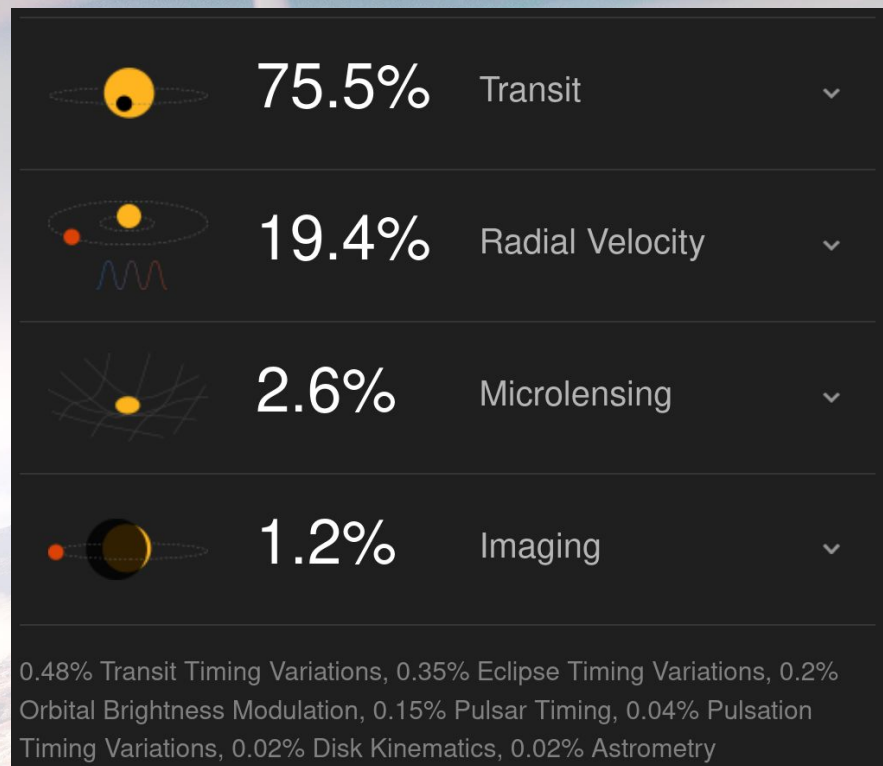
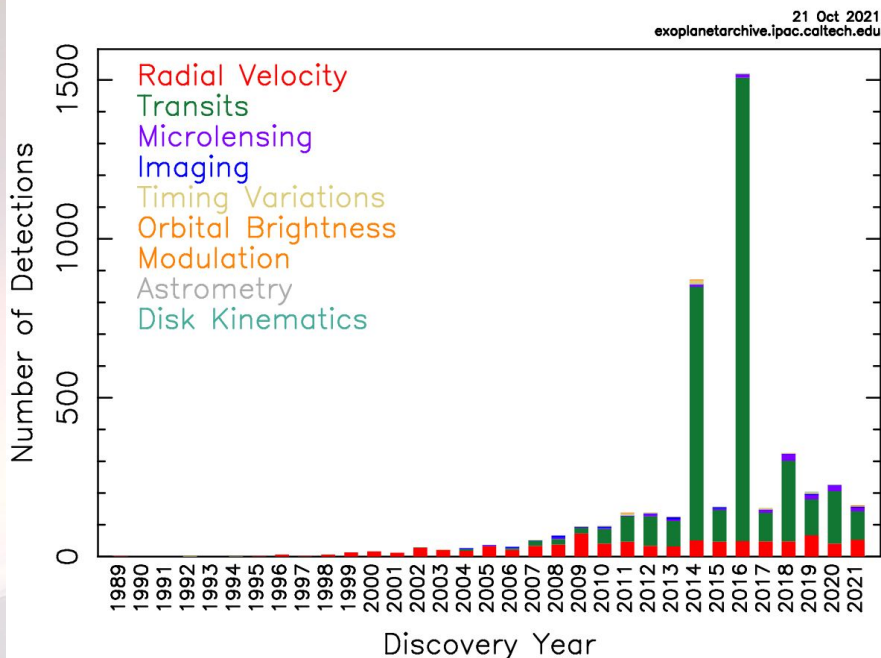


F7514 Exoplanety

5-Exoplanetární tranzity

Marek Skarka

Detections Per Year

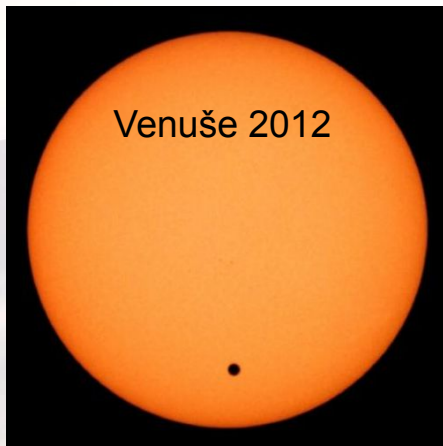


Tranzitní metoda je nejúspěšnější ze všech metod objevování exoplanet

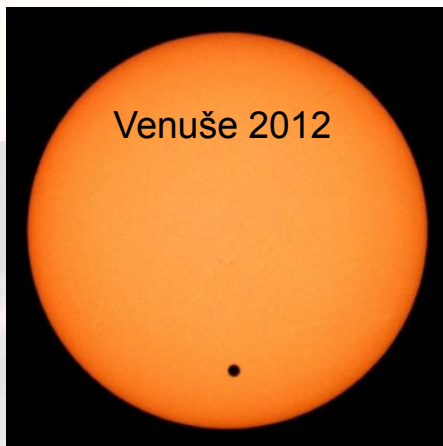
Princip tranzitu



Princip tranzitu

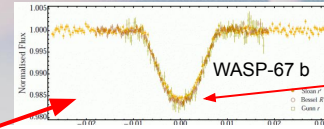
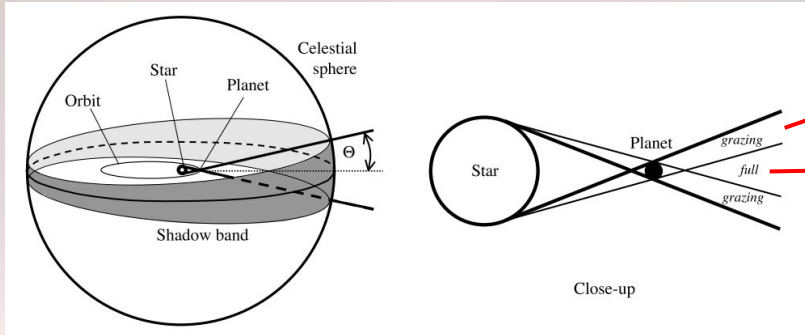


Princip tranzitu

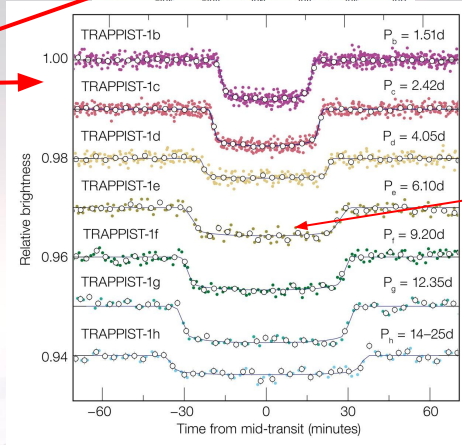


1. Pozorovatelnost a vlastnosti tranzitu budou záviset na orientaci a vlastnostech dráhy
2. Délka a tvar tranzitu budou záviset na periodě a vzájemném poměru velikostí planeta-hvězda
3. Hloubka tranzitu bude souviset se vzájemným poměrem velikostí planeta-hvězda
4. Tvar a pozorovatelnost tranzitu bude záviset na vlastnostech hvězdy
5. Kromě tranzitu musí nutně existovat i okultace (planeta za hvězdou)
6. Křivka mimo tranzit není konstantní (planeta přispívá odraženým světlem)
7. U tranzitujících planet lze zkoumat atmosféry exoplanet

Pravděpodobnost tranzitu



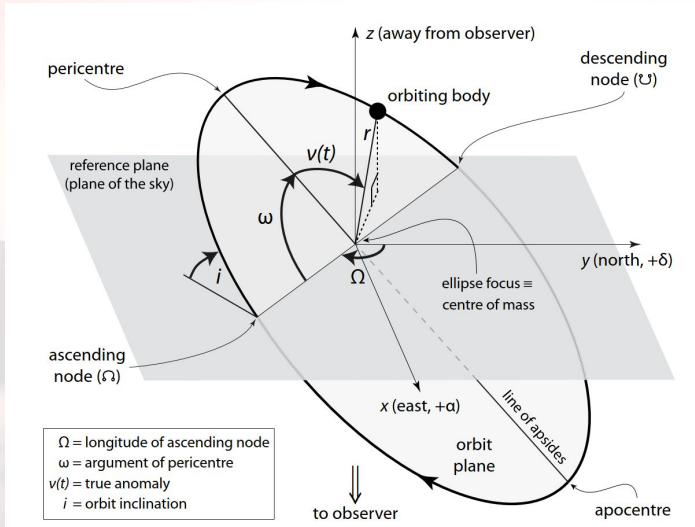
Chybí zastávka v
minimu jasnosti



Nastává zastávka v
minimu jasnosti

$$p_{\text{tra}} = \left(\frac{R_{\star} \pm R_p}{a} \right) \left(\frac{1 + e \sin \omega}{1 - e^2} \right),$$

$$p_{\text{occ}} = \left(\frac{R_{\star} \pm R_p}{a} \right) \left(\frac{1 - e \sin \omega}{1 - e^2} \right),$$



Minimální inklinace, aby nastal úplný tranzit

$$\cos i_{\text{min}} = (R_{\star} / a)$$

Oblast, kdy nastává částečný zákryt

$$a \cos i = (R_{\star} \pm R_p)$$

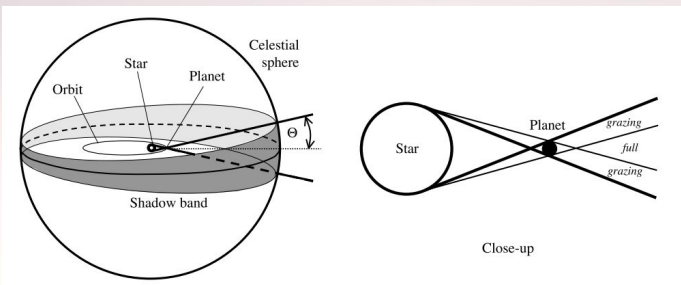
$$p = \frac{R_{\star}}{a} \approx 0.005 \left(\frac{R_{\star}}{R_{\odot}} \right) \left(\frac{a}{1 \text{ au}} \right)^{-1}$$

Čím blíže je planeta hvězdě a čím větší hvězda, tím větší pravděpodobnost, že bude tranzit pozorovatelný

Pravděpodobnost tranzitu

Kaltenegger&Faherty 2021, Nature, 594, 505:

- 2034 hvězd hlavní posloupnosti blíže než 100 pc v oblasti, kde byl/je/bude vidět tranzit Země +-5000 letech (94 % nejméně po dobu 1000 let)
- 75 hvězd mohlo zaznamenat rádiové signály ze Země
- 7 systémů má planety

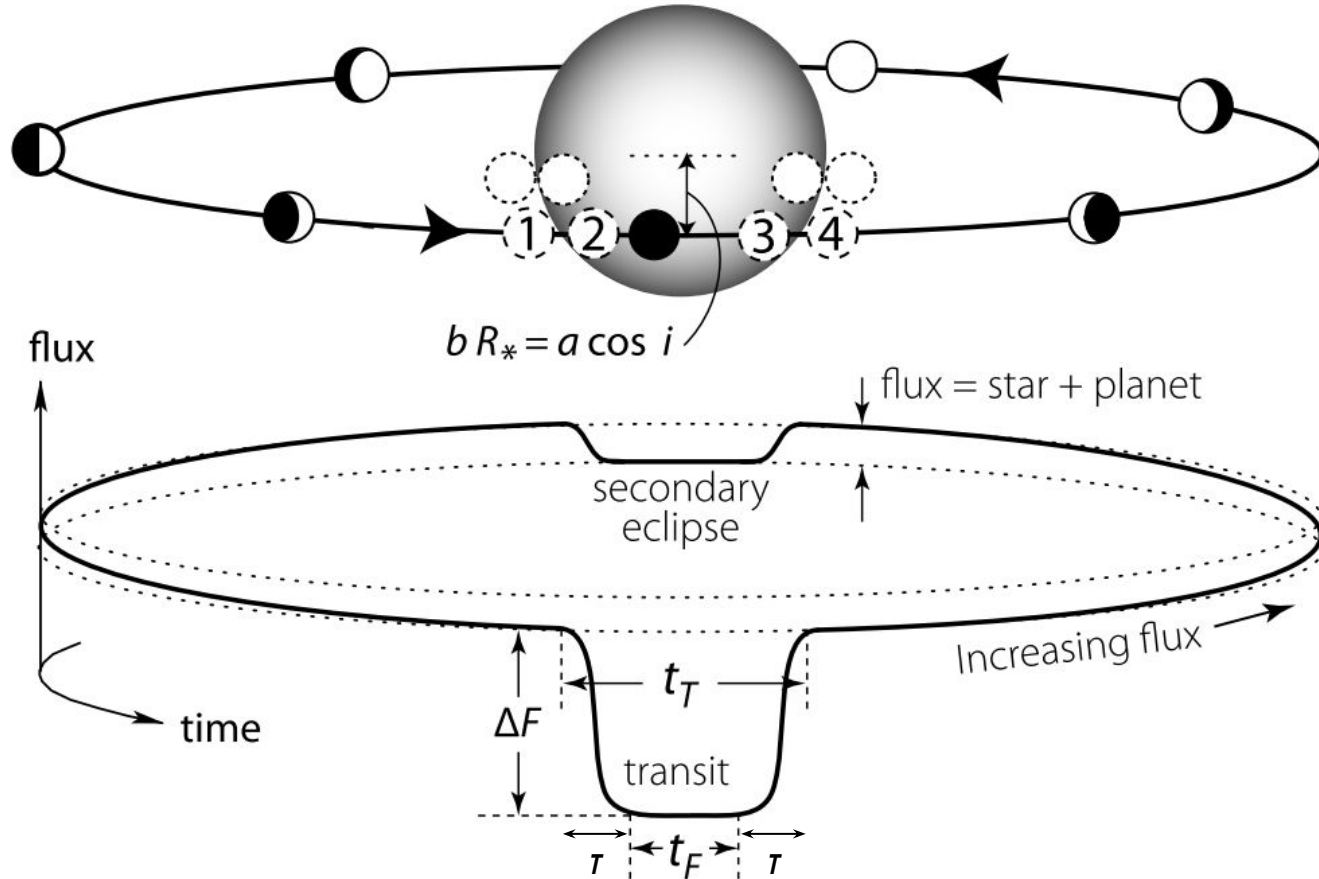


Země: 0.27°

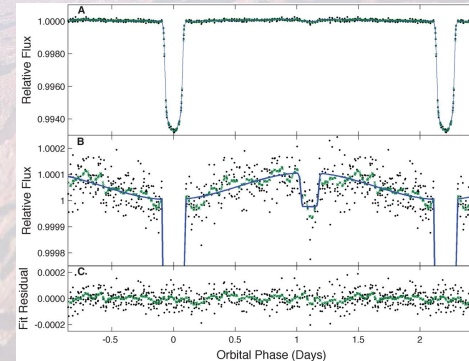
Jupiter: 0.05°

Star name		ETZ			
Exoplanet host	GAIA eDR3	Entry (yr)	Exit (yr)	Total (yr)	When
Ross 128	3796072592206250624	-3,057	-900	2,158	Past
Teegarden's Star	35227046884571776	29	438	410	Future
GJ 9066	76868614540049408	846	1,777	932	Future
TRAPPIST-1	2635476908753563008	1,642	4,012	2,371	Future
K2-65	2613211076737129856	-2,183	5,000	7,184	Past and future
K2-155	145333927996558976	-5,000	3,118	8,119	Past and future
K2-240	6257625719430982016	-5,000	5,000	10,000	Past and future

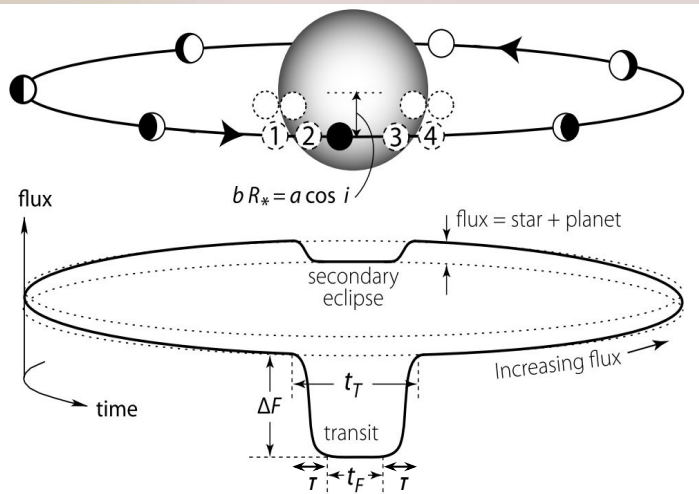
Parametry tranzitu



- P - perioda
- ΔF - hloubka tranzitu
- t_T - celkový čas poklesu jasnosti
- t_F - doba totálního zákrytu
- τ - doba vstupu/výstupu do/z minima jasnosti
- b - impakt parametru



Parametry tranzitu



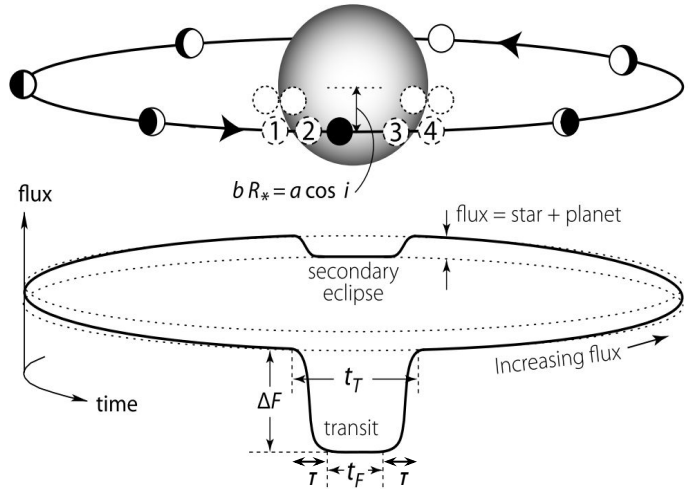
Relativní pokles toku

$$\Delta F = \Delta L = \frac{4\pi\sigma R_*^2 T_{\text{eff}}^4 - 4\pi\sigma (R_*^2 - R_P^2) T_{\text{eff}}^4}{4\pi\sigma R_*^2 T_{\text{eff}}^4} = \left(\frac{R_P}{R_*}\right)^2$$

Relativní pokles hv. velikosti

$$\Delta m = -2.5 \log \left(1 - \frac{R_P^2}{R_*^2}\right) \sim \Delta F$$

Parametry tranzitu



Relativní pokles toku

$$\Delta F = \Delta L = \frac{4\pi\sigma R_*^2 T_{\text{eff}}^4 - 4\pi\sigma (R_*^2 - R_P^2) T_{\text{eff}}^4}{4\pi\sigma R_*^2 T_{\text{eff}}^4} = \left(\frac{R_P}{R_*}\right)^2$$

