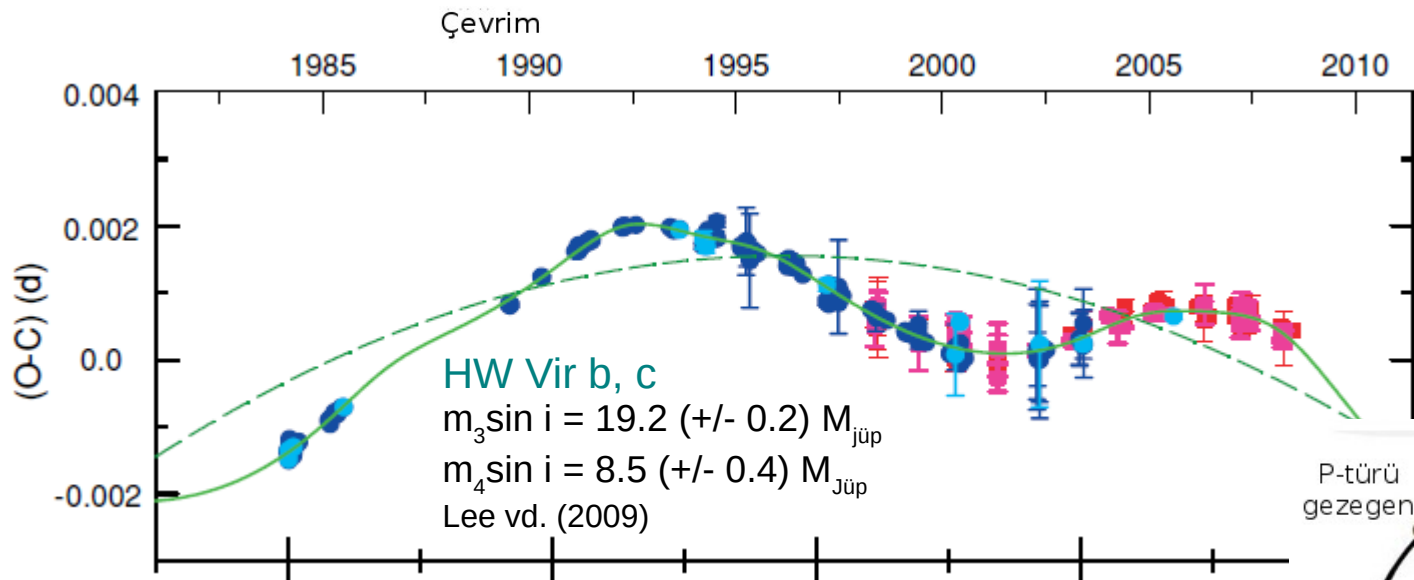
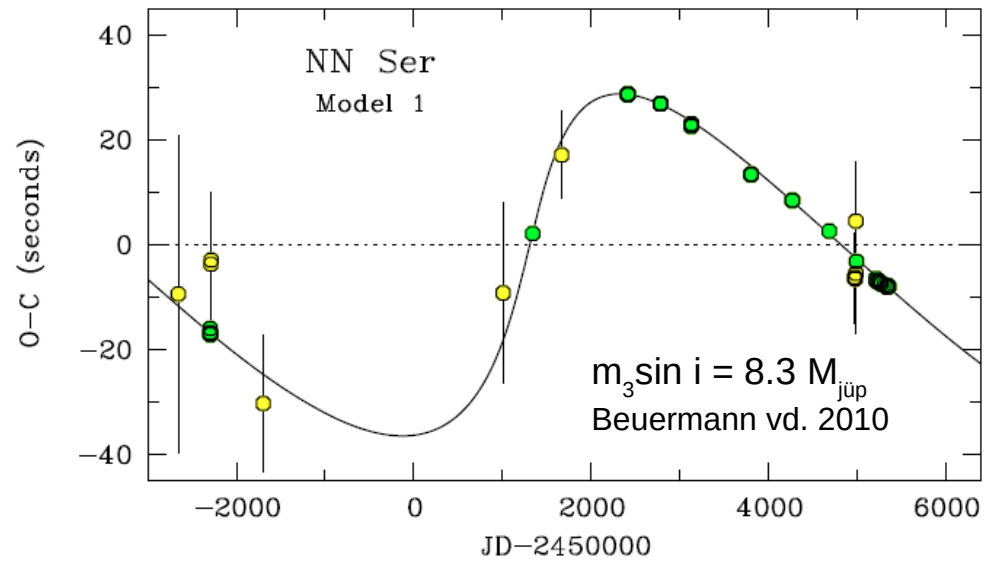
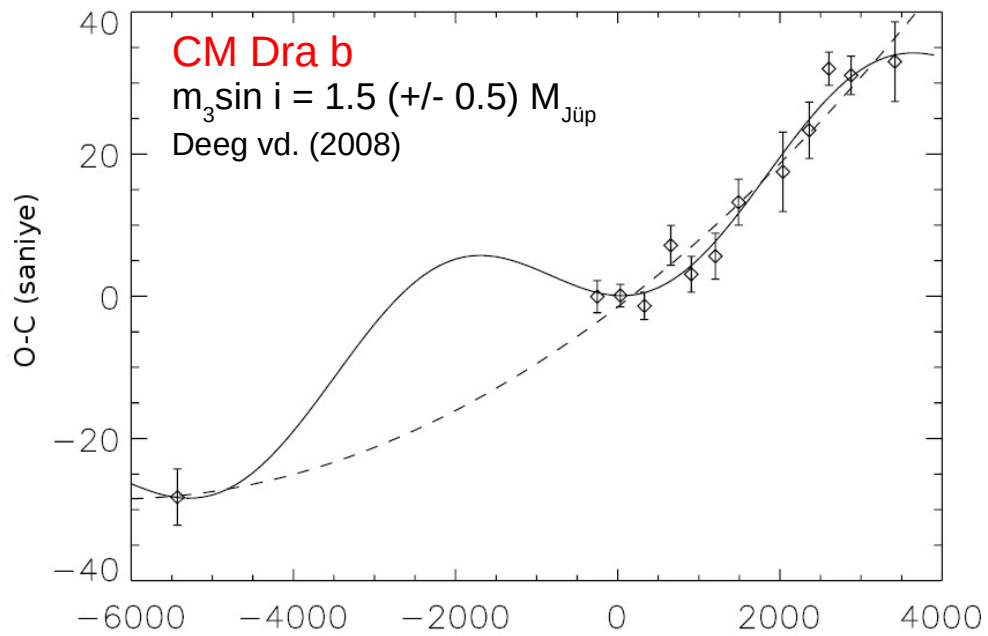
1. minimum zamanının
değişim genliği

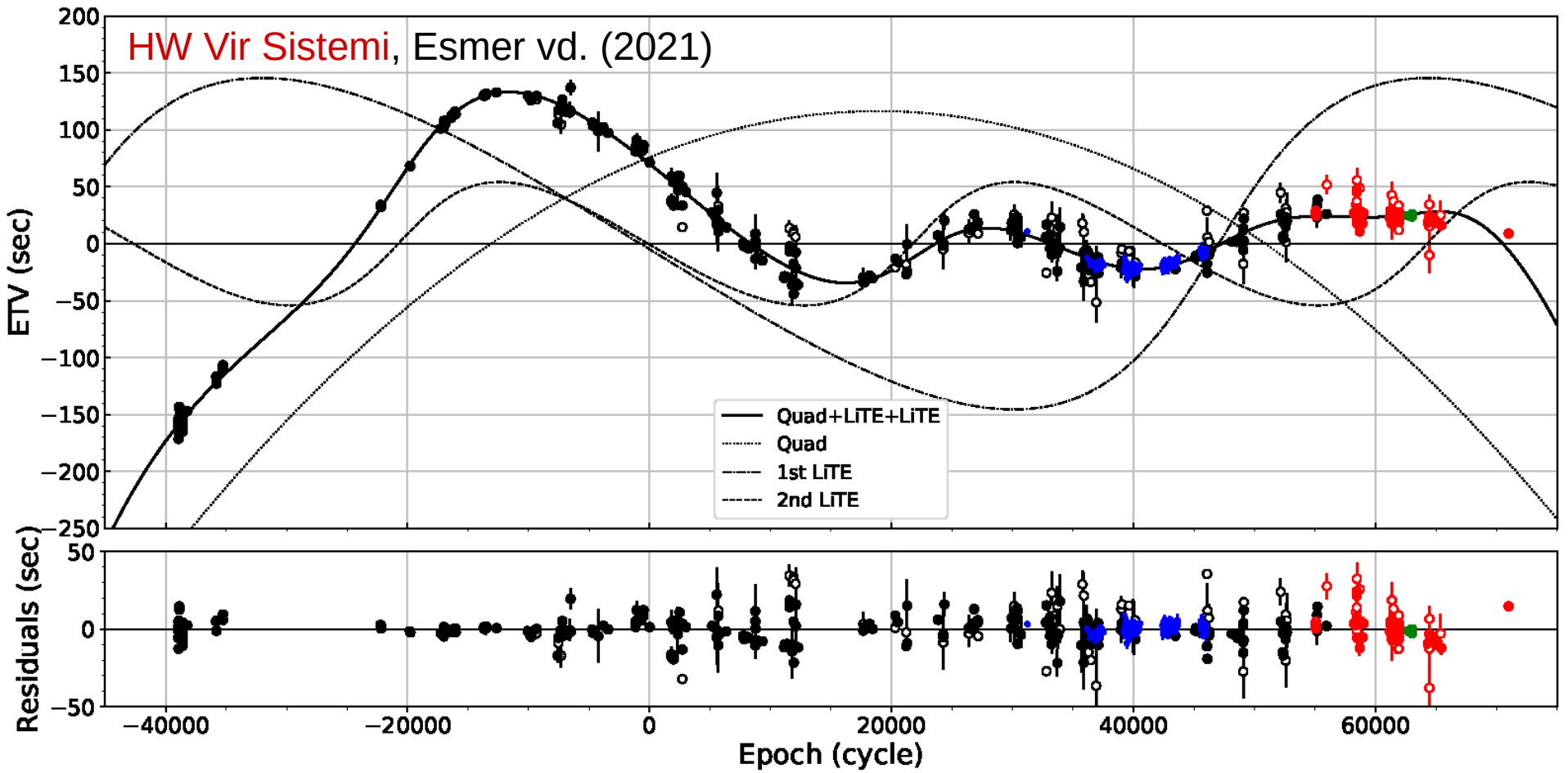
1. Üçüncü Cismin Kütle Çekim Etkisi

$$A_{1.min} = \frac{\Delta P_{\text{gez}}}{P_{\text{gez}}} \approx \frac{3}{8\pi} \frac{M_{\text{gez}}}{(M_{\text{gez}} + M_A + M_B)} \left(\frac{P_{\text{gez}}}{P_{\text{çift}}} \right)$$

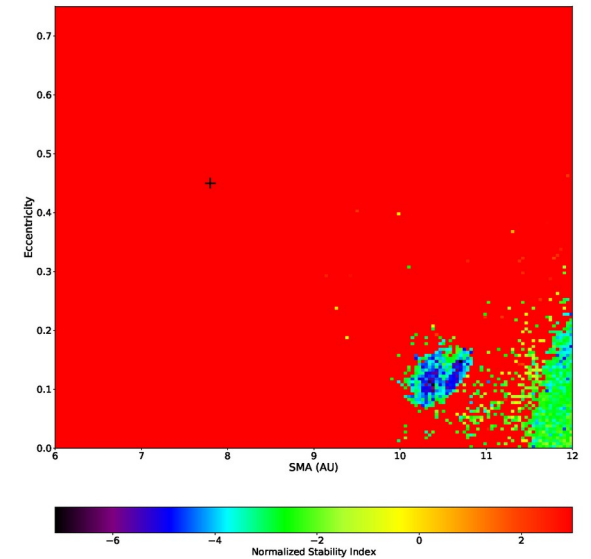
1. minimum zamanının
değişim genliği

Her iki etkinin ölçüğü ve örtme/örtülme (tutulma) zamanı değişimlerini hangisinin domine edeceği çift sistemin bileşenlerinin birbirine yakınlığına, her üç cismin kütlelerine ve 3. cismin, çift sisteme yakınlığına bağlıdır. Kepler-16 sisteminde domine eden faktör yakın üçüncü cismin (Kepler-16b gezegeninin) kütle çekim etkisi iken diğer pek çok çift yıldız-gezegen sisteminde domine eden faktör ışık-zaman etkisidir.