Relativní pokles hv. velikosti

$$\Delta m = -2.5 \log \left(1 - \frac{R_P^2}{R_*^2}\right) \sim \Delta F$$

$$\Delta F_{\text{Zeme}}^{\text{Slunce}} \approx 0.01 \%$$

$$\Delta F_{\text{Zeme}}^{\text{Proxima Cen}} \approx 0.4 \%$$

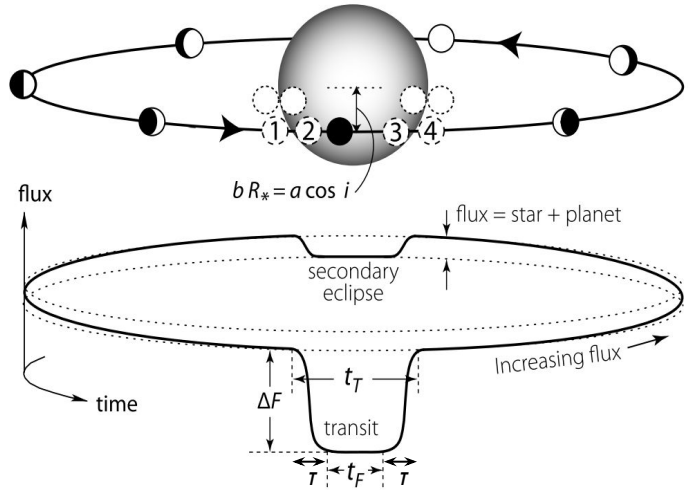
$$\Delta F_{\text{Zeme}}^{\text{Trappist-1}} \approx 0.6 \%$$

$$\Delta F_{\text{Jupiter}}^{\text{Slunce}} \approx 1 \%$$

$$\Delta F_{\text{Jupiter}}^{\text{Proxima Cen}} \approx 48 \%$$

$$\Delta F_{\text{Jupiter}}^{\text{Trappist-1}} \approx 71 \%$$

Parametry tranzitu



Relativní pokles toku

$$\Delta F = \Delta L = \frac{4\pi\sigma R_*^2 T_{\text{eff}}^4 - 4\pi\sigma (R_*^2 - R_P^2) T_{\text{eff}}^4}{4\pi\sigma R_*^2 T_{\text{eff}}^4} = \left(\frac{R_P}{R_*}\right)^2$$

$$\Delta m = -2.5 \log \left(1 - \frac{R_P^2}{R_*^2}\right) \sim \Delta F$$

$$\Delta F_{\text{Zeme}}^{\text{Slunce}} \approx 0.01\%$$

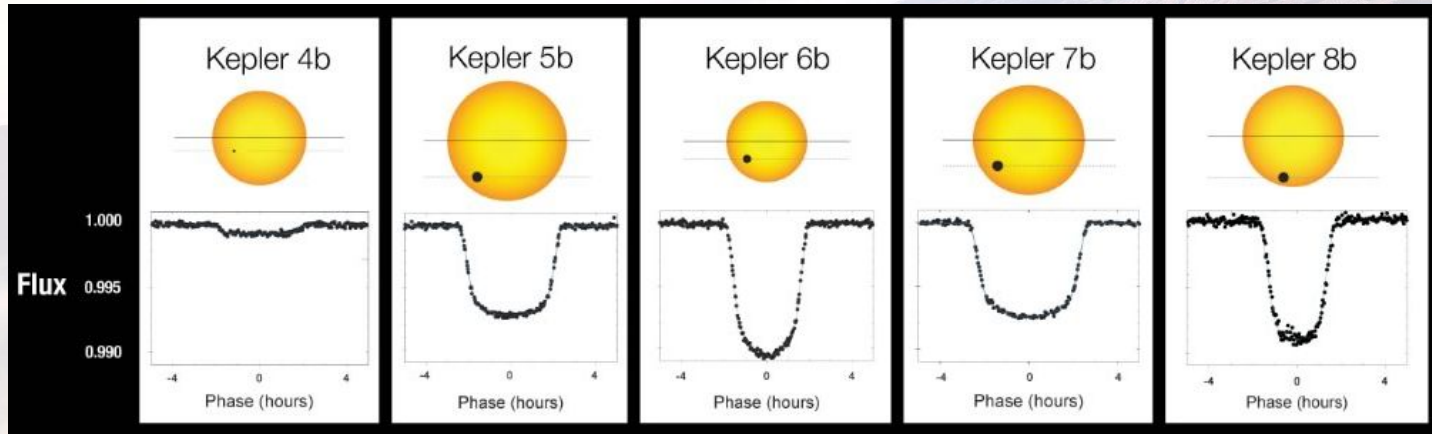
$$\Delta F_{\text{Zeme}}^{\text{Proxima Cen}} \approx 0.4\%$$

$$\Delta F_{\text{Zeme}}^{\text{Trappist-1}} \approx 0.6\%$$

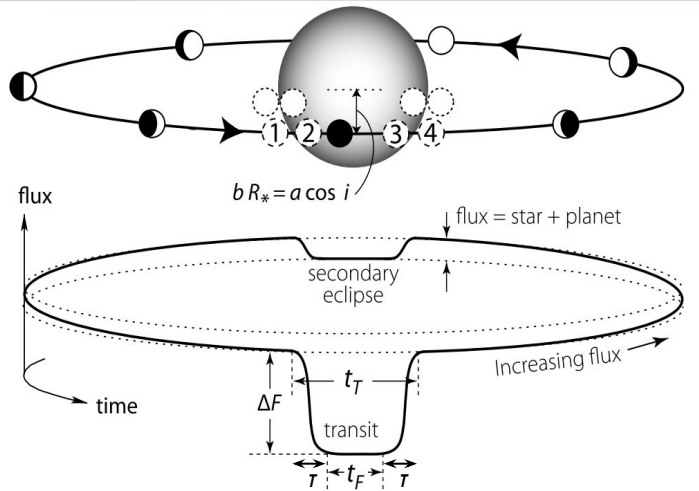
$$\Delta F_{\text{Jupiter}}^{\text{Slunce}} \approx 1\%$$

$$\Delta F_{\text{Jupiter}}^{\text{Proxima Cen}} \approx 48\%$$

$$\Delta F_{\text{Jupiter}}^{\text{Trappist-1}} \approx 71\%$$



Parametry tranzitu



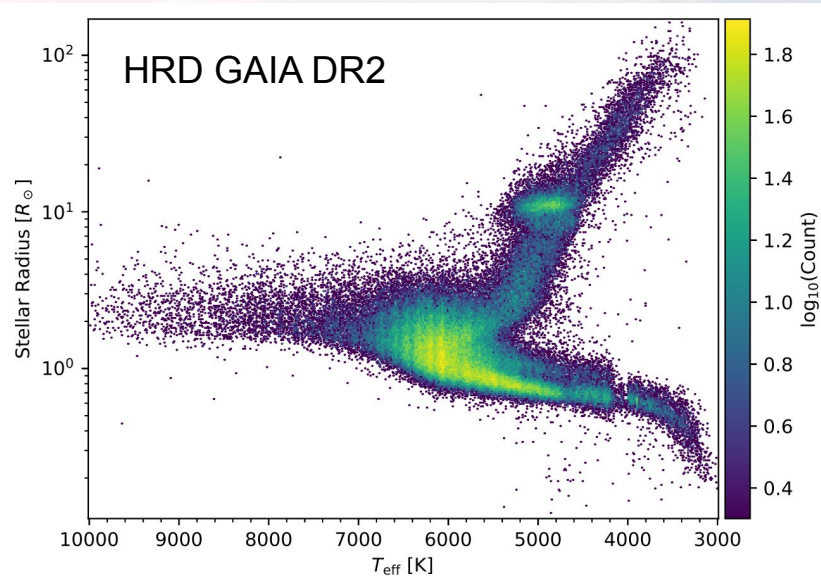
Relativní pokles toku

$$\Delta F = \Delta L = \frac{4\pi\sigma R_*^2 T_{\text{eff}}^4 - 4\pi\sigma (R_*^2 - R_P^2) T_{\text{eff}}^4}{4\pi\sigma R_*^2 T_{\text{eff}}^4} = \left(\frac{R_P}{R_*}\right)^2$$

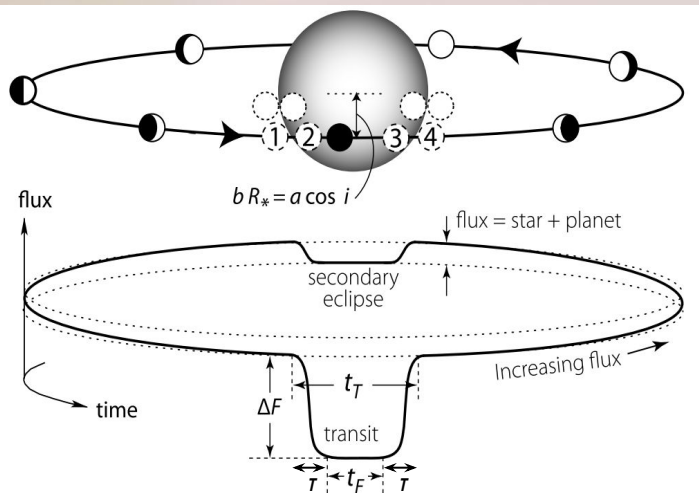
Relativní pokles hv. velikosti

$$\Delta m = -2.5 \log \left(1 - \frac{R_P^2}{R_*^2}\right) \sim \Delta F$$

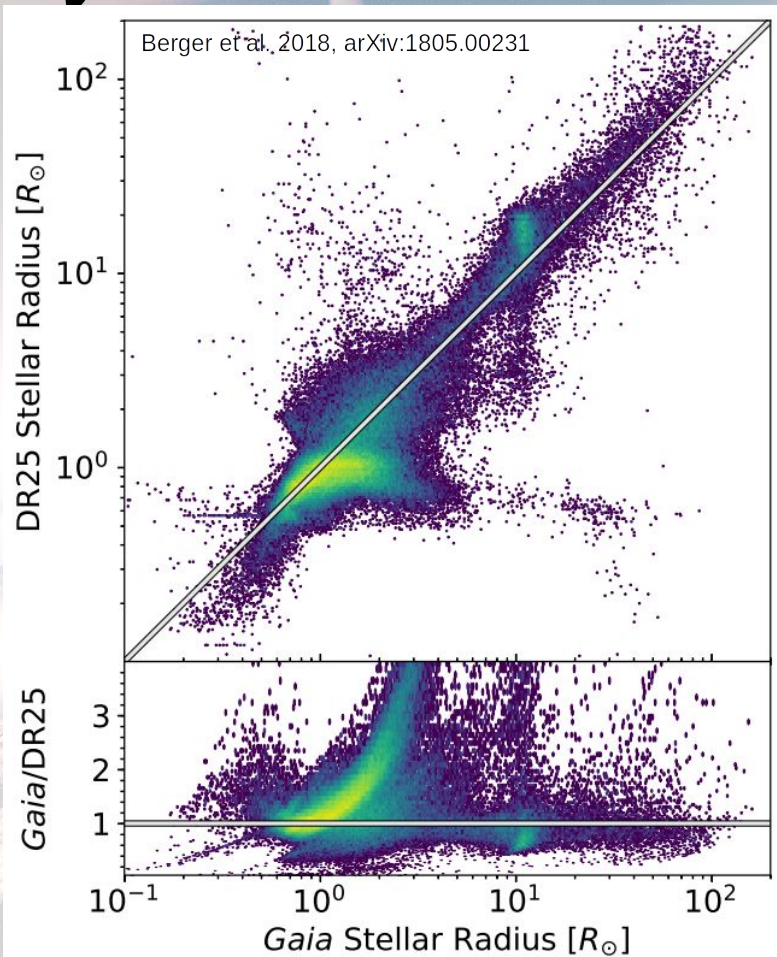
Z hloubky tranzitu lze při DOBRÉ znalosti poloměru hvězdy určit poloměr planety



Parametry tranzitu

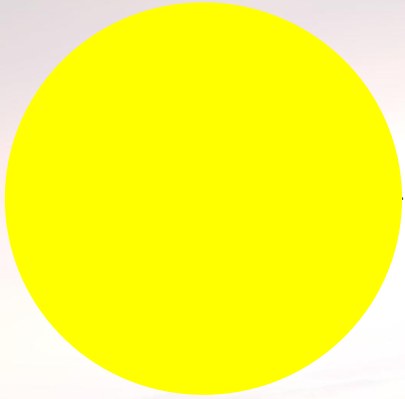


Z hloubky tranzitu lze při DOBRÉ znalosti poloměru hvězdy určit poloměr planety



GAIA DR2
Vs
KIC DR25

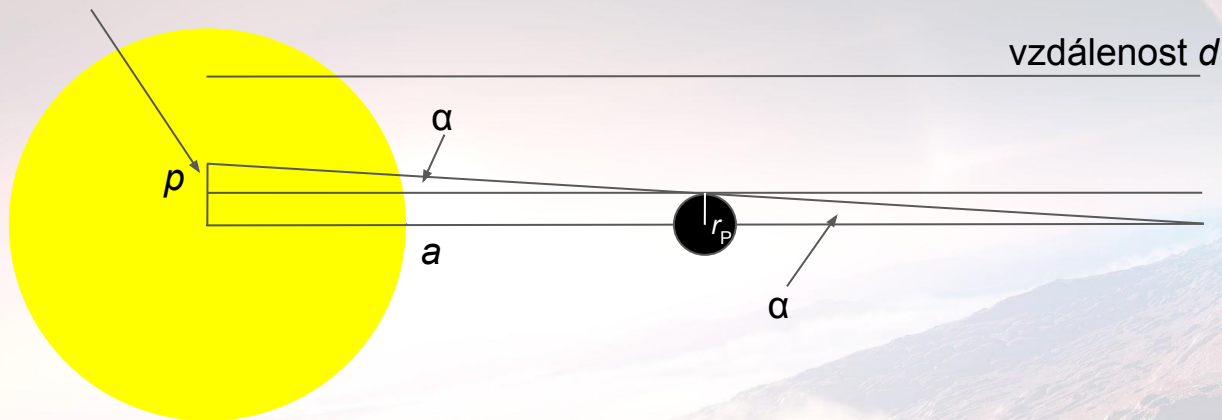
Záleží určení poloměru na vzdálenosti exoplanety od hvězdy?



Záleží určení poloměru na vzdálenosti exoplanety od hvězdy?

NE :-)

Jak velký bude tento přírůstek p při pozorování ze vzdálenosti d pro různé vzdálenosti a planety od hvězdy?



$$p = a \tan \alpha \approx a \cdot \alpha$$

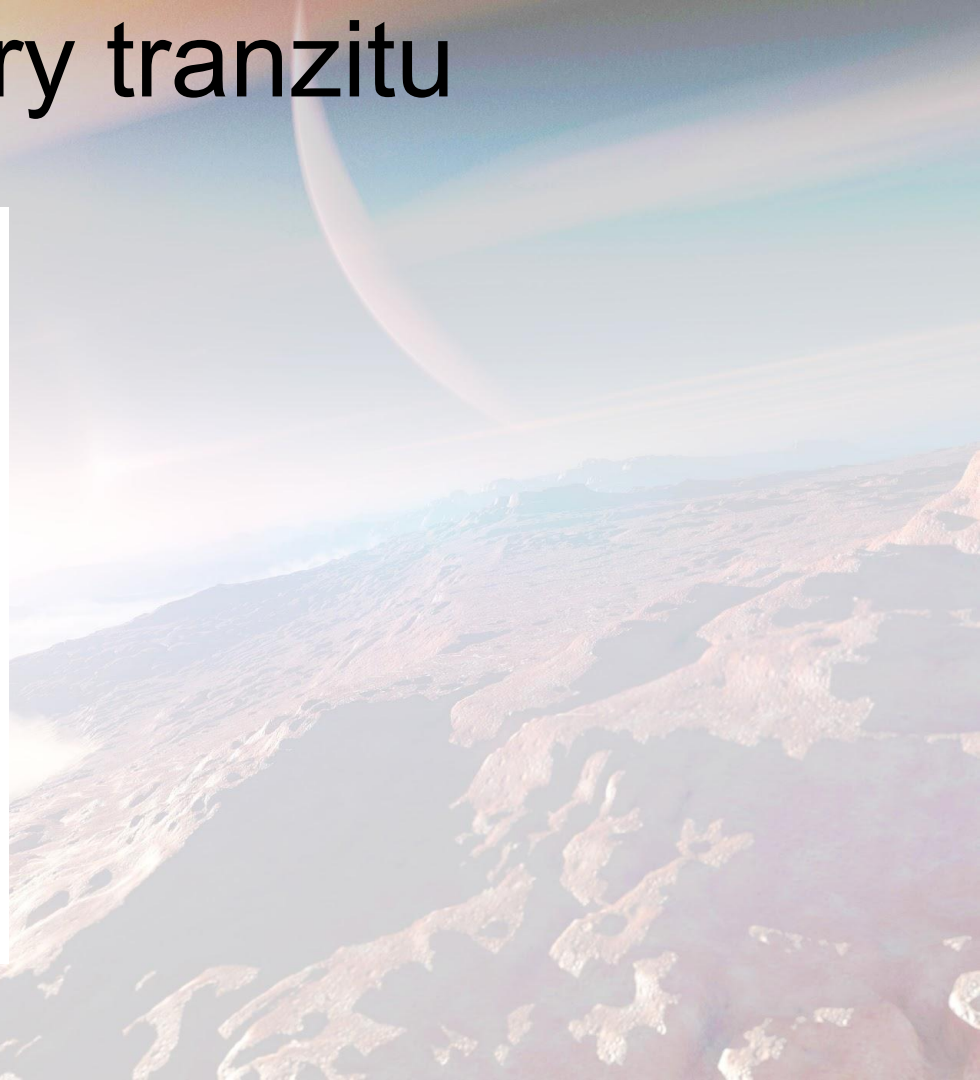
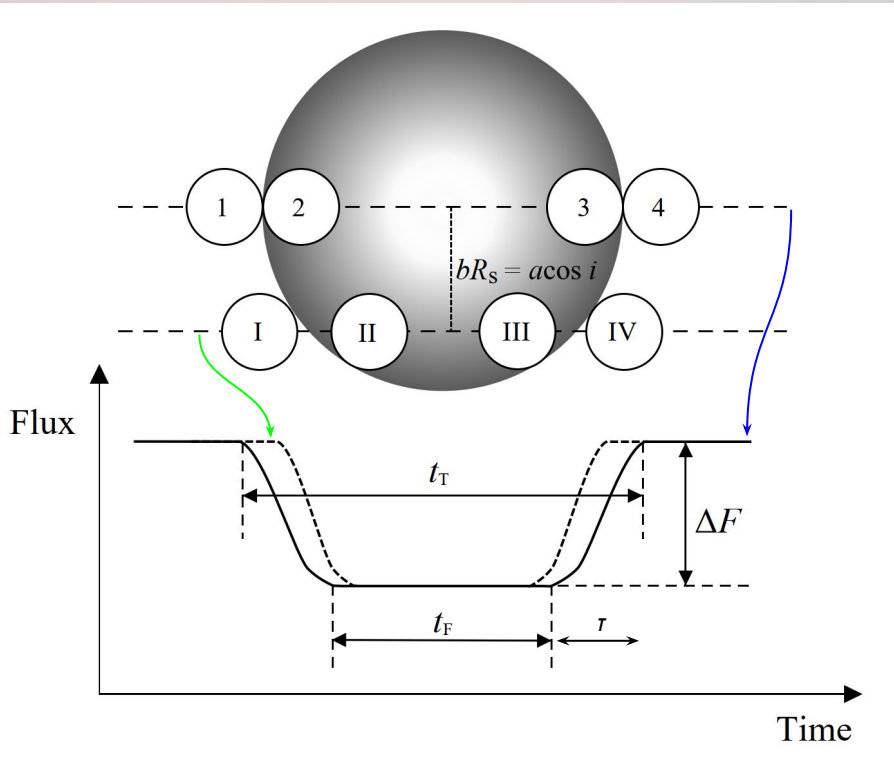
$$\alpha \approx \frac{r_P}{d}$$

$$d=1 \text{ pc}, a=1 \text{ au}, r_P=1 R_J$$

$$\rightarrow p=0.34 \text{ km}$$

Na vesmírných vzdálenostech má vzdálenost planeta-hvězda zcela zanedbatelný vliv na určení poloměru planety

Parametry tranzitu



Parametry tranzitu

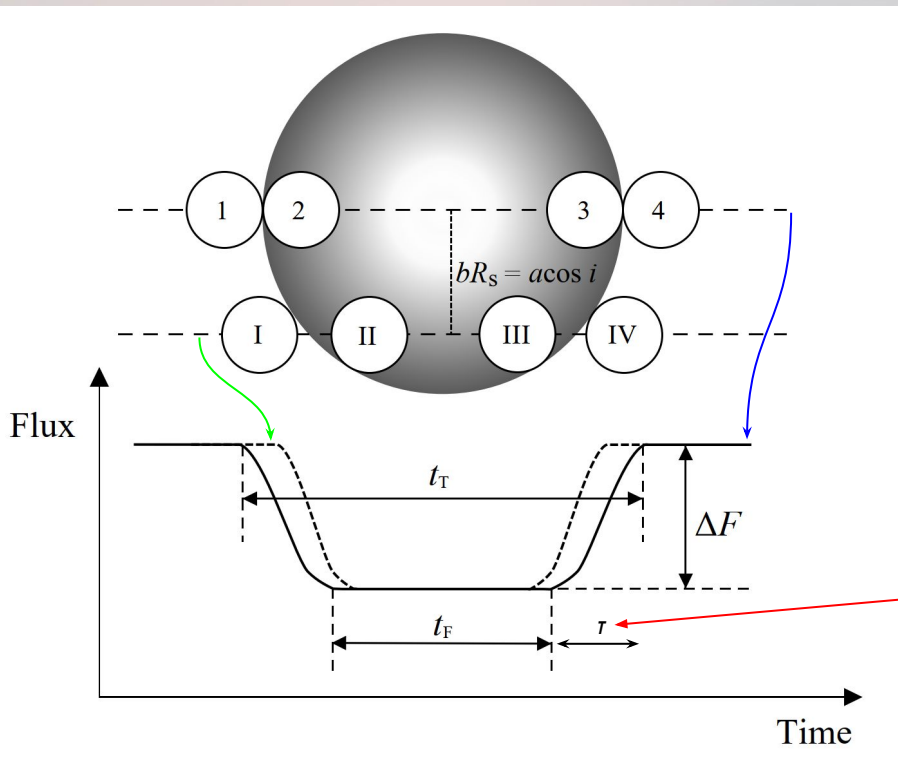
$$b = \frac{a \cos i}{R_*} \left(\frac{1 - e^2}{1 + e \sin \omega} \right)$$