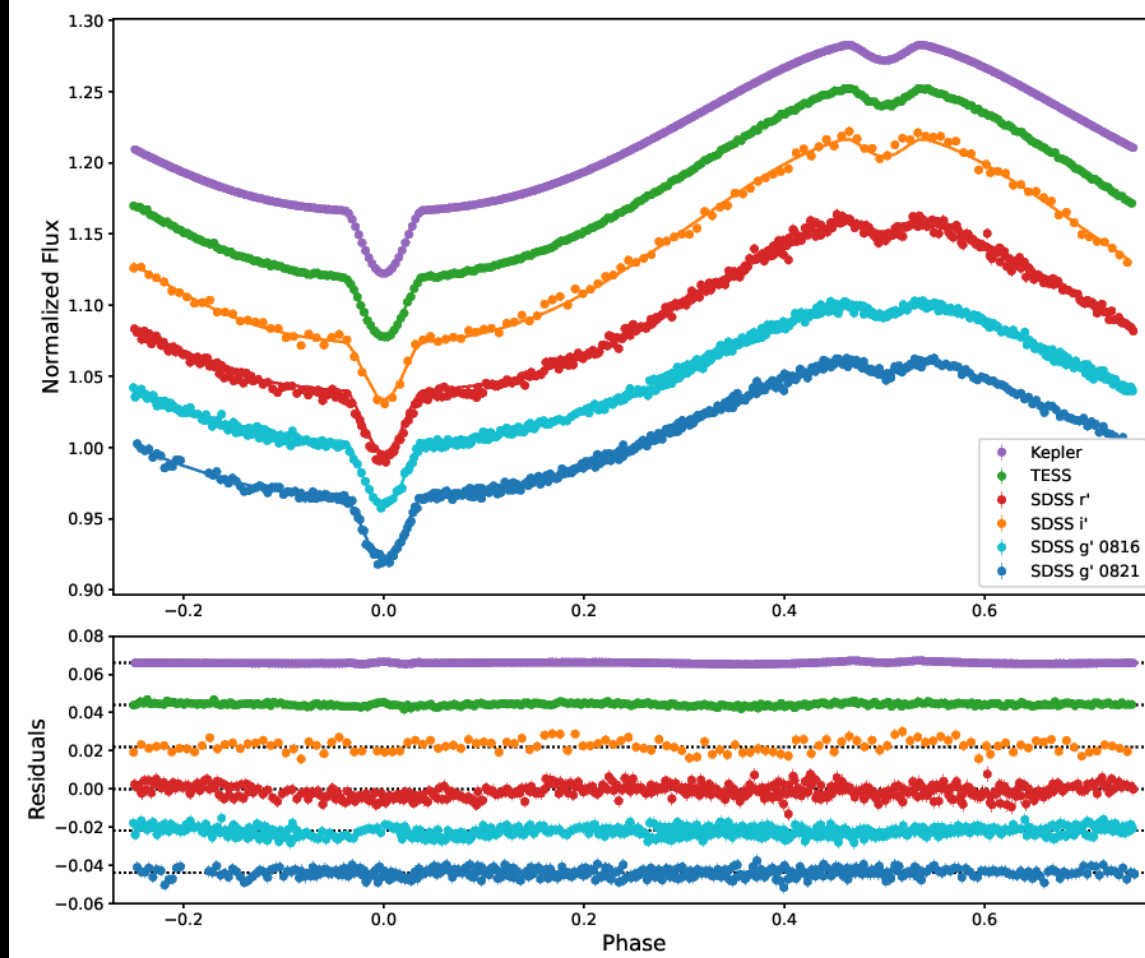
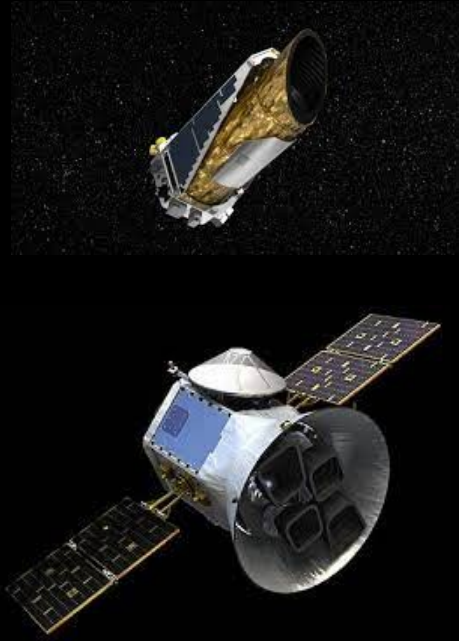




O-C analizi size sadece çevrimsel bir dönem değişim olduğunu söyleyebilir. Bu değişimin kaynağı gezegen olmayabilir. HW Vir sisteminin O-C analizinden önerilen gezegen kütleli ikinci cismin yörüngesi kararlı değil! (Esmer vd. 2021)



Kepler-451 Sistemi



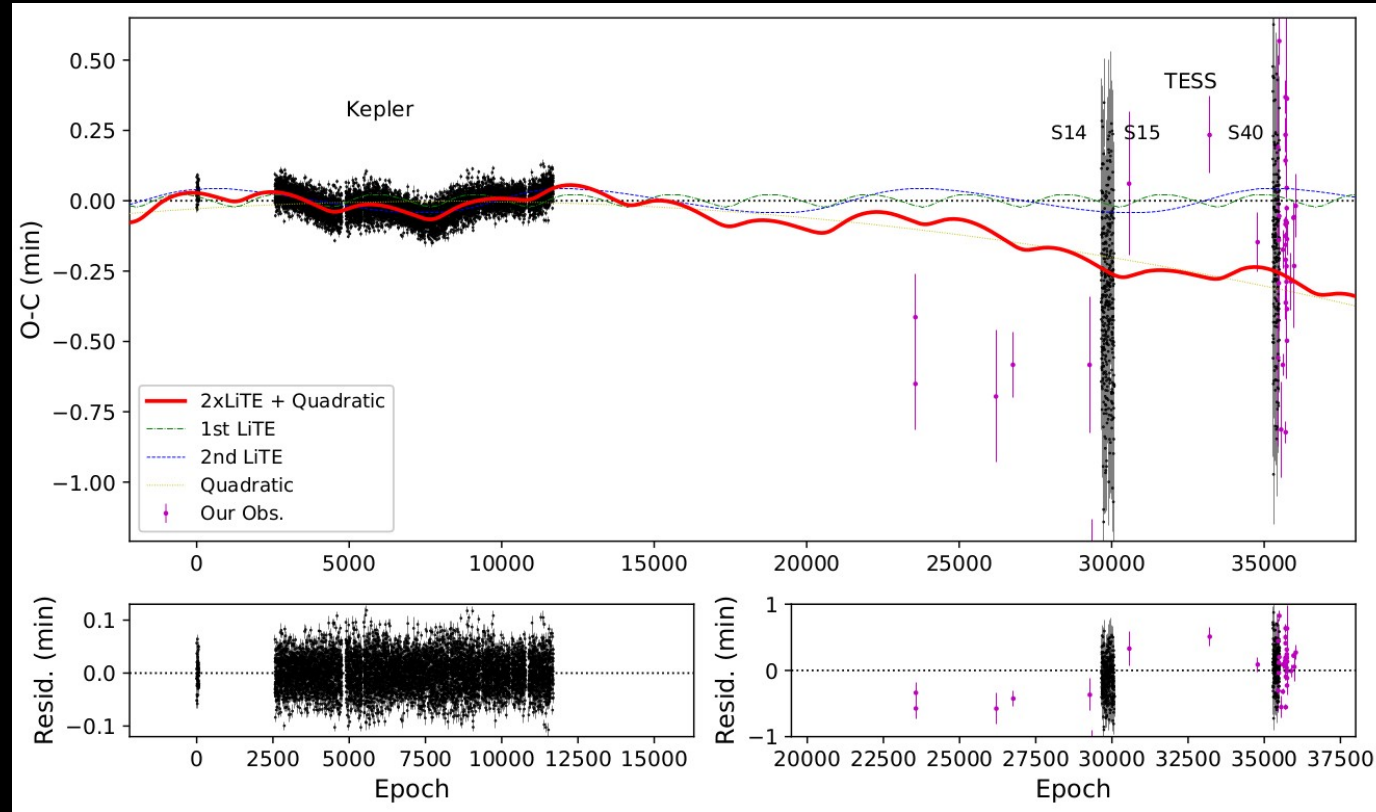
Kepler-451

sdB Bileşen
 $T_1 \sim 29550 \text{ K}$
 $M_1 = 0.48 M_\odot$
 $R_1 = 0.20 R_\odot$

dM Bileşen
 $T_2 \sim 2850 \text{ K}$
 $M_2 = 0.12 M_\odot$
 $R_2 = 0.17 R_\odot$

$P_{\text{yör.}} \sim 3^{\text{sa}} 1^{\text{dk}} 6^{\text{sn}}$
 $a = 0.89 R_\odot$

Kepler-451 O-C Analizi

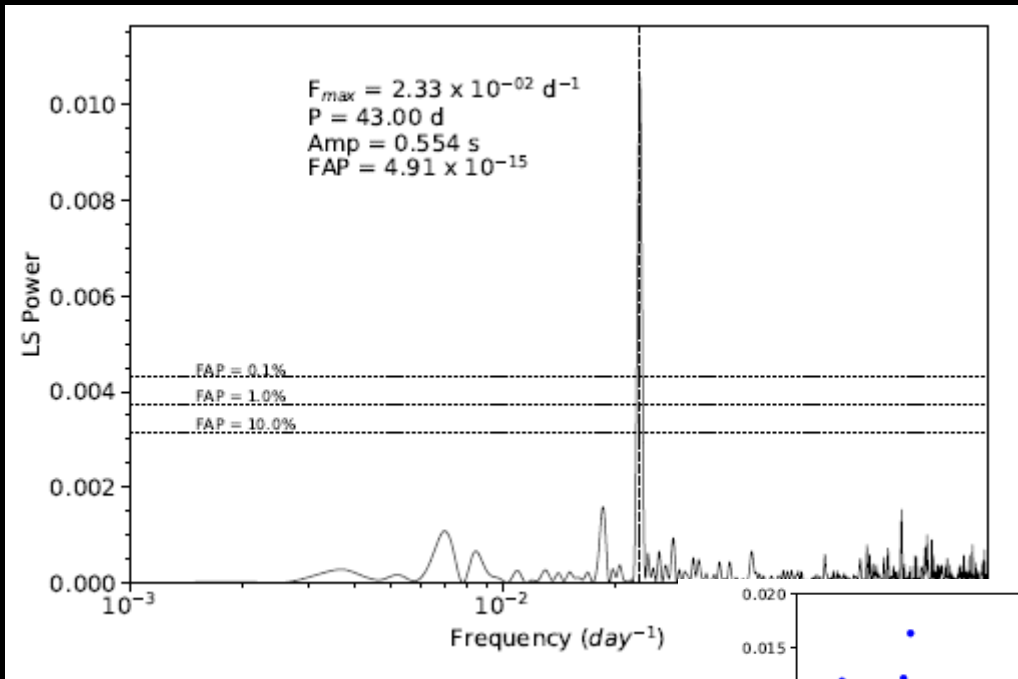


Kepler-451b (Baran vd. 2015)
Yörünge Dönemi: 406 gün

Kepler-451c
Yörünge Dönemi: 1800 gün

Esmer, Baştürk, Selam, Alış (2022)