Kruhové dráhy:

$$t_T = \frac{P}{\pi} \arcsin \left[\frac{R_*}{a} \frac{\sqrt{(1 + \sqrt{\Delta F})^2 - b^2}}{\sin i} \right]$$

$$t_F = \frac{P}{\pi} \arcsin \left[\frac{R_*}{a} \frac{\sqrt{(1 - \sqrt{\Delta F})^2 - b^2}}{\sin i} \right]$$

$$\tau \approx \frac{R_* P \sqrt{\Delta F}}{\pi a \sqrt{1 - b^2}}$$



Parametry tranzitu

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

Kruhové dráhy:

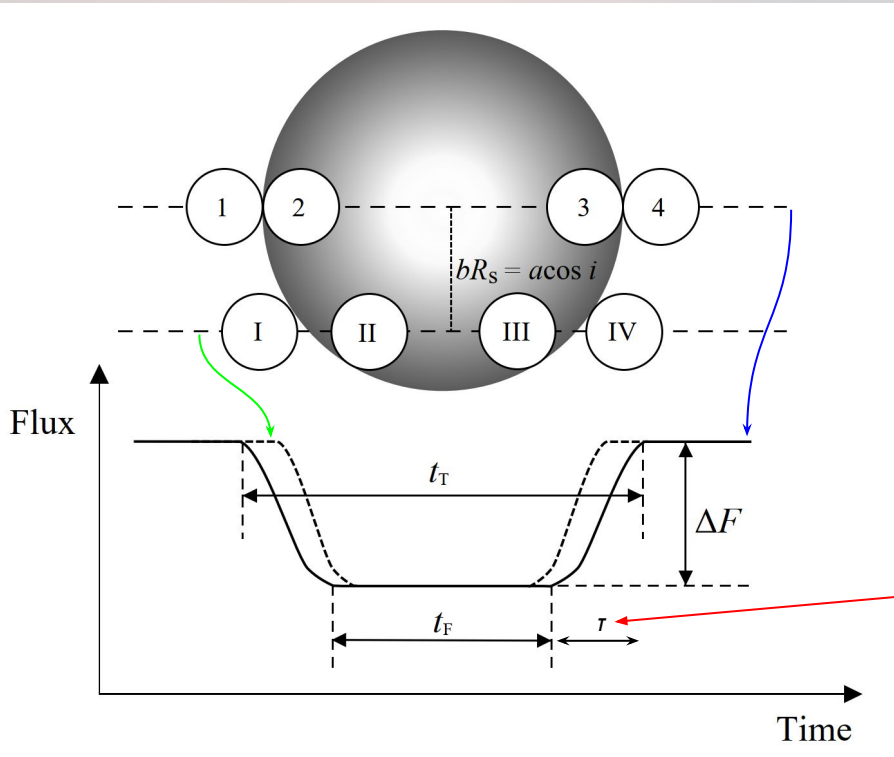
$$t_T = \frac{P}{\pi} \arcsin \left[\frac{R_* \sqrt{(1 + \sqrt{\Delta F})^2 - b^2}}{a \sin i} \right]$$

$$t_F = \frac{P}{\pi} \arcsin \left[\frac{R_* \sqrt{(1 - \sqrt{\Delta F})^2 - b^2}}{a \sin i} \right]$$

$$\tau \approx \frac{R_* P \sqrt{\Delta F}}{\pi a \sqrt{1 - b^2}}$$

$$t_T \approx 13 \left(\frac{M_\star}{M_\odot} \right)^{-1/2} \left(\frac{a}{1 \text{ au}} \right)^{1/2} \left(\frac{R_\star}{R_\odot} \right) \text{ hodin}$$

$$t_T^{\text{Zeme}} \approx 13 \text{ hodin} \quad t_T^{\text{Jupiter}} \approx 30 \text{ hodin}$$



Parametry tranzitu

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

Kruhové dráhy:

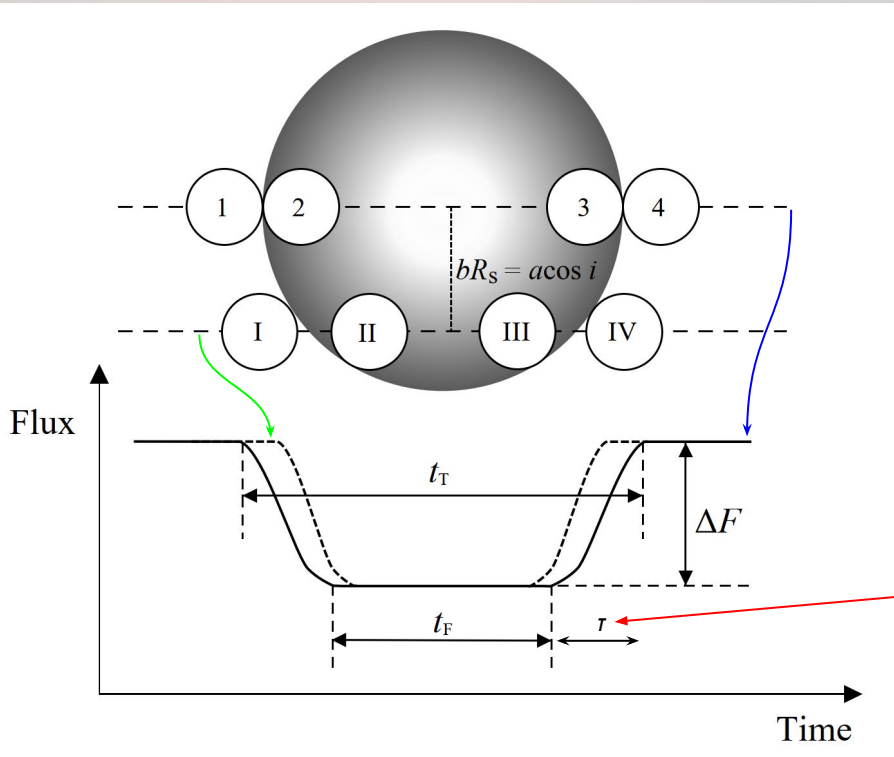
$$t_T = \frac{P}{\pi} \arcsin \left[\frac{R_*}{a} \frac{\sqrt{(1 + \sqrt{\Delta F})^2 - b^2}}{\sin i} \right]$$

$$t_F = \frac{P}{\pi} \arcsin \left[\frac{R_*}{a} \frac{\sqrt{(1 - \sqrt{\Delta F})^2 - b^2}}{\sin i} \right]$$

$$\tau \approx \frac{R_* P \sqrt{\Delta F}}{\pi a \sqrt{1 - b^2}}$$

Z tvaru tranzitu lze odhadnout hustotu hvězdy

$$\rho_* = \frac{3\pi}{GP^2} \left(\frac{a}{R_*} \right)^3 = \frac{32P}{G\pi} (t_T^2 - t_F^2)^{-\frac{3}{2}} \Delta F^{\frac{3}{4}}$$



Parametry tranzitu

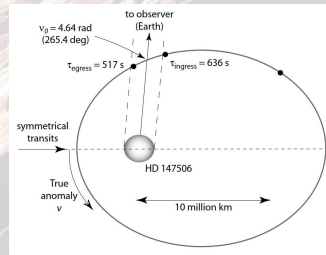
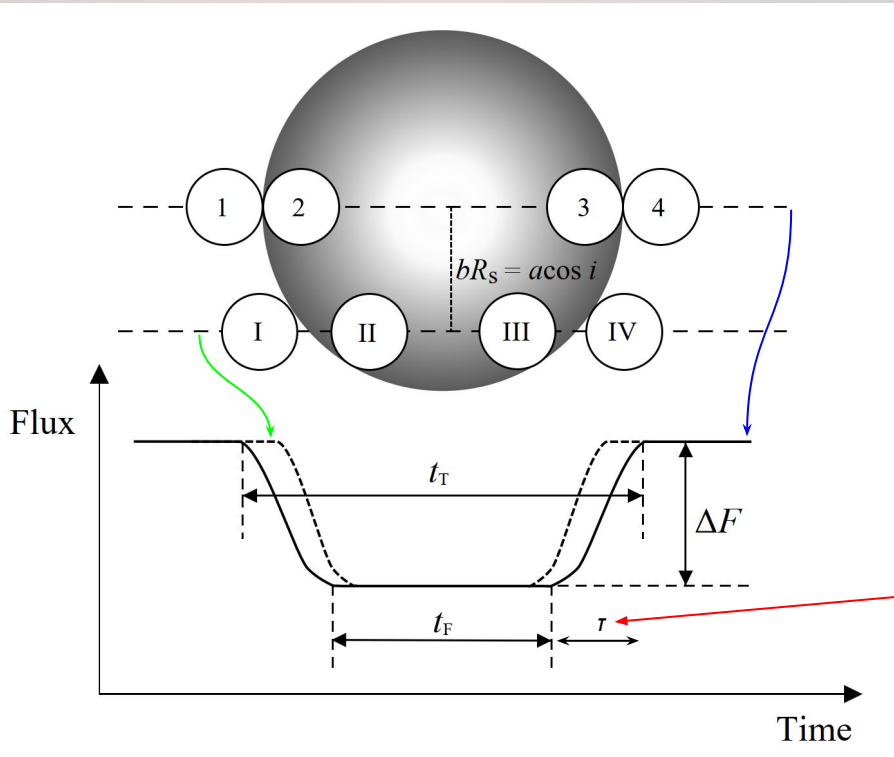
$$b = \frac{a \cos i}{R_*} \left(\frac{1 - e^2}{1 + e \sin \omega} \right)$$

Kruhové dráhy:

$$t_T = \frac{P}{\pi} \arcsin \left[\frac{R_*}{a} \frac{\sqrt{(1 + \sqrt{\Delta F})^2 - b^2}}{\sin i} \right]$$

$$t_F = \frac{P}{\pi} \arcsin \left[\frac{R_*}{a} \frac{\sqrt{(1 - \sqrt{\Delta F})^2 - b^2}}{\sin i} \right]$$

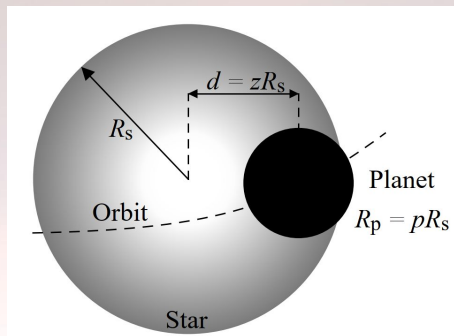
$$\tau \approx \frac{R_* P \sqrt{\Delta F}}{\pi a \sqrt{1 - b^2}}$$



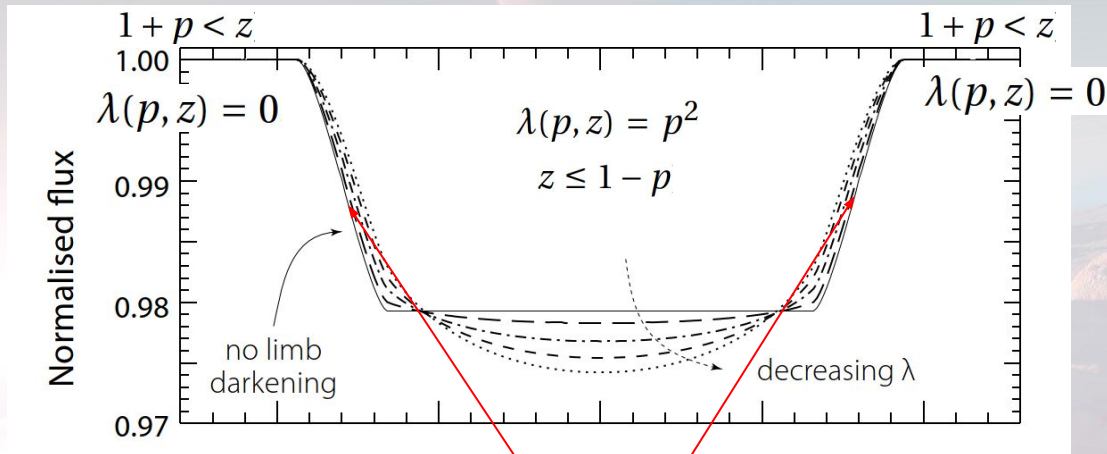
U eliptických drah mohou být v závislosti na orientaci dráhy časy poklesu a nárůstu jasnosti různé

Tvar tranzitu

Bez okrajového ztemnění:



$$F(p, z) = 1 - \lambda(p, z)$$



$$\lambda(p, z) = \frac{1}{\pi} \left[p^2 \kappa_0 + \kappa_1 - \sqrt{\frac{4z^2 - (1 + z^2 - p^2)^2}{4}} \right],$$

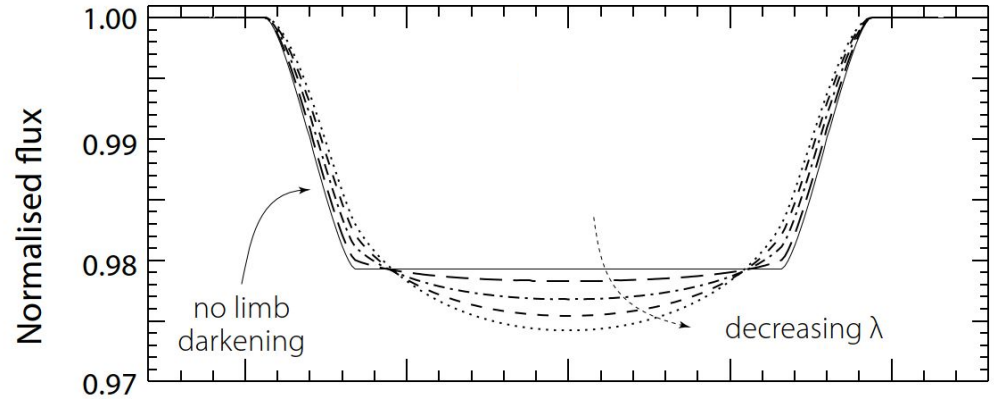
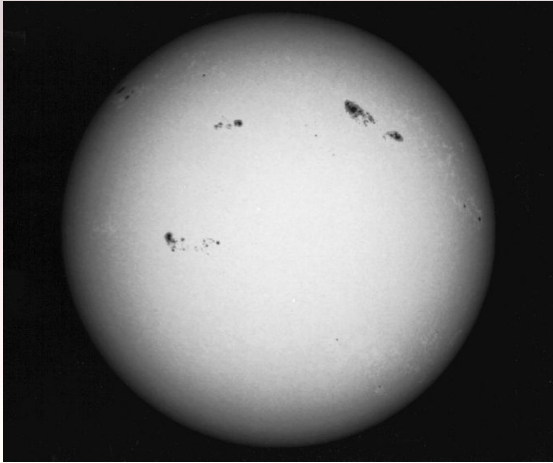
where $\kappa_0 = \cos^{-1}[(p^2 + z^2 - 1)/2pz]$,

and $\kappa_1 = \cos^{-1}[(1 - p^2 + z^2)/2z]$.

Tvar tranzitu

S okrajovým ztemněním:

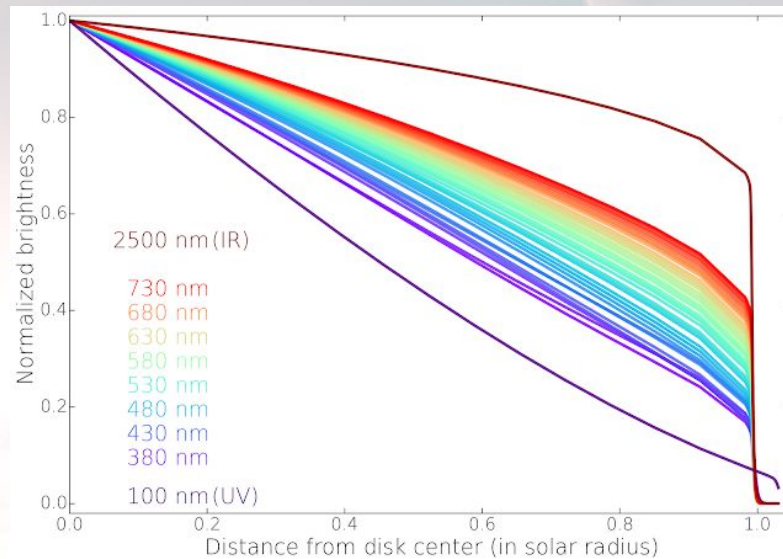
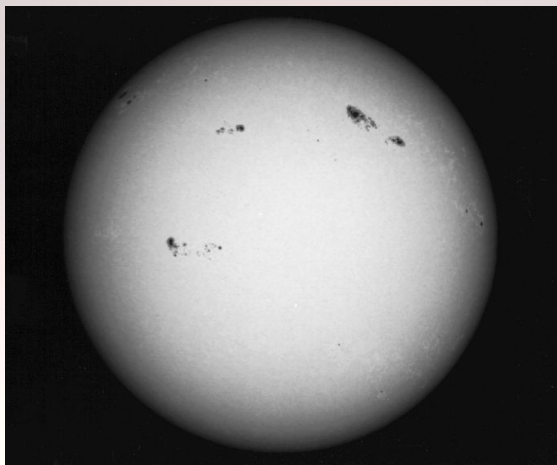
$$F(p, z) = \left[\int_0^1 I(r) 2r dr \right]^{-1} \int_0^1 I(r) dr \frac{d \left[F \left(\frac{p}{r}, \frac{z}{r} \right) r^2 \right]}{dr}$$



Jas hvězd klesá se vzdáleností od centra hvězdy:

- Z okrajových částí přichází méně záření
- V okrajových částech koukáme do oblastí s nižší teplotou

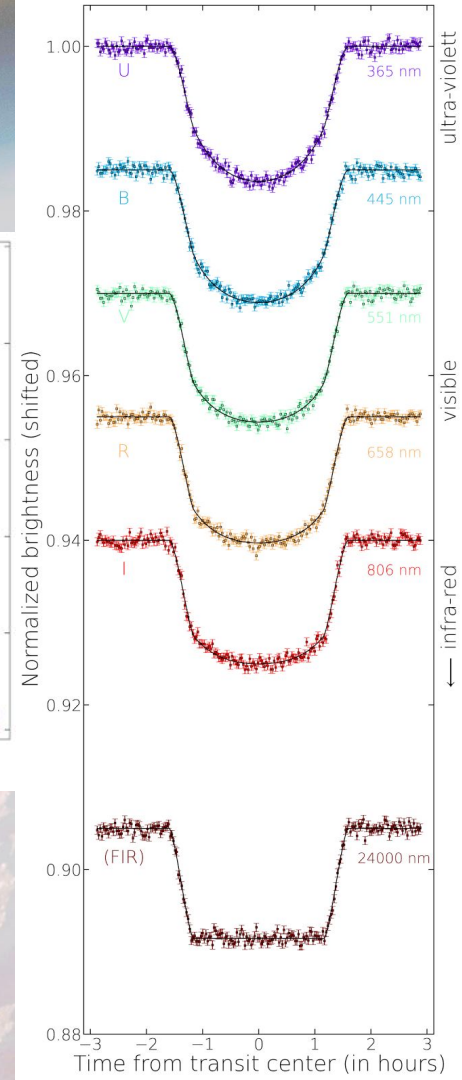
Tvar tranzitu



Vliv okrajového ztemnění klesá směrem k delším vlnovým délkám

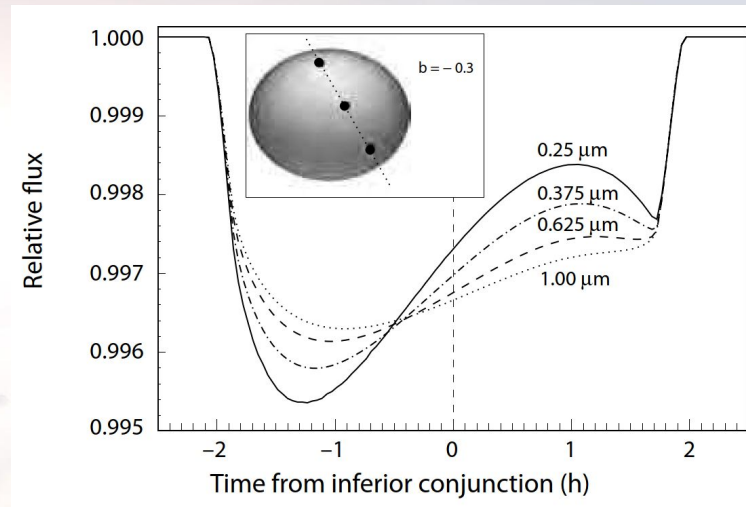
Jas hvězd klesá se vzdáleností od centra hvězdy:

- Z okrajových částí přichází méně záření
- V okrajových částech koukáme do oblastí s nižší teplotou



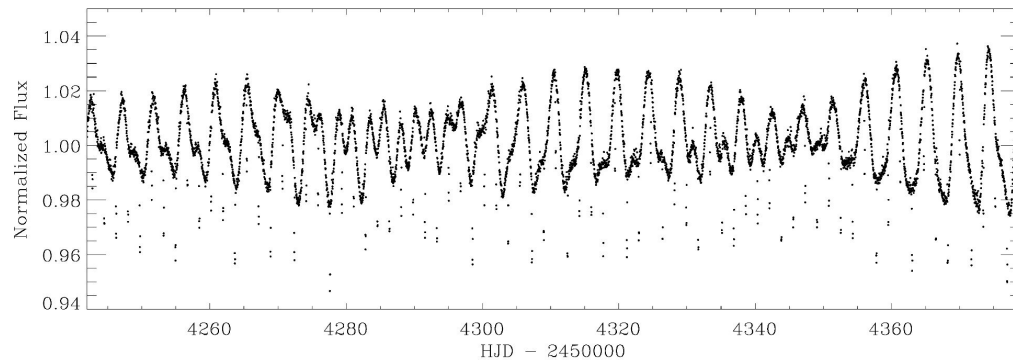
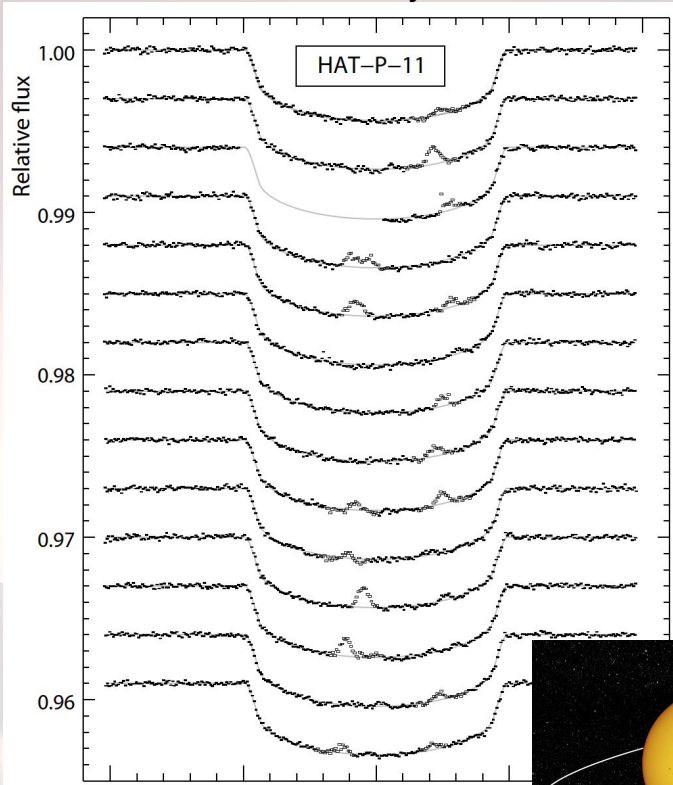
Tvar tranzitu - další informace

Gravitační ztemnění vlivem rotace hvězdy

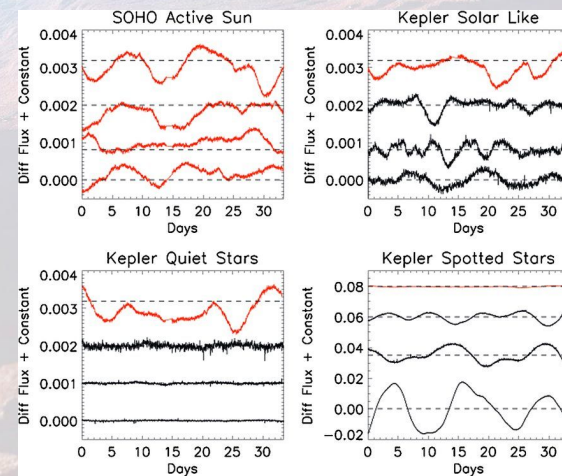
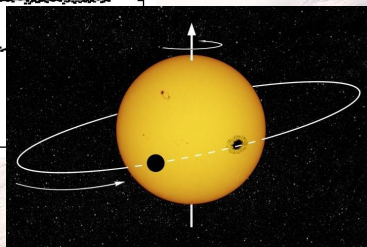


Tvar tranzitu - další informace

Skvrny

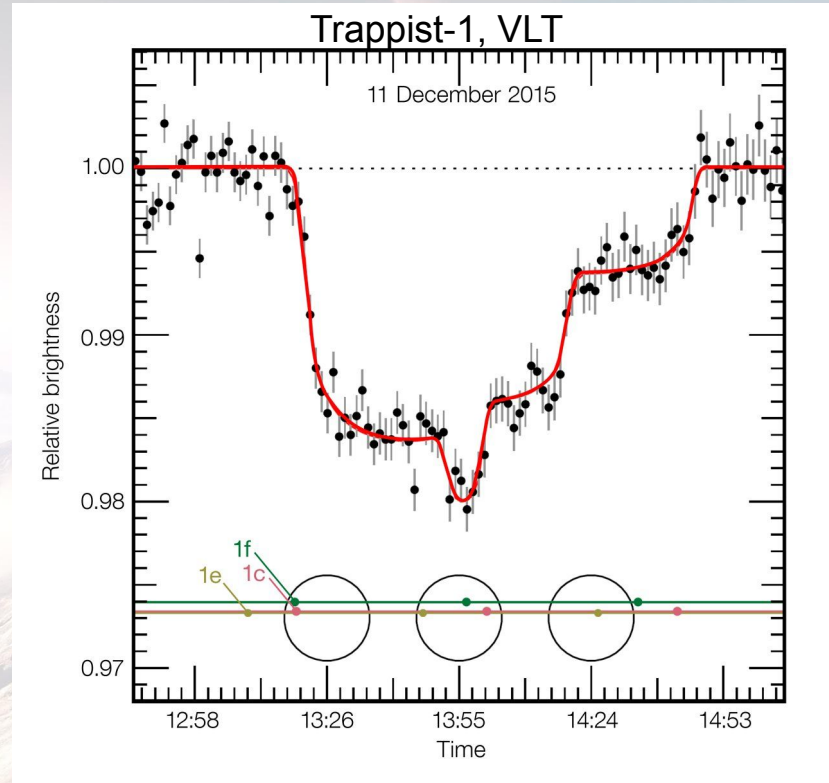
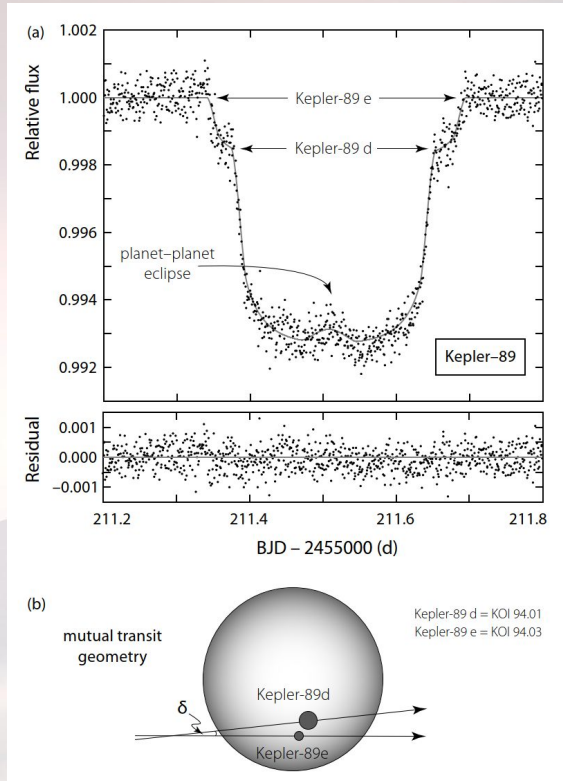


Bruno&Deleuil, [arXiv:2104.06173](https://arxiv.org/abs/2104.06173)



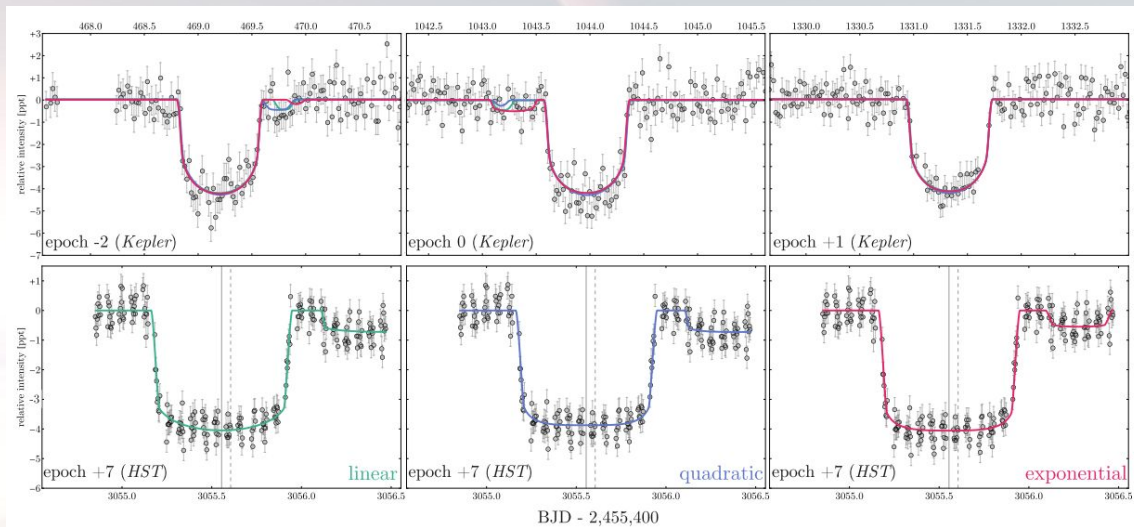
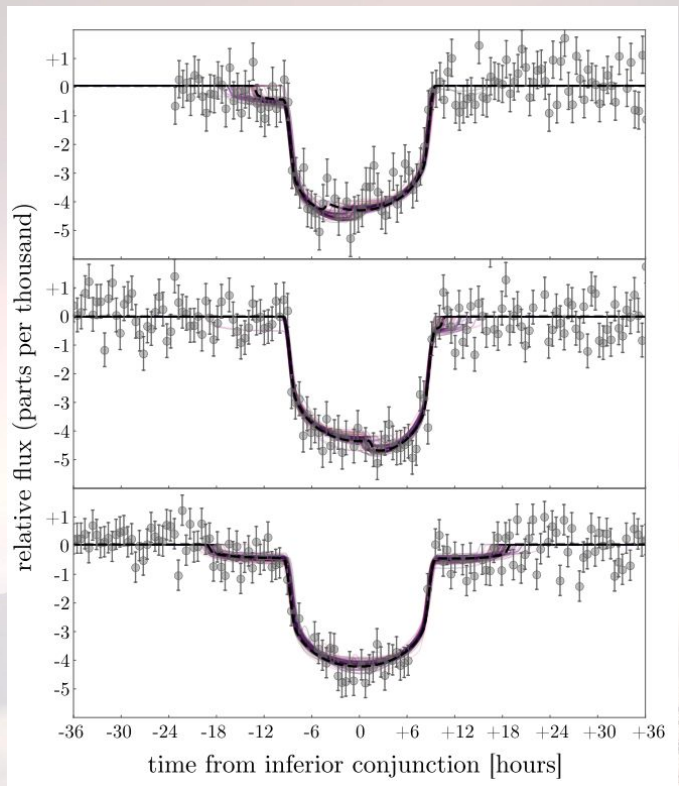
Tvar tranzitu - další informace

Další planety v systému



Tvar tranzitu - další informace

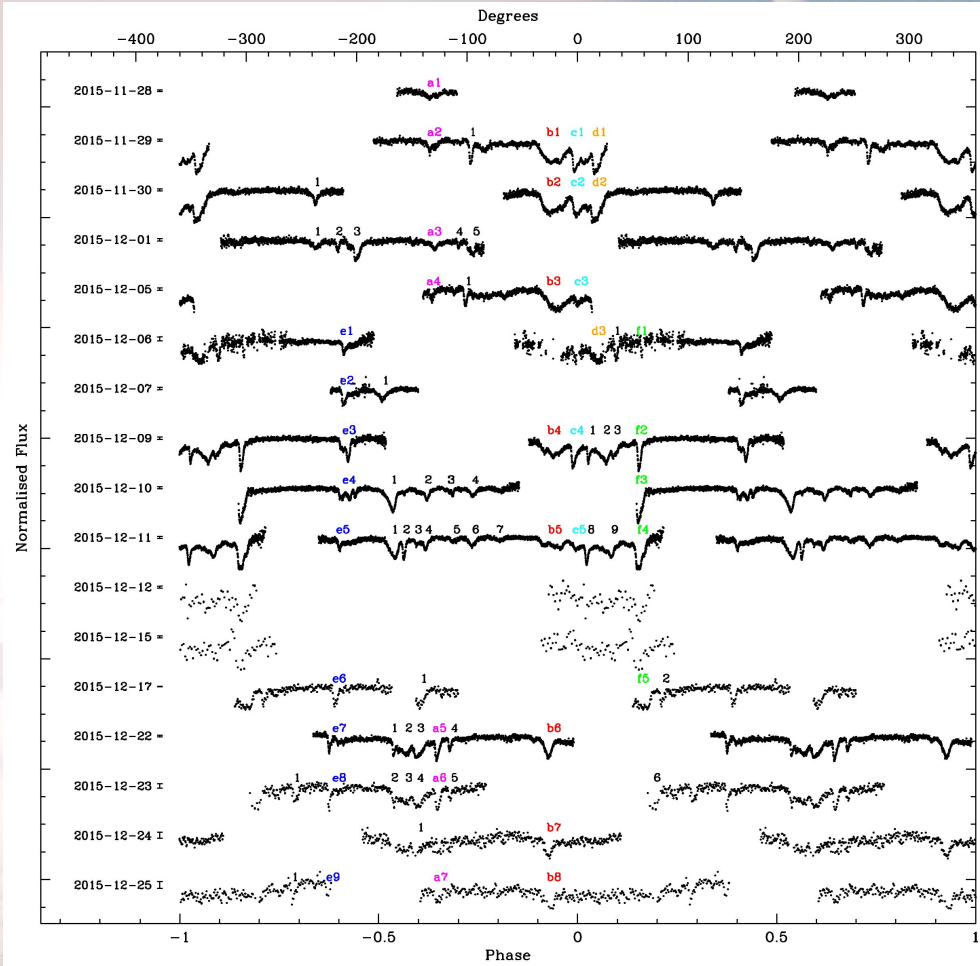
Exoměsíce?



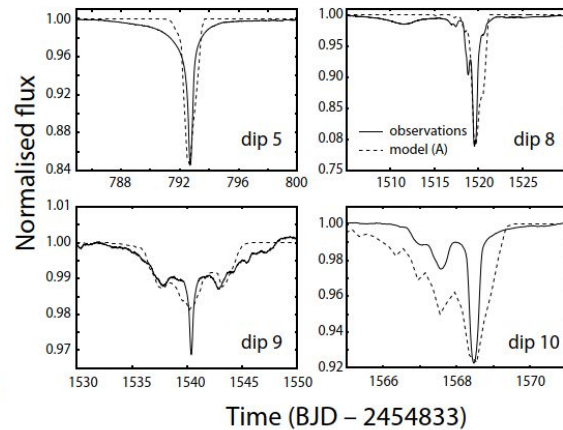
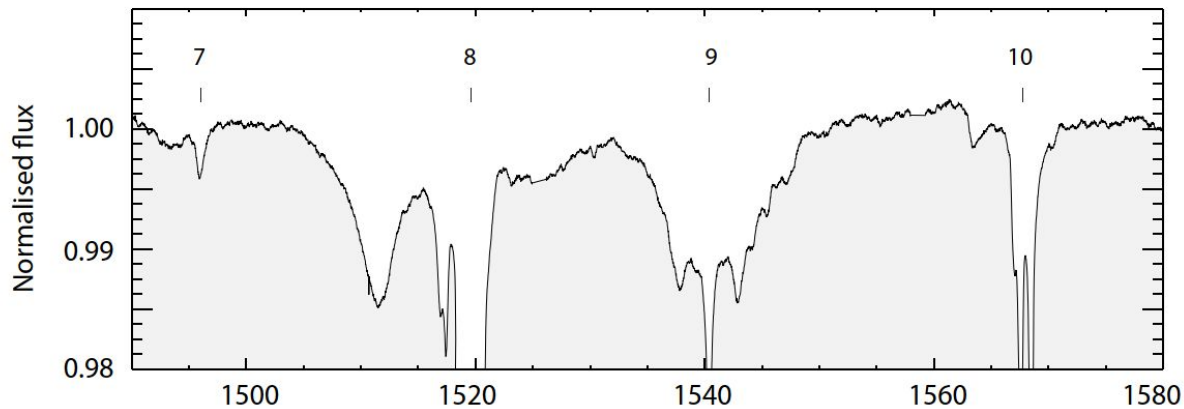
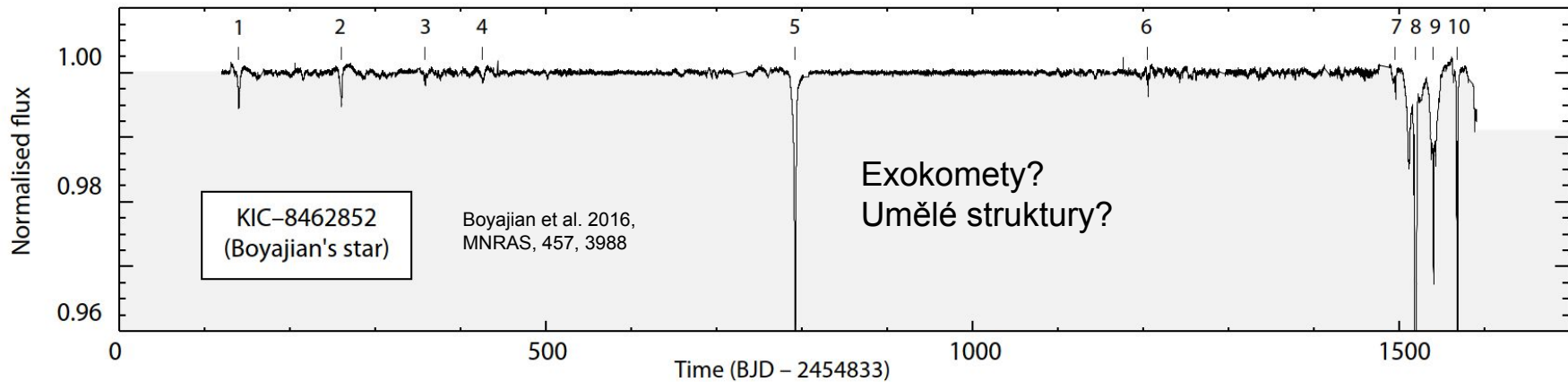
Tvar tranzitu - další informace

Gansicke et al. 2016, ApJL, 818, 7

Rozpadající se planeta okolo
bílého trpaslíka?