Kepler-451 O-C Analizi



Artıklarda frekans analizi

Kepler-451b

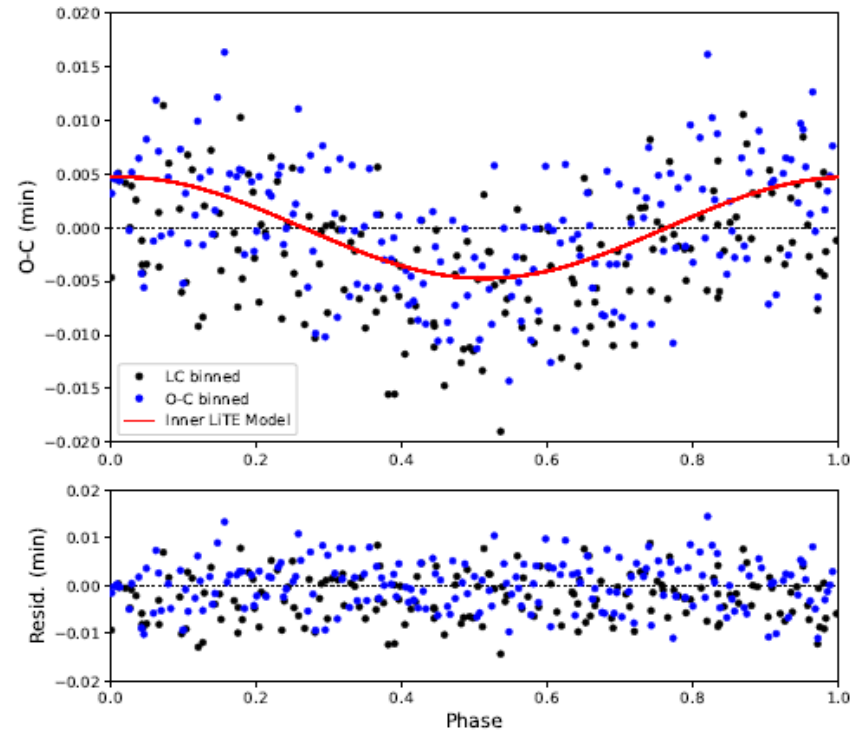
Yörünge Dönemi: 406 gün

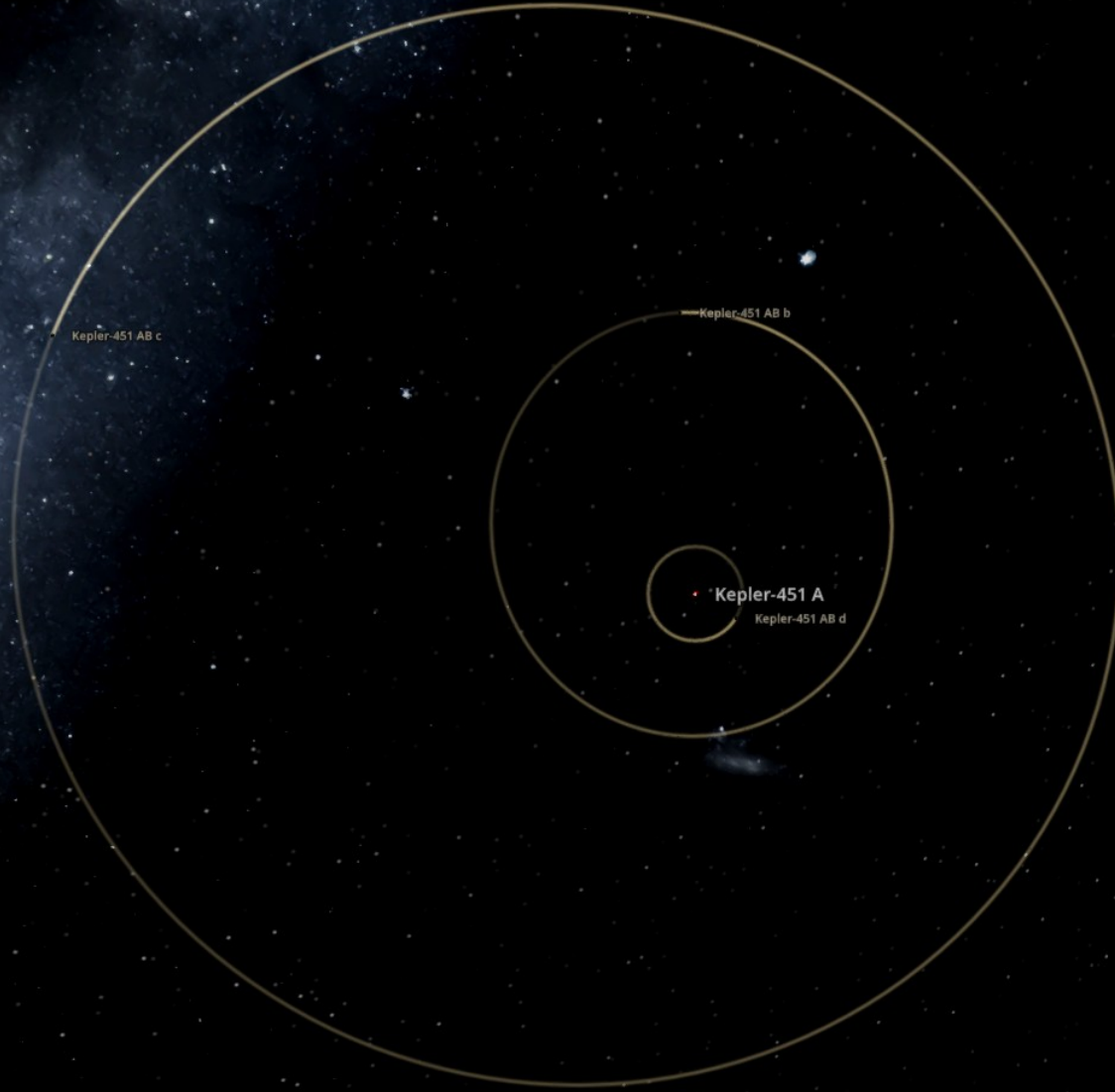
Kepler-451c

Yörünge Dönemi: 1800 gün

Kepler-451d

Yörünge Dönemi: 43 gün



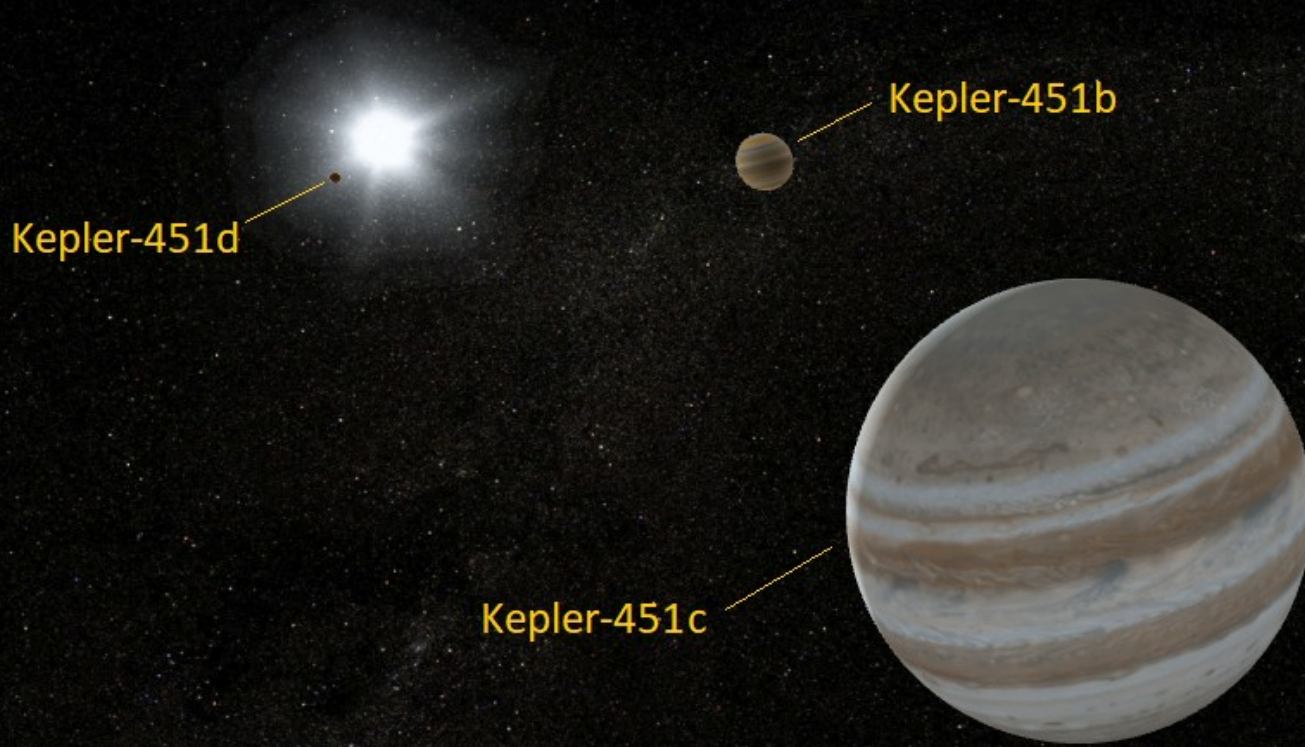


Kepler-451b
Yörünge Dönemi: 406 gün

Kepler-451c
Yörünge Dönemi: 1800 gün

Kepler-451d
Yörünge Dönemi: 43 gün

Kepler-451 çift sistemi etrafında Jüpiter kütesinden büyük 2 yeni dev gezegen keşfi



Kepler-451b
Yörünge Dönemi: 406 gün
Min. Kütle: 1.86 M_J
Yıldızına uzaklığı: 0.9 AB

Kepler-451c
Yörünge Dönemi: 1800 gün
Min. Kütle: 1.61 M_J
Yıldızına uzaklığı: 2.1 AB

Kepler-451d
Yörünge Dönemi: 43 gün
Min. Kütle: 1.76 M_J
Yıldızına uzaklığı: 0.2 AB



Volume 511, Issue 4
April 2022
(In Progress)

Article Contents

ABSTRACT

1 INTRODUCTION

2 OBSERVATIONS AND DATA

3 LIGHT-CURVE MODELLING

4 ECLIPSE TIMINGS ANALYSIS

5 DYNAMICAL STABILITY OF
THREE PLANET MODEL

6 CONCLUSIONS

Detection of two additional circumbinary planets around Kepler-451

Ekrem Murat Esmer ✉, Özgür Baştürk, Selim Osman Selam, Sinan Aliş

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 511, Issue 4, April 2022, Pages 5207–5216, <https://doi.org/10.1093/mnras/stac357>

Published: 10 February 2022 **Article history** ▾

“ Cite Permissions Share ▾

ABSTRACT

We announce the detection of two new planetary-mass companions around Kepler-451 binary system in addition to the one detected previously based on eclipse timing variation analysis. We found that an inner planet with 43 d period with a minimum mass of $1.76 M_{\text{Jup}}$ and an outer one with a ~ 1800 d orbital period with a minimum mass of $1.61 M_{\text{Jup}}$ can explain the periodic variations in the residuals of the one-planet fit of the eclipse timings. We updated the orbital period of the middle planet as 406 d, and determined its eccentricity as 0.33. The newly discovered outer planet is also on an eccentric orbit (0.29), while the innermost planet was assumed to have a circular orbit. All three Jovian planets have similar masses, and our dynamical stability test yields that the system is stable.



Advertisement



View Metrics

Email alerts

- Article activity alert
- Advance article alerts
- New issue alert
- In progress issue alert

Zamanlama Yöntemiyle İki Yeni Ötegezegen Keşfi

TÜBİTAK 1001 Programı desteği kapsamında, Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümünden Doç. Dr. Özgür BAŞTÜRK yürütücülüğündeki "Zamanlama Yöntemiyle Ötegezegen Keşfi" başlıklı projede **iki gezegen keşfedildi**. Türkiye'de ilk kez çift yıldızlar etrafında gezegen keşfi gerçekleşti.

Kepler - 451 sistemi



Keşifte TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nin **1 m çaplı T100 teleskobu** da gözlem amaçlı kullanıldı.

Kepler - 451c

1.336 Işık Yılı

Uzaklıkta

1 yörünge yılı

43 gün

Kepler - 451d

1.336 Işık Yılı

Uzaklıkta

1 yörünge yılı

1.800 gün



Bu keşifle Kepler-451 sisteminde daha önce keşfedilmiş olan bir gezegene ilave olarak Jüpiter boyutlarında iki dev gezegen daha keşfedilmiş oldu.

Kepler-451

Çift Yıldız Etrafında İki Yeni Gezegen Keşfi

Ekrem Murat Esmer [Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Astrofizik Anabilim Dalı]



Kepler - 451 çift yıldız sisteminde iki yeni gaz devi gezegen keşfedildi. Bu keşiflerle birlikte toplam üç gezegen barındırdığı bilinen bu çift yıldız sistemi, sıra dışı özellikleri ile de dikkat çekici. Biri yaklaşık 29.000 °C, diğeri 2.900 °C yüzey sıcaklığına sahip bileşenleri ortak bir kütle merkezinin etrafında üç saatte bir tur atıyor. 1,5 ile 2,0 Jüpiter kütlesi arasındaki üç gezegen ise 43 gün, 406 gün ve 1.800 günlük sürelerde çift yıldızın etrafında dolanıyor. Ankara Üniversitesinden araştırmacılar olarak yaptığımız bu iki gezegen keşfi ile Kepler - 451 sistemi çift yıldızlar etrafında dolanan ve üç gezegen barındırdığı bilinen ikinci sistem oldu.

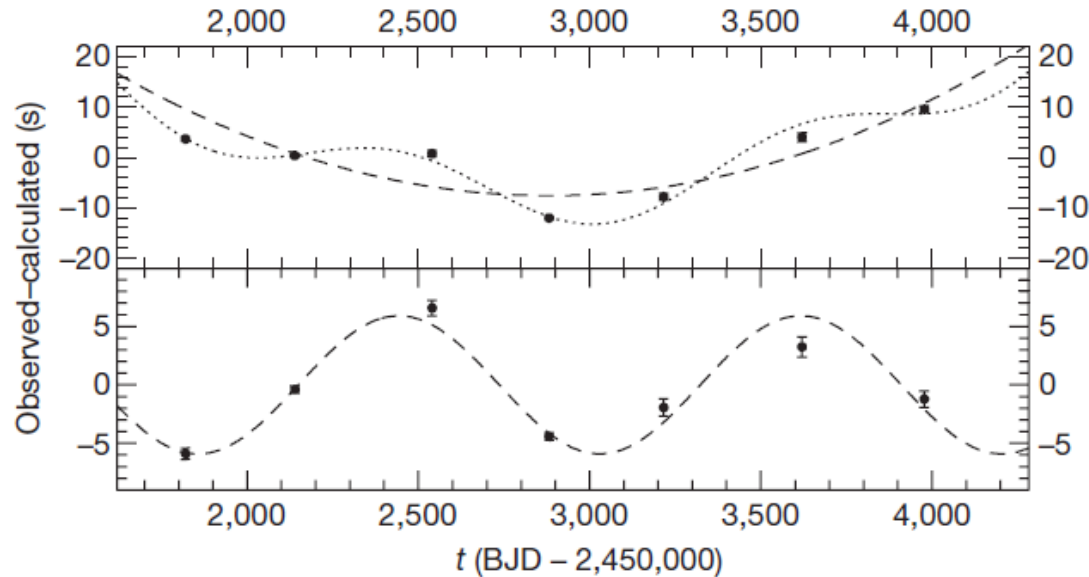
<https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/makale/kepler-451>