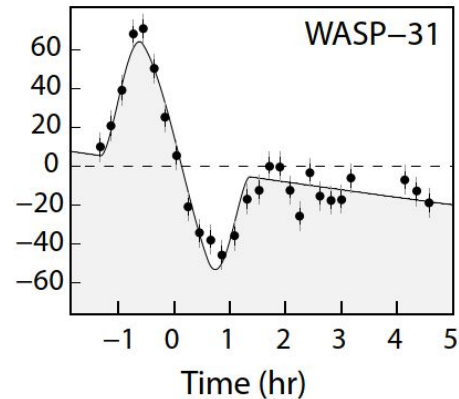
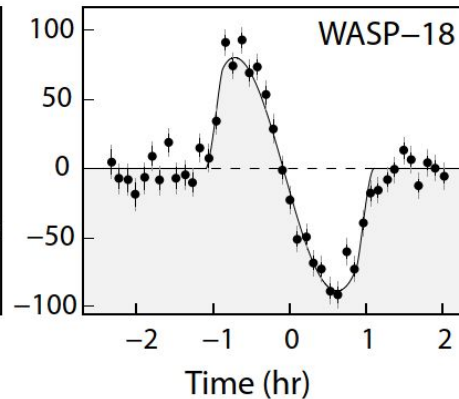
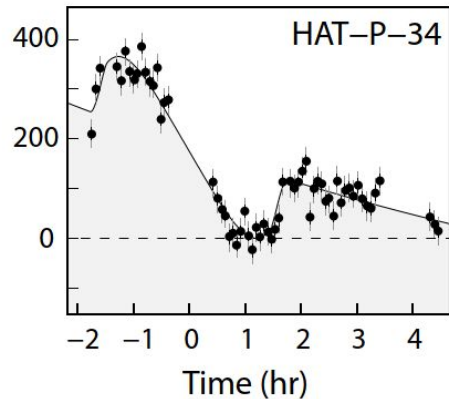
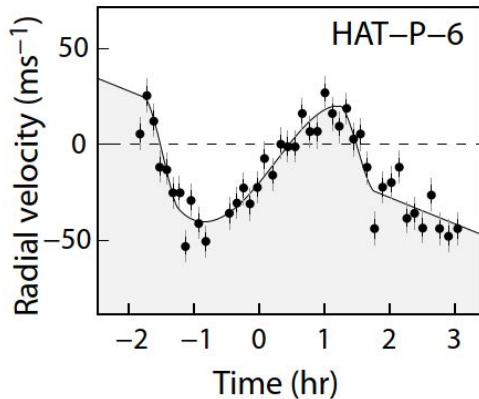
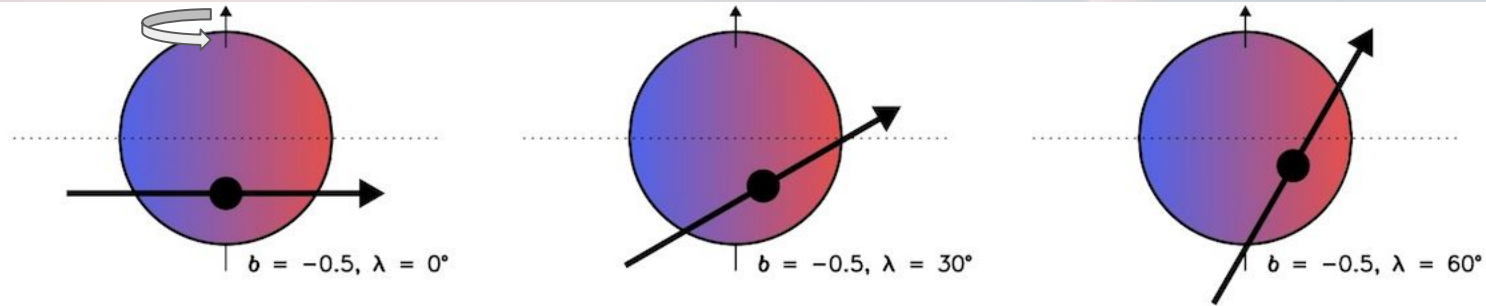


Tvar tranzitu - další informace

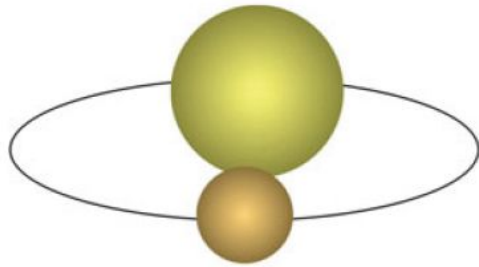


Tvar tranzitu - další informace

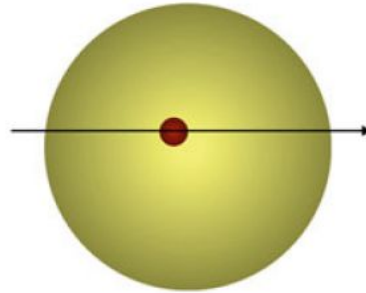
Rychlost rotace hvězdy, vzájemný sklon dráhy planety a rotační osy hvězdy
Rossiter-McLaughlinův efekt (z křivky radiálních rychlostí)



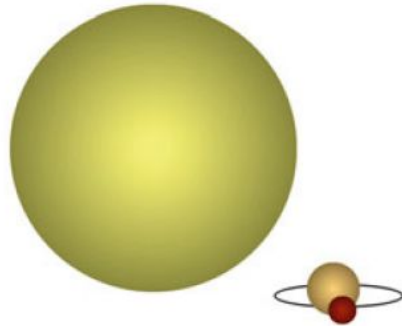
Falešné detekce



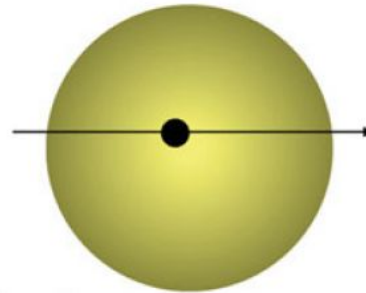
Grazing stellar binaries



Transiting red/brown dwarfs



Blended stellar binaries



Planets

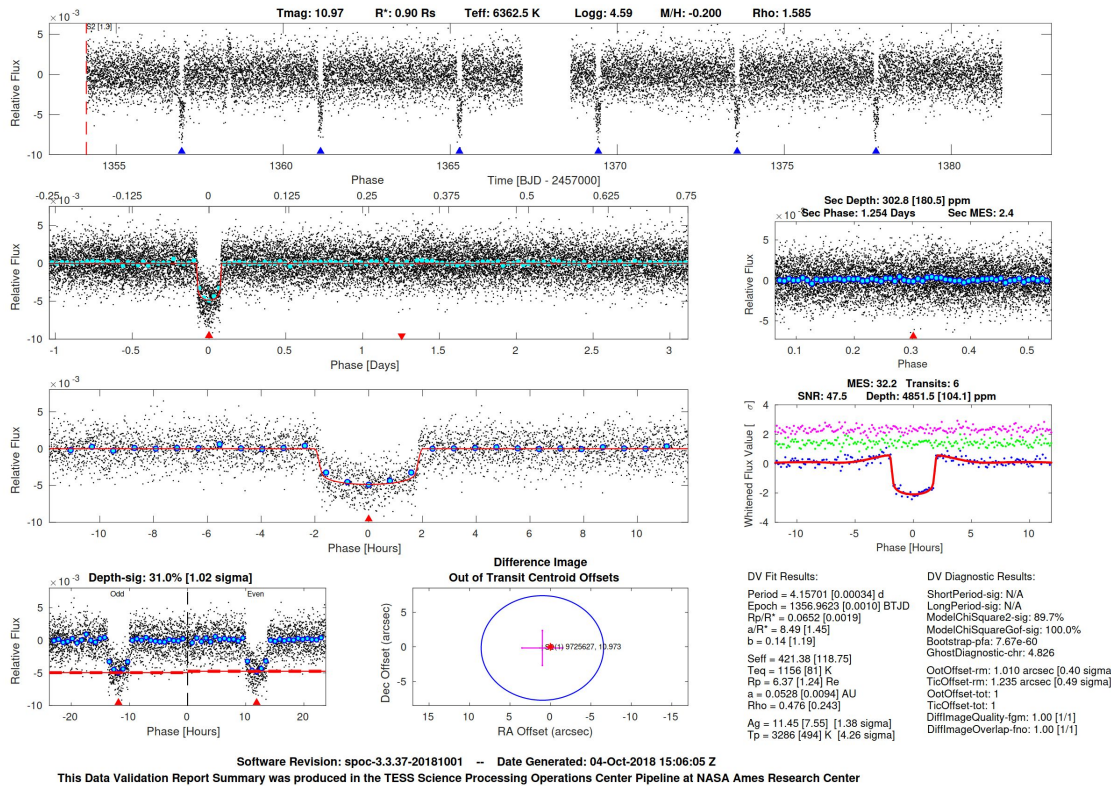
Exoplaneta musí být potvrzena s pomocí jiné nezávislé metody

- Velká velikost pixelu na detektoru - možnost blendu s objektem v pozadí
=> pozorování s větším rozlišením
- Velké planety jsou velikostně srovnatelné s hnědými trpaslíky a nejmenšími hvězdami
=> odhad hmotnosti přes RVs
- “Grazing” objekty produkující tranzitu podobné křivky
=> odhad hmotnosti přes RVs

Falešné detekce

Exoplaneta musí být potvrzena s pomocí jiné nezávislé metody

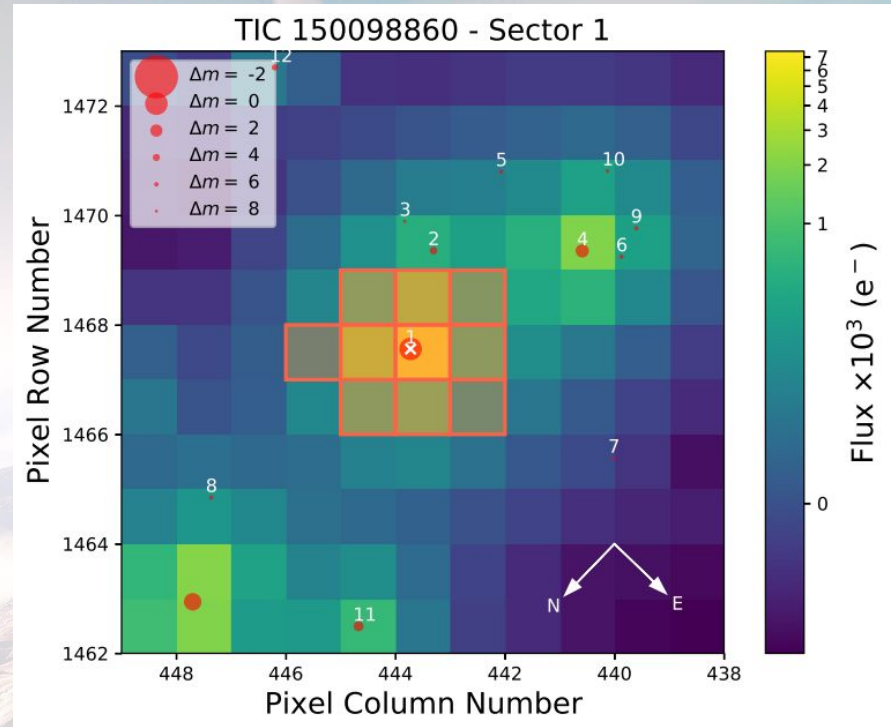
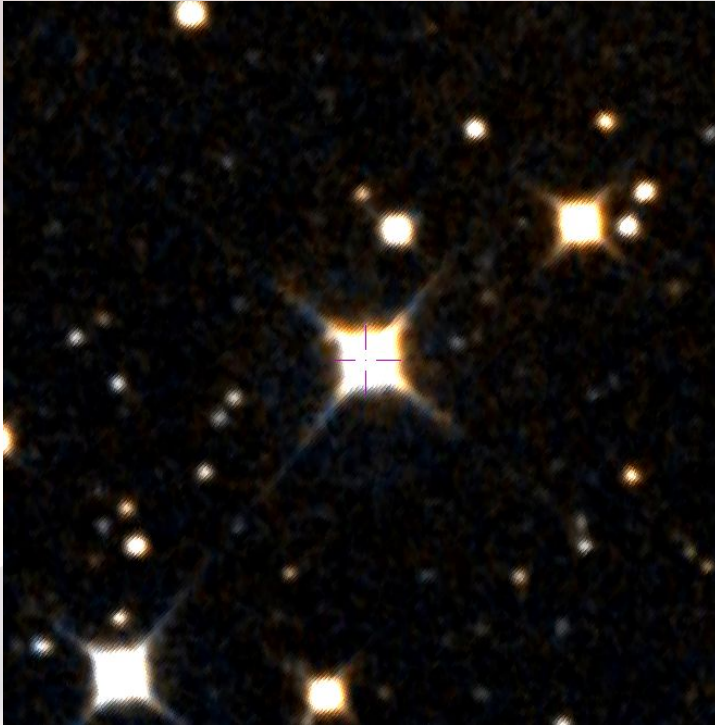
- Velká velikost pixelu na detektoru - možnost blendy s objektem v pozadí
=> pozorování s větším rozlišením
- Velké planety jsou velikostně srovnatelné s hnědými trpaslíky a nejmenšími hvězdami
=> odhad hmotnosti přes RVs
- “Grazing” objekty produkující tranzitu podobné křivky
=> odhad hmotnosti přes RVs



Čistě fotometrie může napovědět srovnáním sudých a lichých tranzitů, velmi malá hloubka sekundárního tranzitu, periodová analýza s použitím různých metod

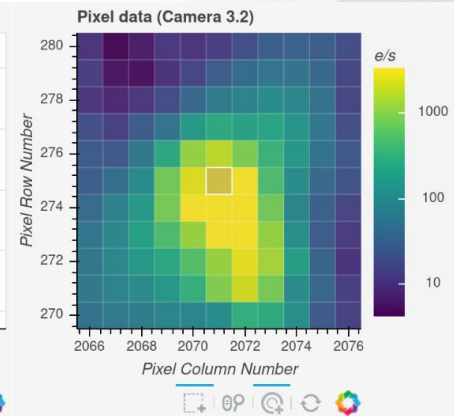
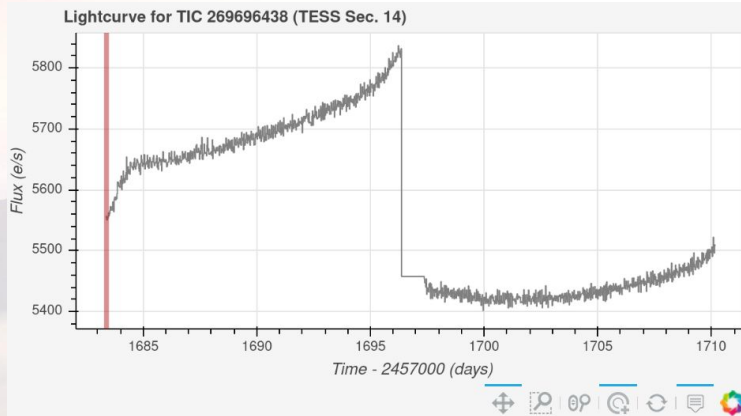
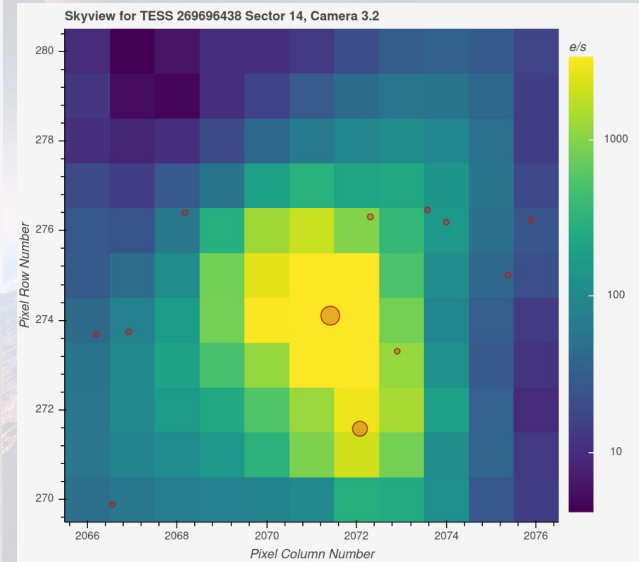
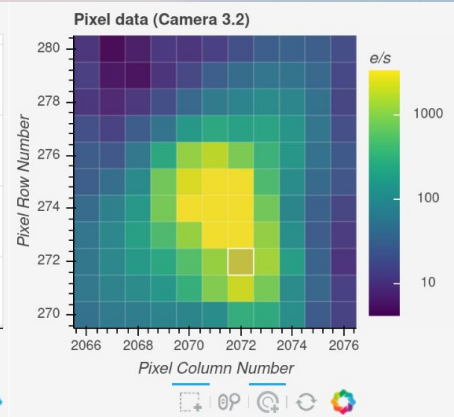
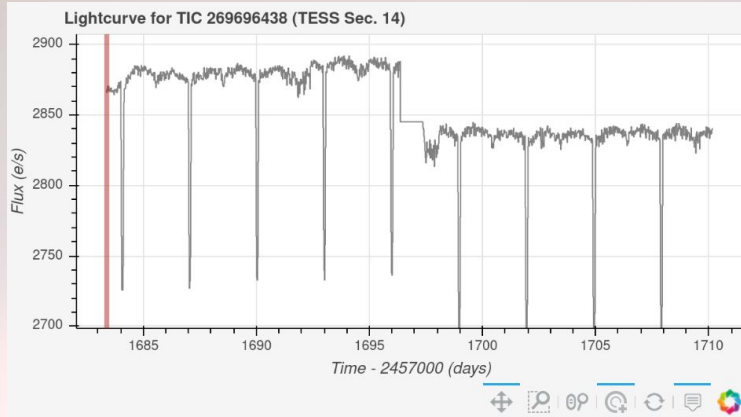
Falešné detekce

TESS - 21"/px



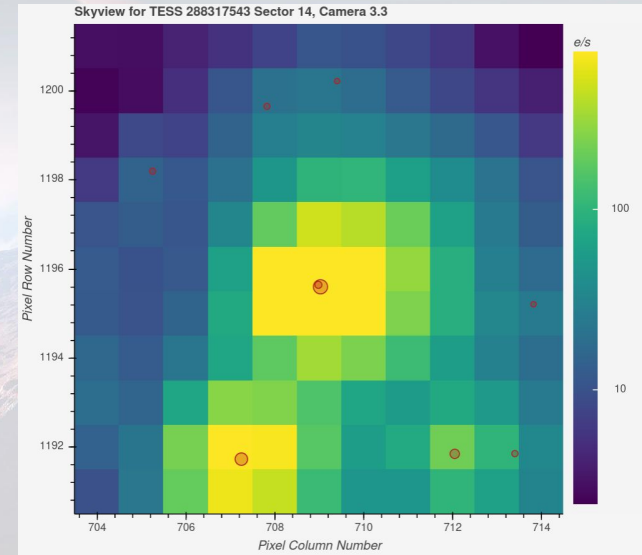
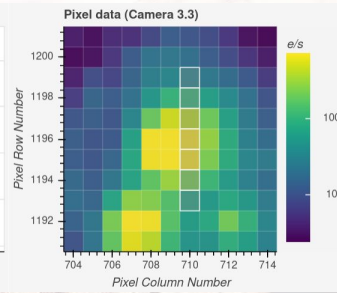
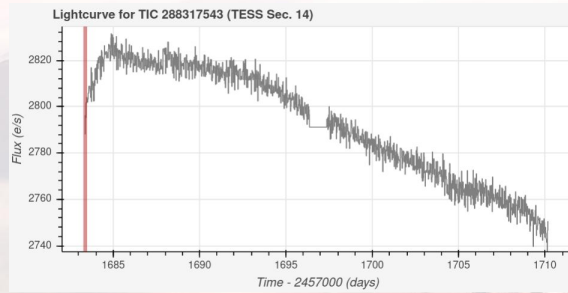
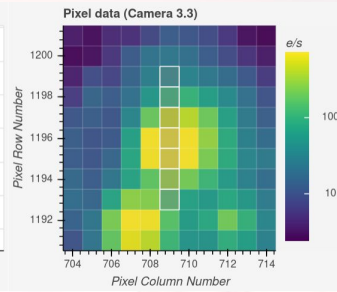
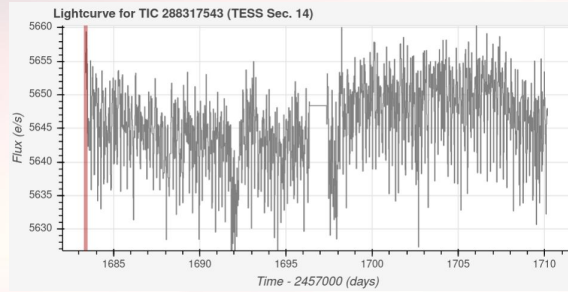
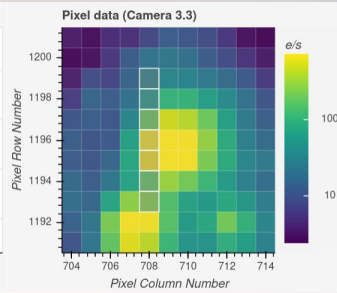
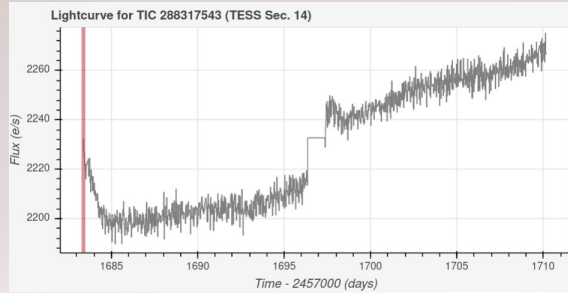
Hoyer et al. 2020, odesláno do MNRAS

Falešné detekce



BLEND :-)