ETV Keşifleri (24)

Gezegen	Çift Yıldız Türü	Gözlemler	Referans
HW Vir b	sdB + dM	Yer-tabanlı teleskoplar	Lee vd. (2009)
HW Vir c	sdB + dM	Yer-tabanlı teleskoplar	Lee vd. (2009)
DE CVn b	WD + WD	Yer-tabanlı teleskoplar	Qian vd. (2010)
NN Ser b	WD + dM	Yer-tabanlı teleskoplar	Beuermann vd. (2010)
NN Ser c	WD + dM	Yer-tabanlı teleskoplar	Beuermann vd. (2010)
DP Leo b	WD + dM	Yer-tabanlı teleskoplar	Qian vd. (2011)
HU Aqr b	WD + dM	Yer-tabanlı teleskoplar	Qian vd. (2011)
HU Aqr c	WD + dM	Yer-tabanlı teleskoplar	Qian vd. (2011)
...
Kepler-451 b	sdB + dM	Kepler Uzay Teleskobu	Baran vd. (2015)
KIC 5095269 b	G + K	Kepler Uzay Teleskobu	Getley vd. (2017)
KIC 10544976 b	sdB + dM	Kepler Uzay Teleskobu	Almeida vd. (2019)
Kepler-451 c , d	sdB + dM	Kepler Uzay Teleskobu + Yerden Gözlemler	Esmer vd. (2022)
TOPLAM	22 CV		24 Gezegen/Kahverengi Cüce

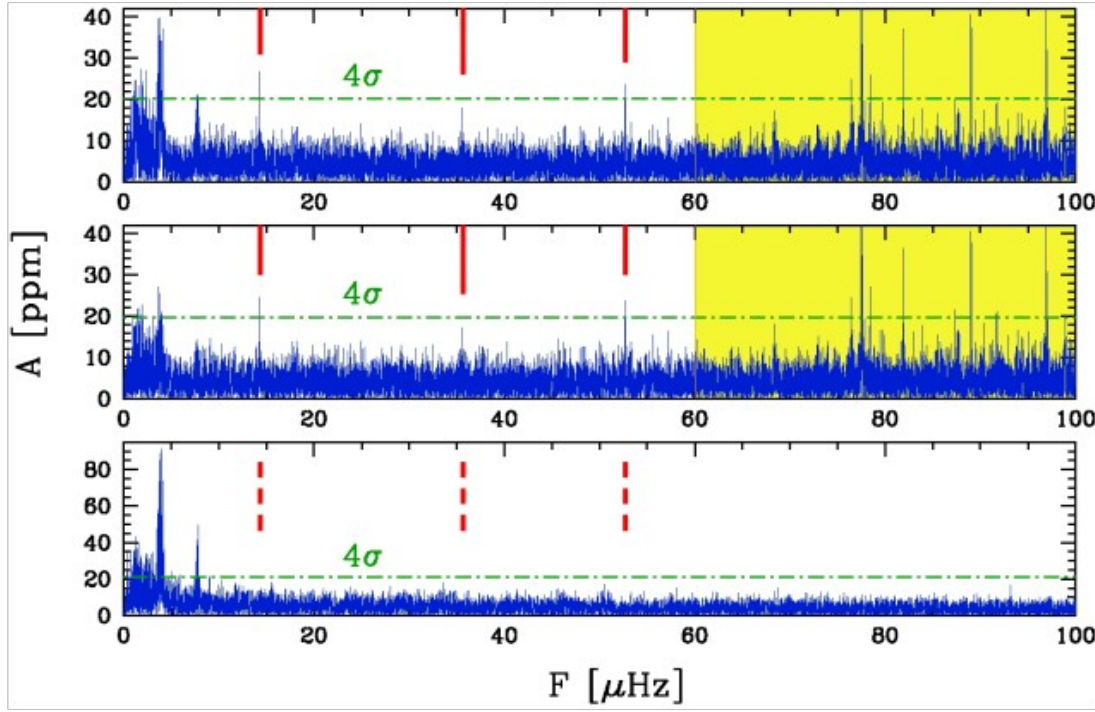
Zonklama Frekansı Değişim Yöntemi (Pulsation Frequency Variation, PFV)

2007 yılında sdB türü bir yatay kol (horizontal branch) yıldızı olan V391 Peg'in etrafında sdB yıldızının zonklama frekanslarında Işık Zaman Etkisi kaynaklı düzenli değişimlere neden olan bir ötegezegen keşfi duyuruldu (Silvotti vd. 2014). sdB türü yıldızlarda temel modda kısa dönemli (30 - ~10000 saniye) ve yüksek genlikli zonklamalar gösteren evrimleşmiş yıldızlardır. Yıldız kütle çekimle bağlı ve onunla ortak kütle merkezi etrafında yörünge hareketi yapan bir cismin varlığında (yörünge eğim açısına (i) da bağlı olarak) yıldız gözlemciye yaklaşır ve uzaklaşır. Cisim gözlemciye yakinken ışığı daha erken ulaşacağından zonklama kaynaklı parlaklık değişimleri, uzaklaştığı zamankine oranla daha erken gözlenir. Işık-Zaman Etkisi ile gerçekleşen bu değişim dönemlidir ve dikine hız gözlemlerinin de yapılması durumunda görünmeyen bileşenin kütlesi belirlenebilir. V391 Peg etrafında önerilen gezegen son yapılan çalışmayla iyice tartışılır bir hal almıştır (Silvotti vd. 2017).