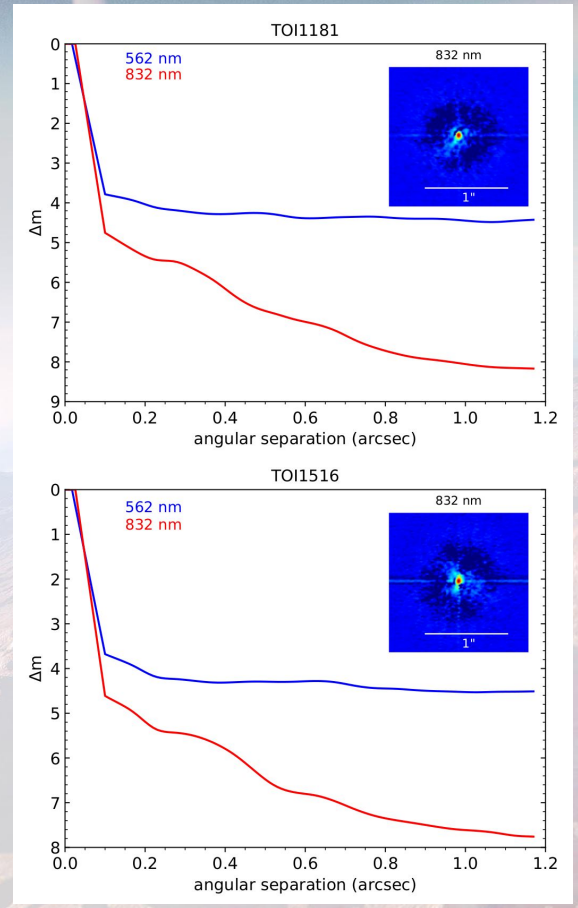
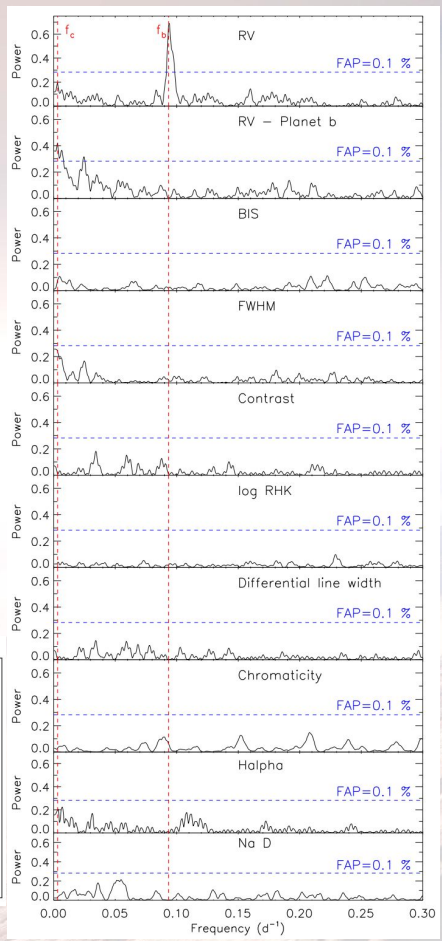
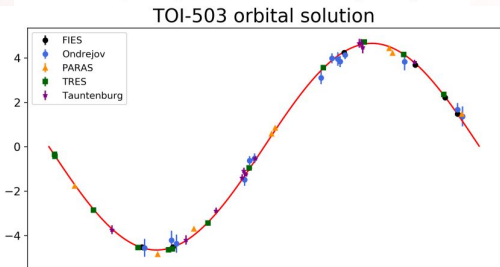
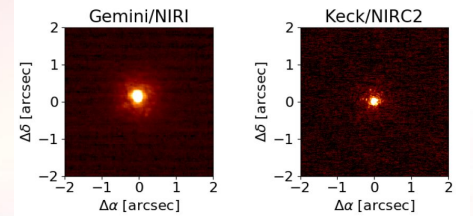
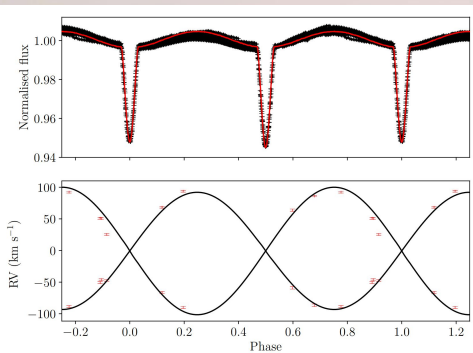
Falešné detekce



BLEND :-)

Falešné detekce

Kabáth et al. 2020, PASP, 132, 5002



Šubjak et al. 2020, AJ, 159, 151

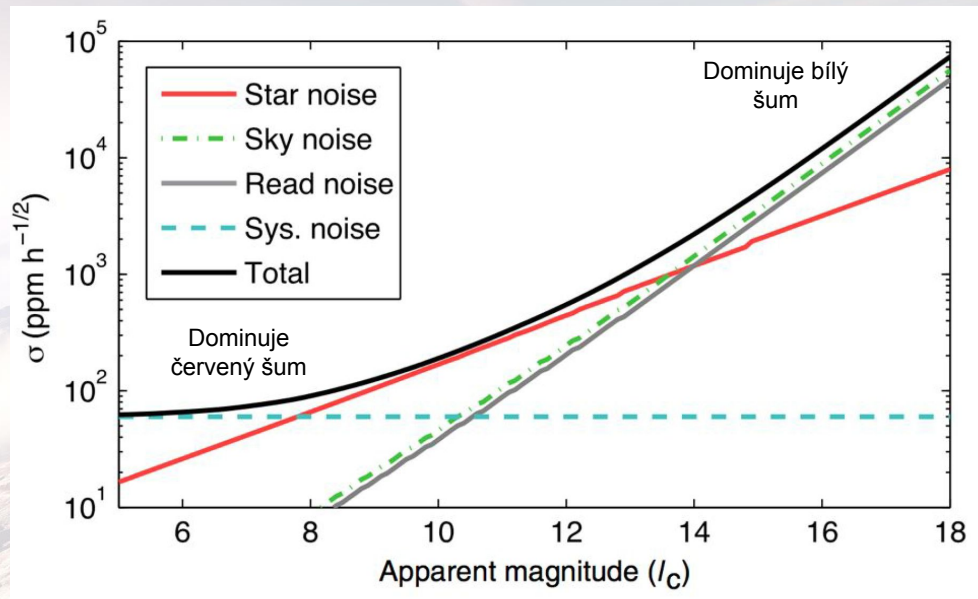
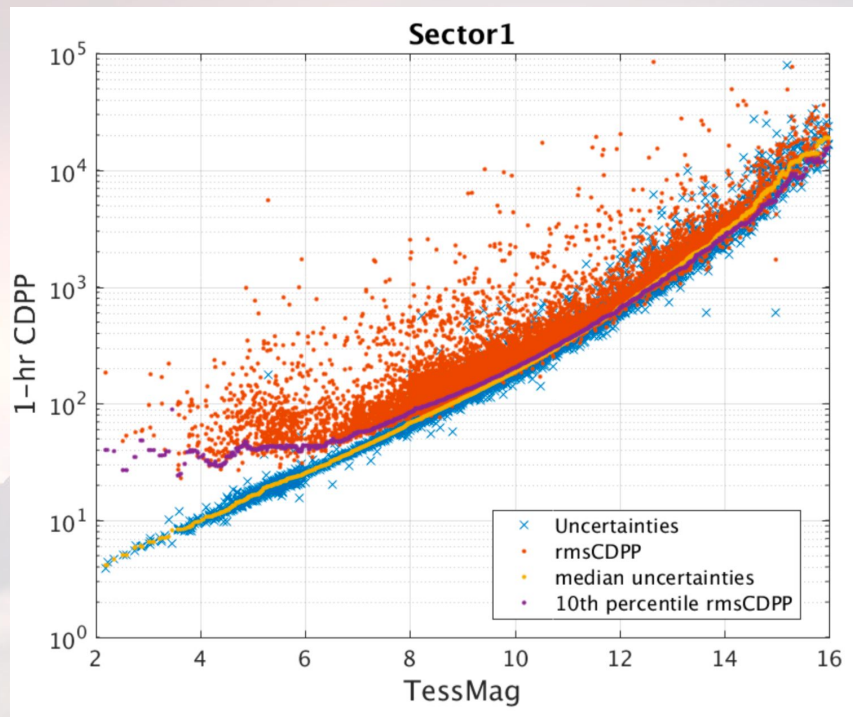
Kabáth et al., under review

Pozorování tranzitů

Tranzity mají typicky hloubku < 0.01 mag \Rightarrow potřeba přesných pozorování

Základní zdroj šumu je fotonový šum (bílý šum): $\sigma \sim \sqrt{N}$ - čím více fotonů, tím menší relativní chyba měření

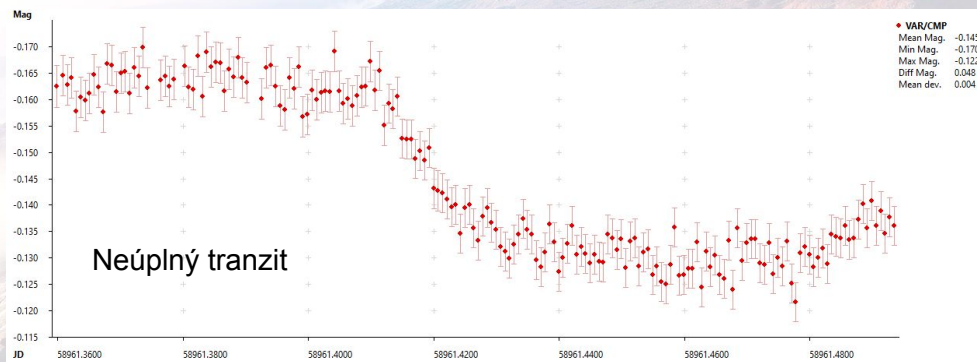
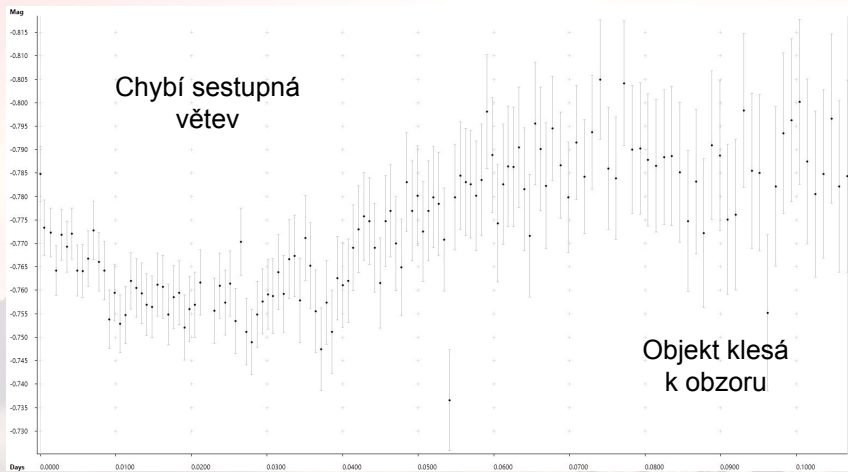
Dalšími zdroji šumu jsou jevy spojené s přístrojem a pozorovacími podmínkami - tzv. červený šum



Pozorování tranzitů

Obecná doporučení k CCD měření tranzitů:

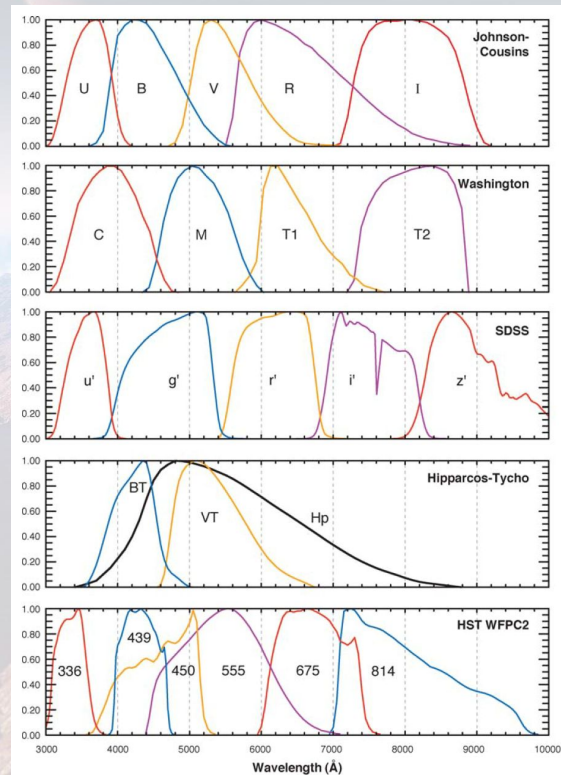
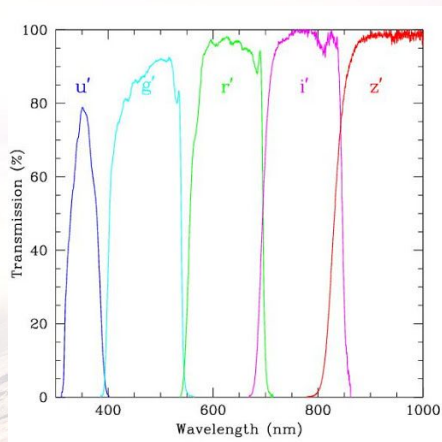
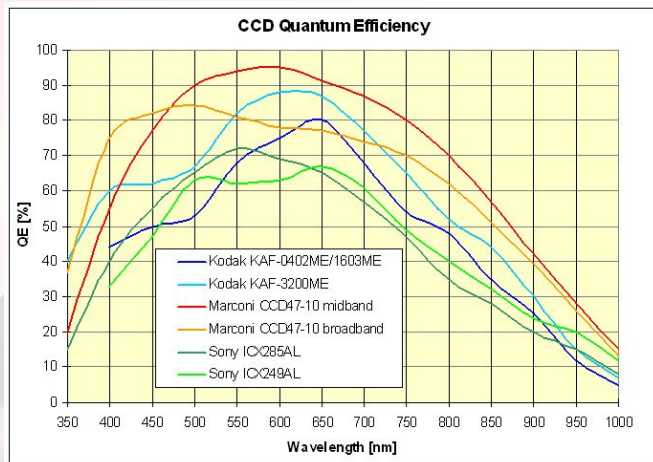
1. Měřit efektivně vzhledem k přístroji a observatoři
 - a. Vhodnost cíle (jasnost, poloha na obloze, délka pozorovatelnosti, okolí hvězdy, pokles, délka tranzitu)



Pozorování tranzitů

Obecná doporučení k CCD měření tranzitů:

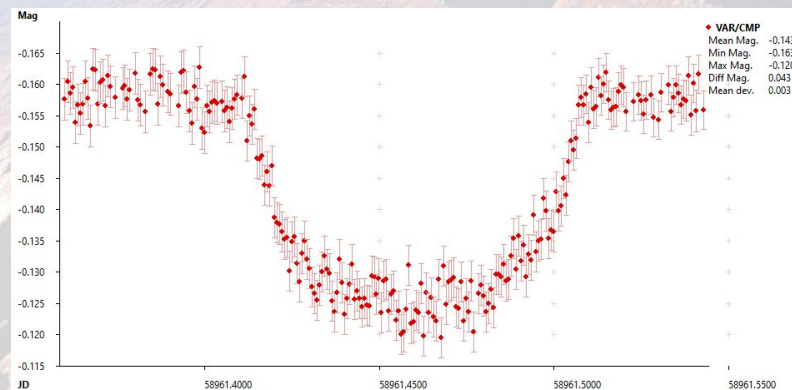
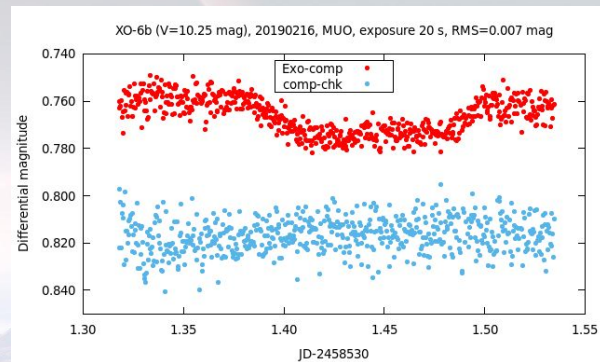
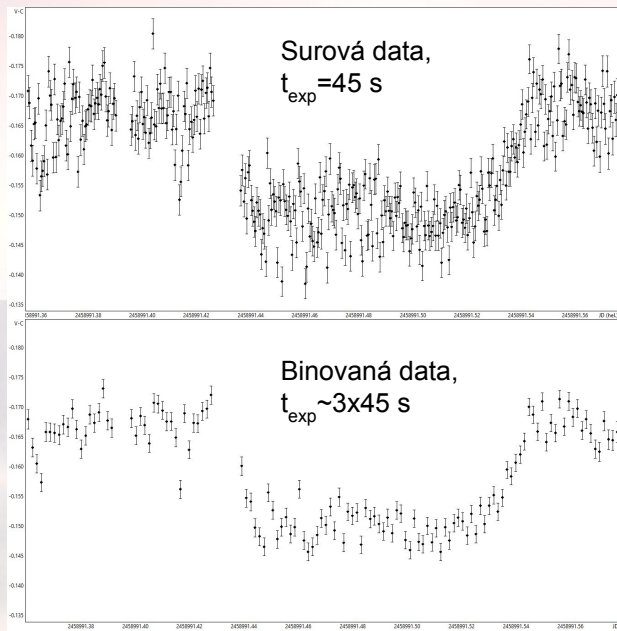
1. Měřit efektivně vzhledem k přístroji a observatoři
 - a. Vhodnost cíle (jasnost, poloha na obloze, délka pozorovatelnosti, okolí hvězdy, pokles, délka tranzitu)
 - b. Vhodný filtr



Pozorování tranzitů

Obecná doporučení k CCD měření tranzitů:

1. Měřit efektivně vzhledem k přístroji a observatoři
 - a. Vhodnost cíle (jasnost, poloha na obloze, délka pozorovatelnosti, okolí hvězdy, pokles, délka tranzitu)
 - b. Vhodný filtr
 - c. Používat autoguiding
 - d. Expozice (dostatek fotonů vs. kadence dat)

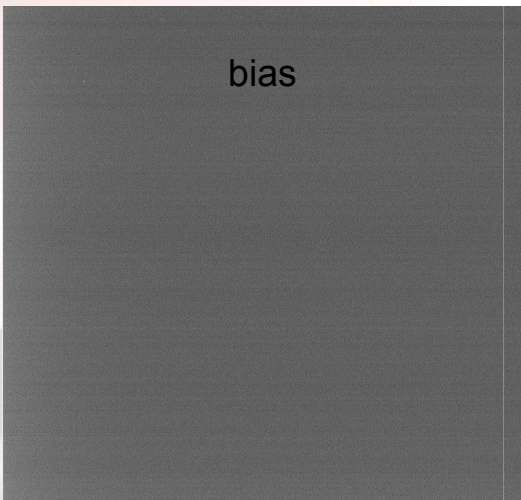


Pozorování tranzitů

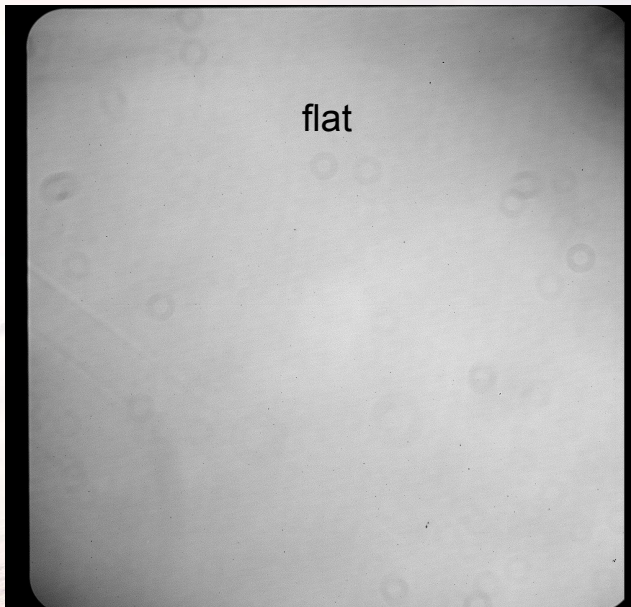
Obecná doporučení k CCD měření tranzitů:

1. Měřit efektivně vzhledem k přístroji a observatoři
2. Správně redukovat data
 - a. Bias, Dark frame, Flat-field frame, detrending