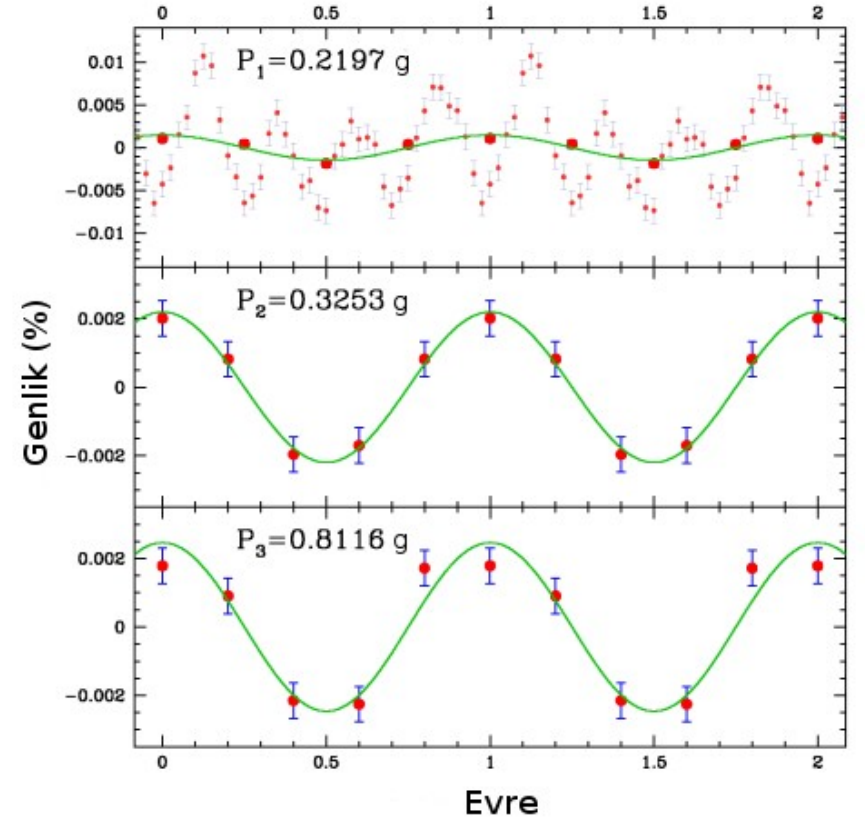


V391 Peg'in Işık-Zaman Etkisi kaynaklı O-C değişimi (Silvotti vd. 2007)

Zarflarının önemli bir bölümünü kaybettikleri için Helyum'un yandığı çekirdeklerinin üzerindeki ince kabukta Hidrojen'i tutuşturamayan sdB yıldızlarının zarflarını nasıl kaybettikleri de önemli bir tartışma konusudur (Podsiadlowski vd. 2008a). Bu yıldızların etrafındaki gezegenlerin, yıldızın erken evrim aşamalarında oluşmuş ve evrim süreci boyunca yıldızla bağlı kalmış olup olmadıkları önemli bir sorudur. Bu gezegenlerin, yıldızın evrimi sırasında kaybedilen zarfın oluşturduğu bir disk içerisinde oluşmuş olabilecekleri de düşünülmektedir. Ayrıca bu gezegenlerin zarfın soyulmasına katkısının olup olmadığı da tartışılmaktadır (Schuh 2010).



KIC 10001893'ün frekans – genlik dağılımı (güç spektrumu). En düşük frekanstaki (4 μ Hz) pik görüntüde sisteme yakın bir yıldızla ilişkin iken kırmızı ile işaretlenen üç düşük frekanslı pikin sistemin etrafında dolaşan iki gezegene ait olduğu düşünülmektedir (Silvotti vd. 2014). Üstteki iki grafikte sarıyla işaretlenen bölge g-modu zonklamaları bölgesidir. En altta ise sadece sisteme yakın yıldızın bulunduğu 1 piksel için frekans analizi gösterilmiştir.



Sistemde önerilen Dünya kütlesi civarındaki 3 gezegenden yansıyan ışığın yörünge evresiyle değişimi (Silvotti vd. 2014). Gezegenlerin kütleleri ve yarıçaplarına ilişkin ancak yörünge dönemleri ve olası yansıtma güçleri dikkate alınarak verilebilir.

Çift yıldız gezegenlerinin büyük çoğunluğunun sdB türünden üst katmanlarını bir şekilde kaybetmiş evrimleşmiş bileşenler içeren çift sistemlerde zamanlama yöntemiyle bulunması (ve başka yöntemlerle onaylanmamış olmaları) bu cisimlerin varlığı üzerinde kuşku uyandırmaktadır. Bir sdB yıldızından teorik modellerle beklenmeyen bir değişimin gözlenmiş olması doğrudan sisteme bağlı bir gezegenin yüzeyinden yansıyan ışığa bağlanabilir mi sorusu açık bir soru olarak önümüzde durmaktadır!

Kaynaklar

- ✓ Bailes, M., Bates, S. D.; Bhalerao, V., vd., 2011, "Transformation of a Star into a Planet in a Millisecond Pulsar Binary", *Science*, 333, 1717
- ✓ Beuermann, K. vd, 2010, "Two planets orbiting the recently formed post-common envelope binary NN Serpentis", *Astronomy & Astrophysics*, 521L, 60
- ✓ Deeg, H.J., vd., 2008, "Extrasolar planet detection by binary stellar eclipse timing: evidence for a third body around CM Draconis", *Astronomy & Astrophysics*, 480, 563
- ✓ Doyle, L.R., vd., 2011, "Kepler-16: A Transiting Circumbinary Planet", *Science*, 333, 1602
- ✓ Golovin, A.V., Pavlenko, E.P., 2005, "On The question of the Behavior of O-C Residuals of the Active Algol-Like Binary RZ Cassiopeiae", *he Journal of the American Association of Variable Star Observers*, 34, 46
- ✓ Hinse, T.C., vd., 2014, "Revisiting the proposed circumbinary multiplanet system NSVS 14256825", *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society*, 438, 307
- ✓ Horner, J., vd., 2012, "A dynamical analysis of the proposed circumbinary HW Virginis planetary system", *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society*, 427, 2812
- ✓ Lee, J.-W., vd., 2009, "The ddb+M Eclipsing System HW Virginis And Its Circumbinary Planets", *The Astronomical Journal*, 137, 3181
- ✓ Mazeh, T., vd. 2013, "Transit Timing Observations from Kepler. VIII. Catalog of Transit Timing Measurements of the First Twelve Quarters", *The Astrophysical Journal Supplement*, 208, 16
- ✓ Nesvorný, D., vd., 2013, "KOI-142, The King of Transit Variations, is a Pair of Planets near the 2:1 Resonance", *The Astrophysical Journal*, 777, 3
- ✓ Sigurdsson, S., Thorsett, S. E., 2005, "Update on Pulsar B1620-26 in M4: Observations, Models, and Implications", *Binary Radio Pulsars, ASP Conference Series, Vol. 328, p213*
- ✓ Steffen, J.H., vd., 2011, "The architecture of the hierarchical triple star KOI 928 from eclipse timing variations seen in Kepler photometry", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 417, 31
- ✓ Silvotti, R., vd., 2007, "A giant planet orbiting the 'extreme horizontal branch' star V 391 Pegasi", *Nature*, 449, 189-191
- ✓ Wolf, M., Zejda, M., 2005, "Apsidal motion in southern eccentric eclipsing binaries: V539 Ara, GG Lup, V526 Sgr and AO Vel", *Astronomy and Astrophysics*, 437, 545
- ✓ Wolszczan, A., Frail, D. A., 1992, "A planetary system around the millisecond pulsar PSR1257 + 12", *Nature*, 355, 145-147
- ✓ Wolszczan, A., 2008, "Fifteen years of the neutron star planet research", *Physica Scripta, Volume 130, Issue , id. 014005*