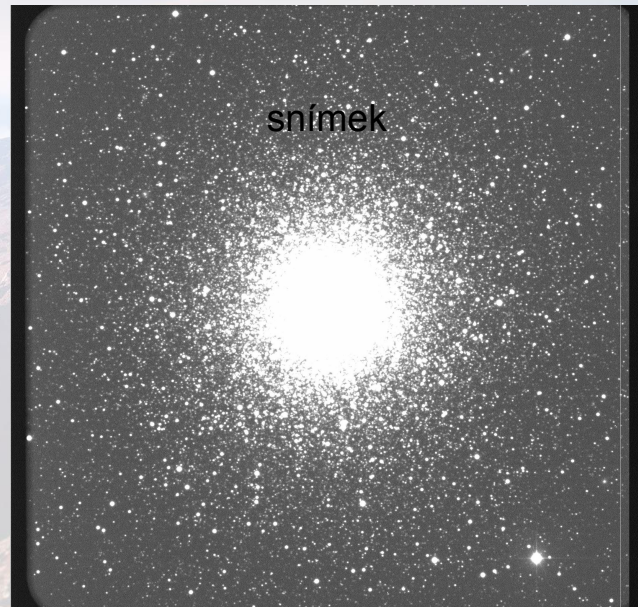
bias



flat



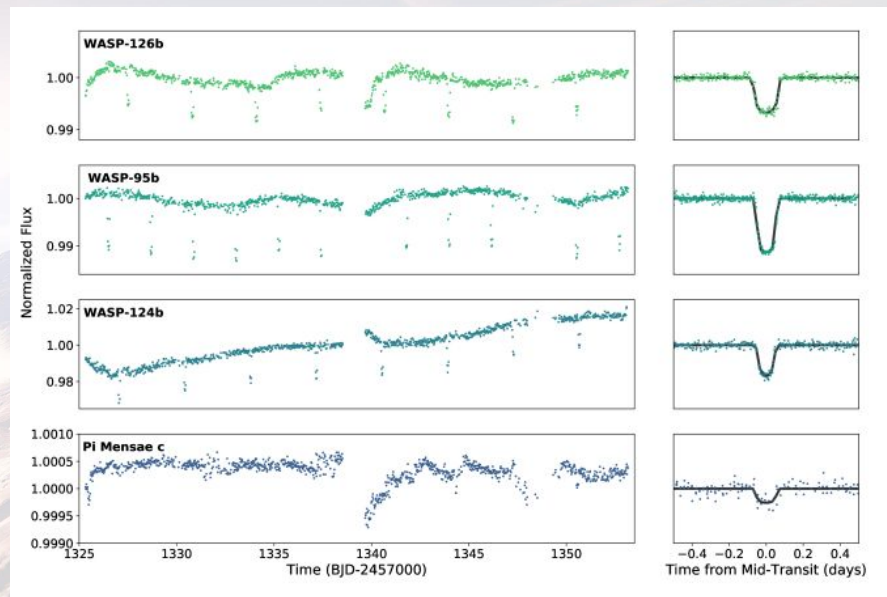
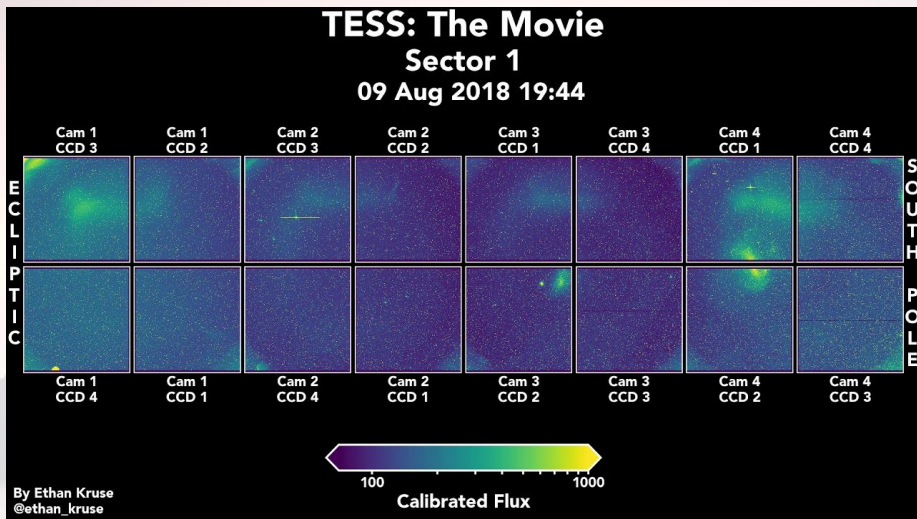
snímek



Pozorování tranzitů

Obecná doporučení k CCD měření tranzitů:

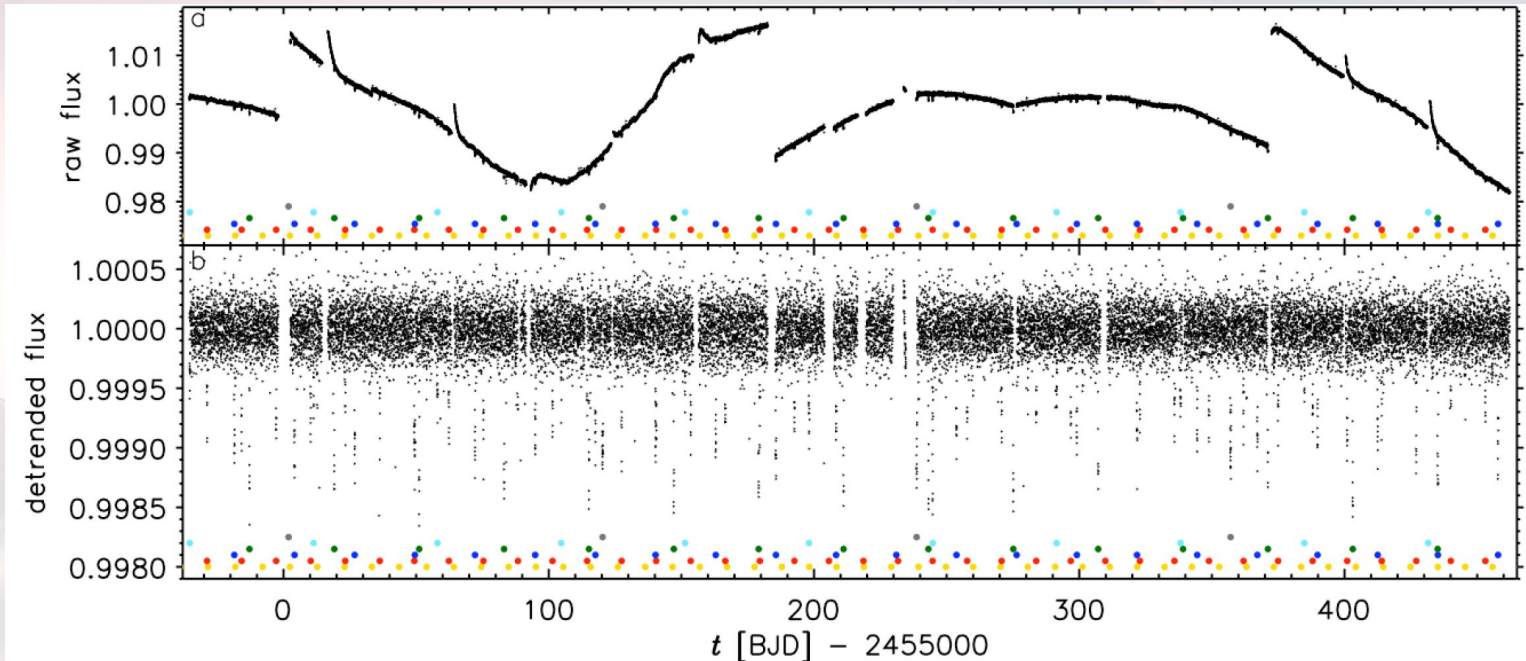
1. Měřit efektivně vzhledem k přístroji a observatoři
2. Správně redukovat data
 - a. Bias, Dark frame, Flat-field frame, detrending



Pozorování tranzitů

Obecná doporučení k CCD měření tranzitů:

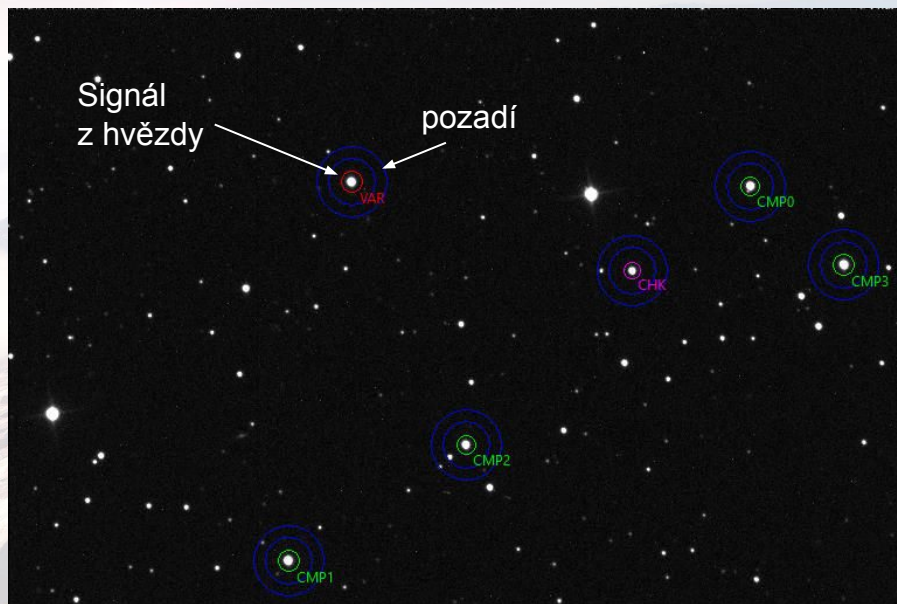
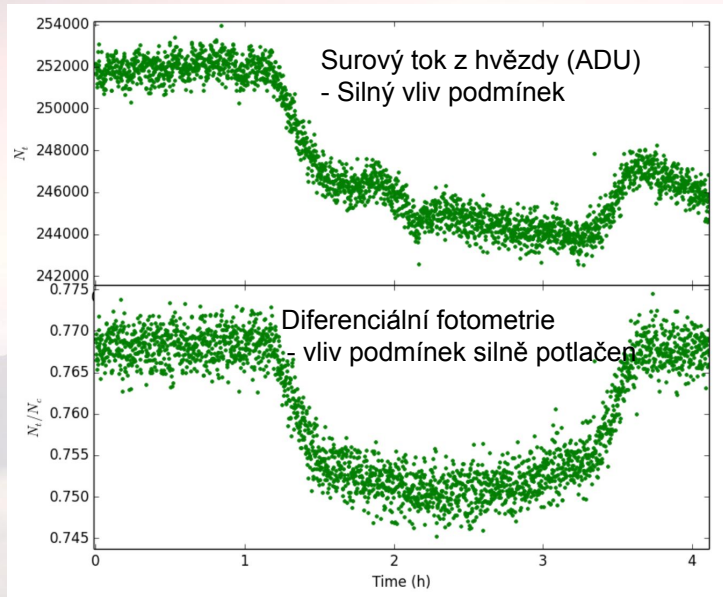
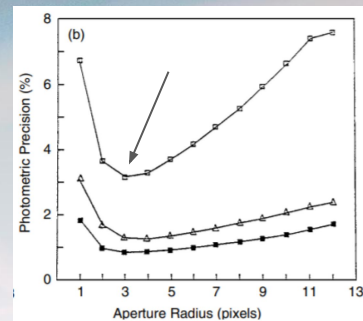
1. Měřit efektivně vzhledem k přístroji a observatoři
2. Správně redukovat data
 - a. Bias, Dark frame, Flat-field frame, detrending



Pozorování tranzitů

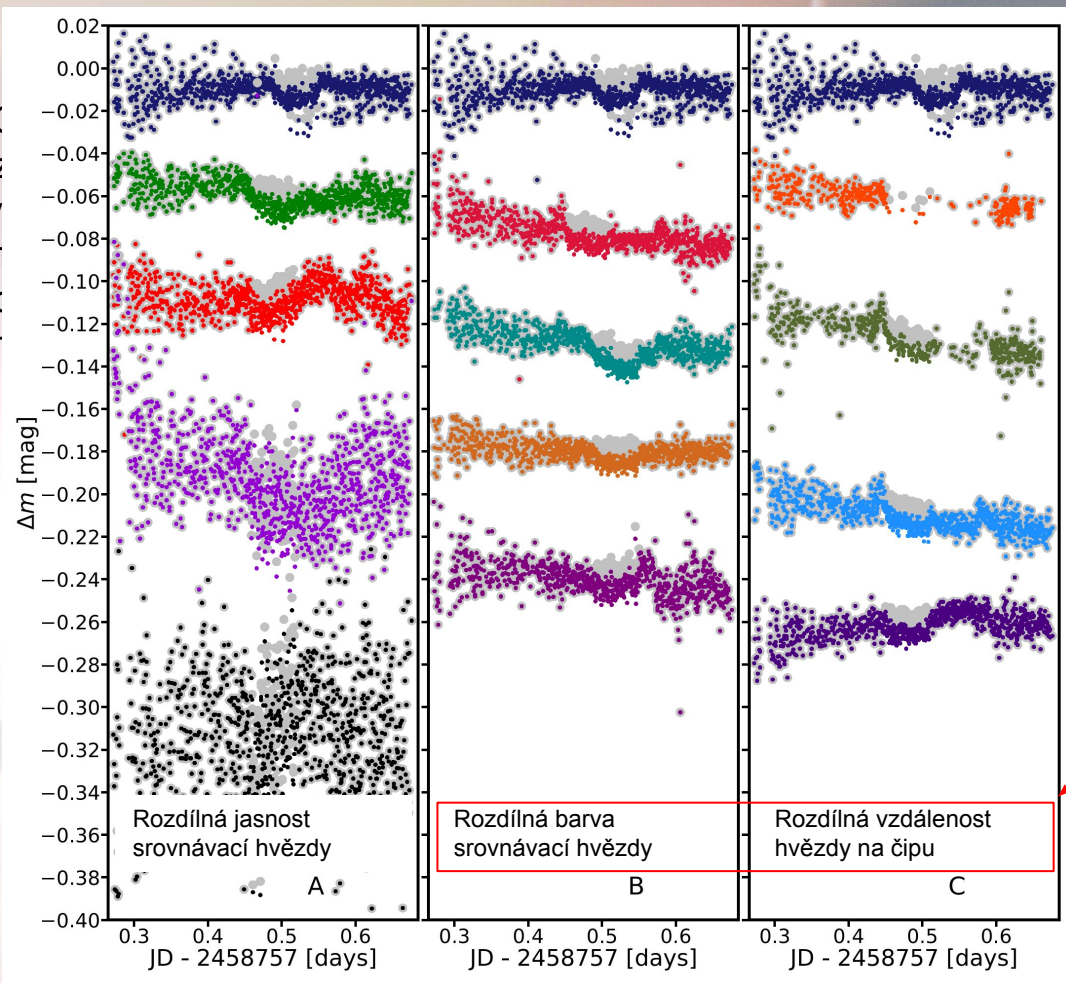
Obecná doporučení k CCD měření tranzitů:

1. Měřit efektivně vzhledem k přístroji a observatoři
2. Správně redukovat data
 - a. Bias, Dark frame, Flat-field frame, detrending
 - b. Správná clonka + diferenciální fotometrie
 - c. Volba srovnávací hvězdy (kombinace hvězd blízko měřené)



Obecná doporučení k (

1. Měřit efektivně vz
2. Správně redukov
 - a. Bias, Dark
 - b. Správná cl
 - c. Volba srovn

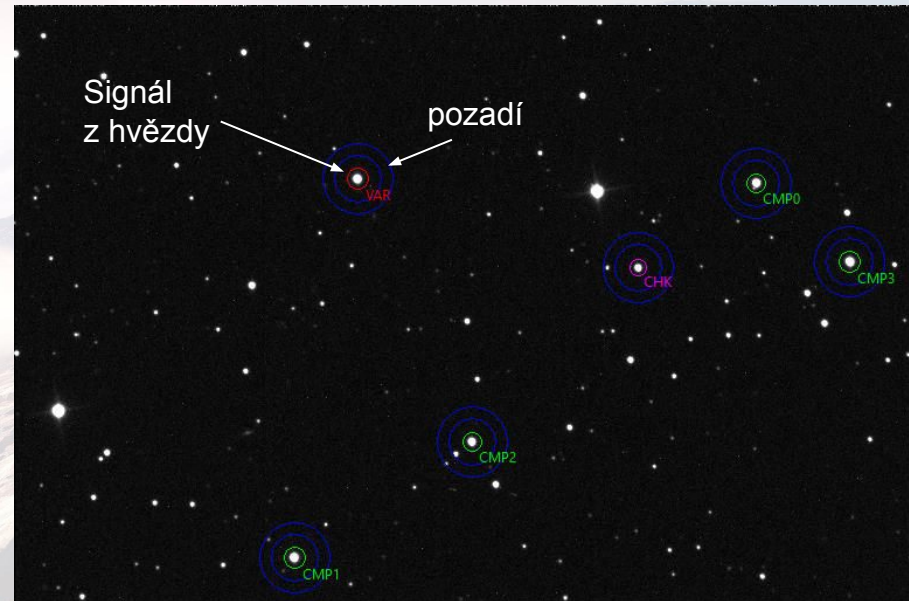
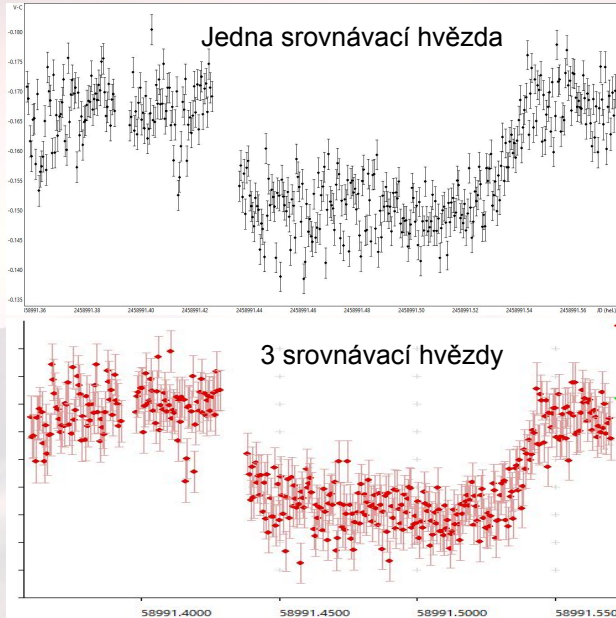
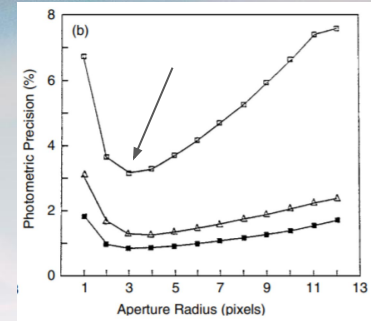


Vznikají trendy

Pozorování tranzitů

Obecná doporučení k CCD měření tranzitů:

1. Měřit efektivně vzhledem k přístroji a observatoři
2. Správně redukovat data
 - a. Bias, Dark frame, Flat-field frame, detrending
 - b. Správná clonka + diferenciální fotometrie
 - c. Volba srovnávací hvězdy (kombinace hvězd blízko měřené)

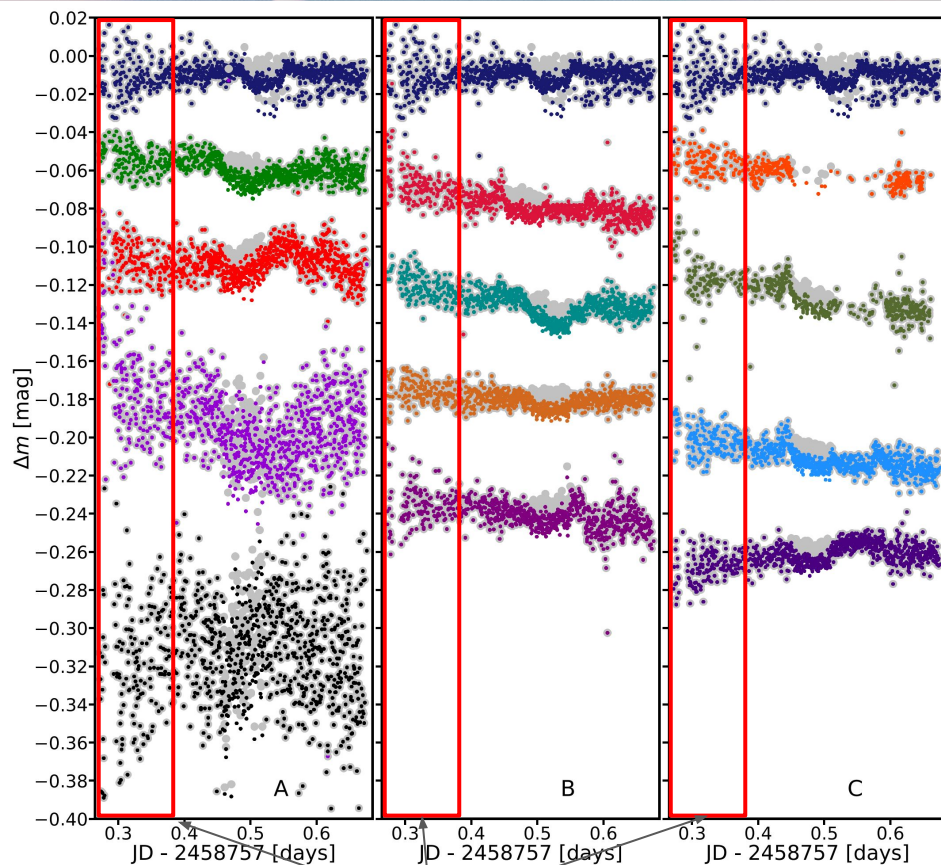
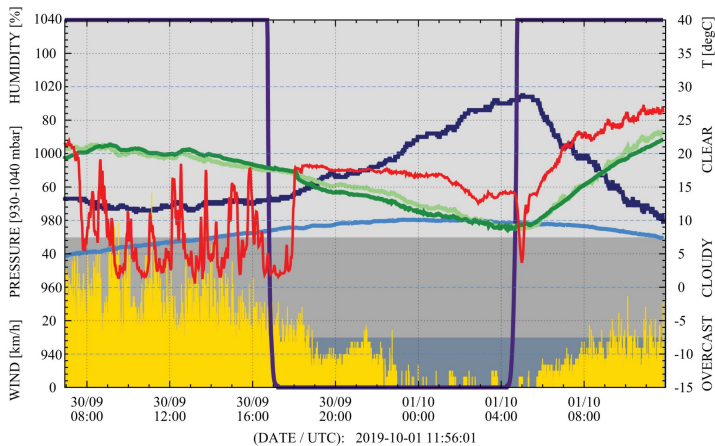


Pozorování tranzitů

Obecná doporučení k CCD měření tranzitů:

1. Měřit efektivně vzhledem k přístroji a observatoři
2. Správně redukovat data
3. Měřit v dobrých podmínkách
 - a. Čistá obloha
 - b. Nízká vlhkost
 - c. Vítr
 - d. Vysoko na obloze
 - e. Daleko od Měsíce a zdrojů světla

HUMIDITY [%]:	49	TEMP OUT [degC]:	23.5
WIND SPEED [m/s]:	3.8	TEMP DOME [degC]:	22.1
PRESSURE [mbar]:	974.6	PYRGEOMETER [W/m2]:	-108.5
TWILIGHT [lux]:	250		

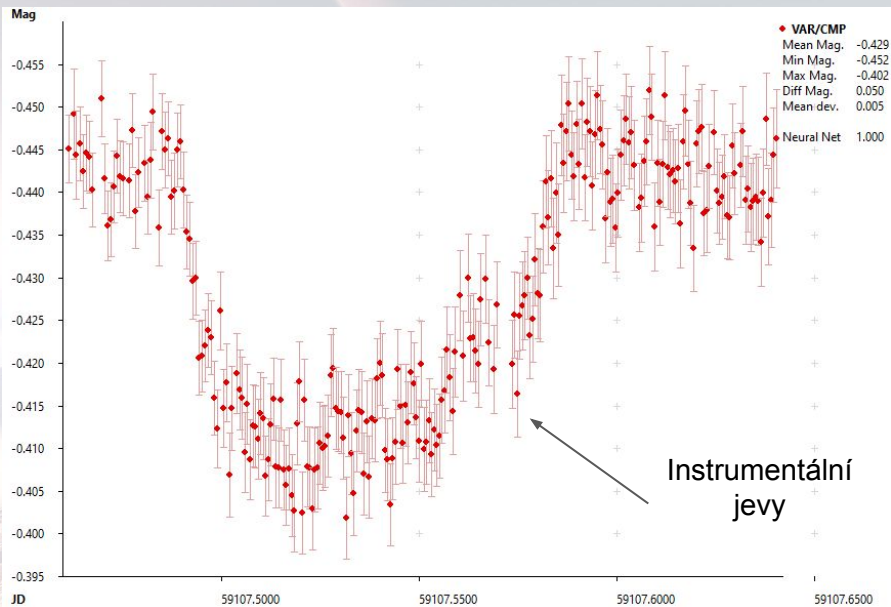
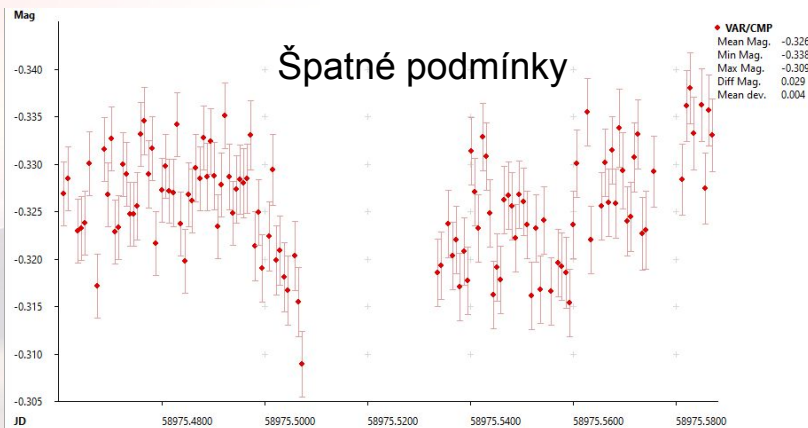


Oblačnost + vítr

Pozorování tranzitů

Obecná doporučení k CCD měření tranzitů:

1. Měřit efektivně vzhledem k přístroji a observatoři
2. Správně redukovat data
3. Měřit v dobrých podmínkách
 - a. Čistá obloha
 - b. Nízká vlhkost
 - c. Vítr
 - d. Vysoko na obloze
 - e. Daleko od Měsíce a zdrojů světla



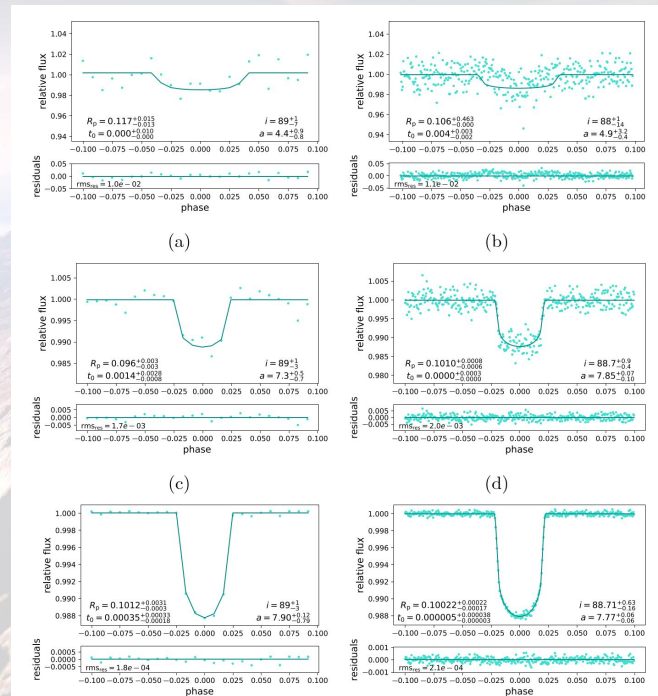
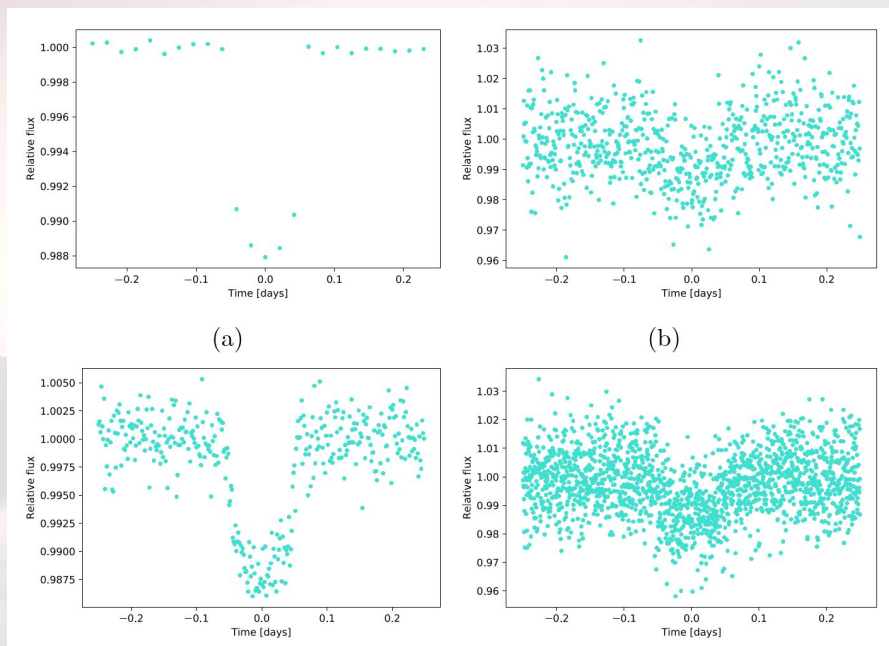
Měření vs. přesnost určení parametrů

Bakalářská práce Michaela Vítková, 2020

“Vliv kadence a rozptylu dat na přesnost určení parametrů exoplanetárních tranzitů”

Simulace:

- Exoplaneta: $P=2.5$ d, $R_p=1 R_J$ ($0.1004 R_S$), $a=0.036$ au, $i=88.7^\circ$, $e=0$, $\omega=90^\circ$
- Kadence: 25 s (60 křivek), 1 min (120 křivek), 2 min (200 křivek), 30 min (400 křivek)
- Šum: 200 ppm, 2000 ppm, 10000 ppm



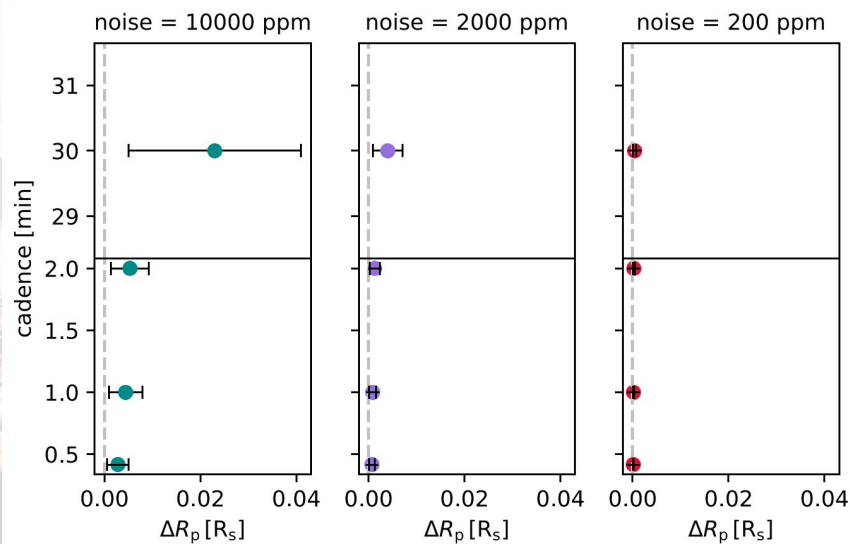
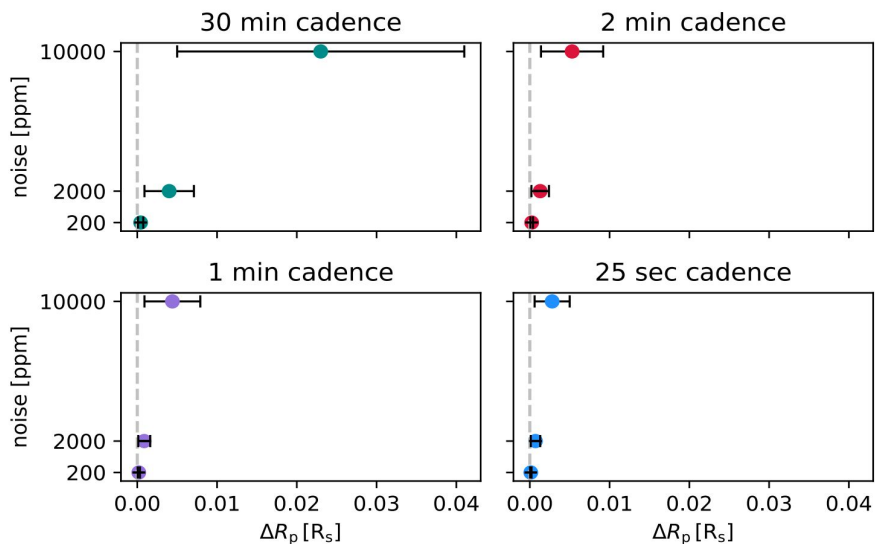
Měření vs. přesnost určení parametrů

- Exoplaneta: $P=2.5$ d, $R_p=1 R_J$ ($0.1004 R_S$), $a=0.036$ au, $i=88.7^\circ$, $e=0$, $\omega=90^\circ$

Table 4.2: Relative standart deviations for planet radius R_p

Radius

noise [ppm]	cadence			
	30 minutes	2 minutes	1 minute	25 seconds
10000	19.5 %	6.4 %	5.1 %	2.9 %
2000	4.7 %	1.6 %	1.1 %	0.9 %
200	0.5 %	0.3 %	0.2 %	0.1 %



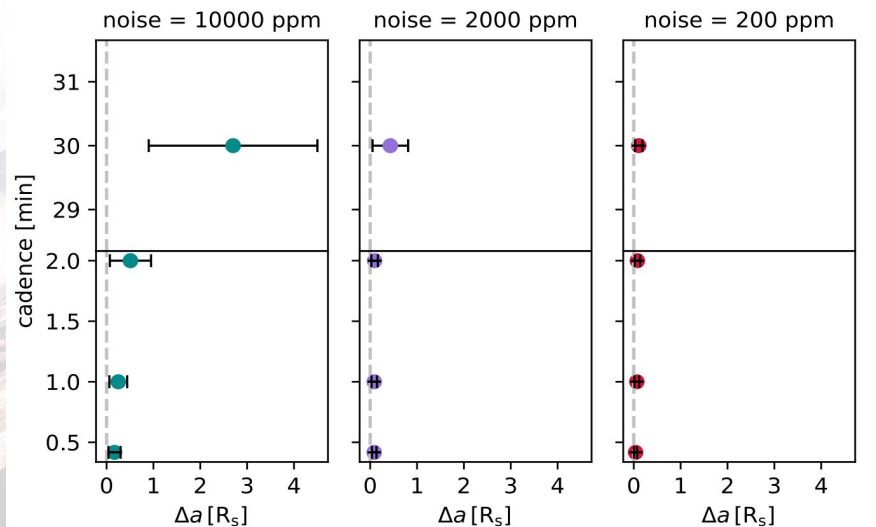
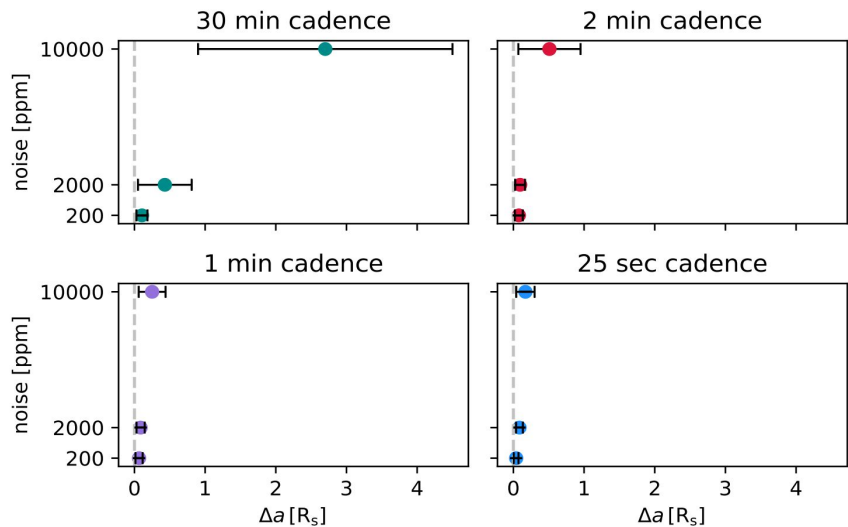
Měření vs. přesnost určení parametrů

- Exoplaneta: $P=2.5$ d, $R_p=1 R_J$ ($0.1004 R_S$), $a=0.036$ au, $i=88.7^\circ$, $e=0$, $\omega=90^\circ$

Table 4.3: Relative standart deviations for inclination a

noise [ppm]	cadence			
	30 minutes	2 minutes	1 minute	25 seconds
10000	44.9 %	8.7 %	4 %	2.8 %
2000	7.4 %	1.2 %	0.9 %	0.7 %
200	1.4 %	1.2 %	1 %	0.6 %

Semi-major axis



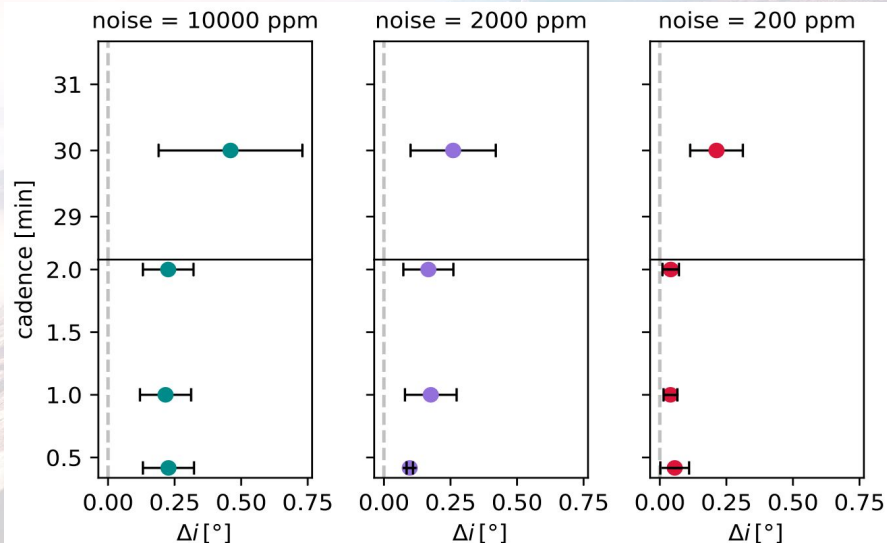
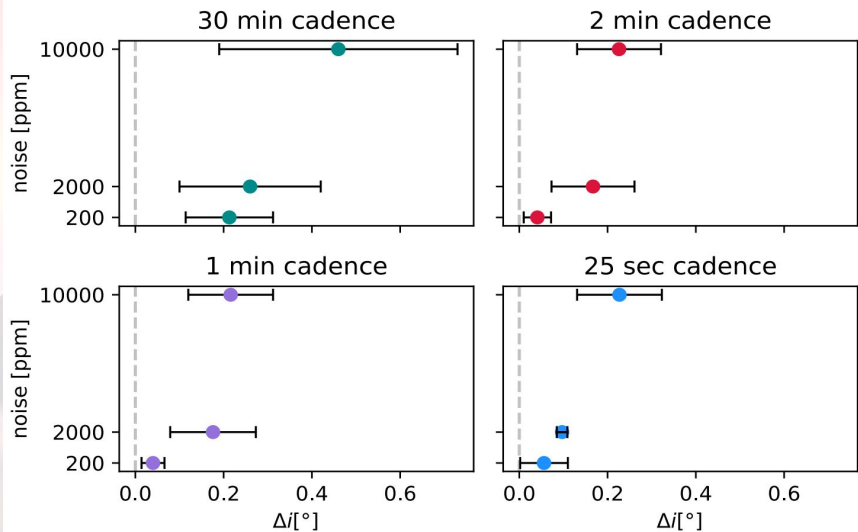
Měření vs. přesnost určení parametrů

- Exoplaneta: $P=2.5$ d, $R_p=1 R_J$ ($0.1004 R_S$), $a=0.036$ au, $i=88.7^\circ$, $e=0$, $\omega=90^\circ$

Table 4.4: Relative standart deviations for inclination i

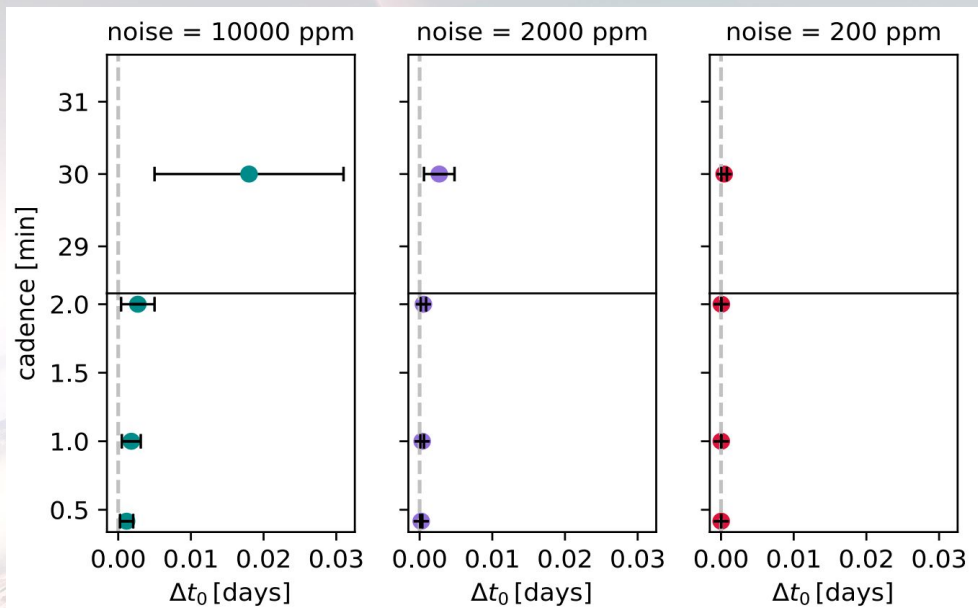
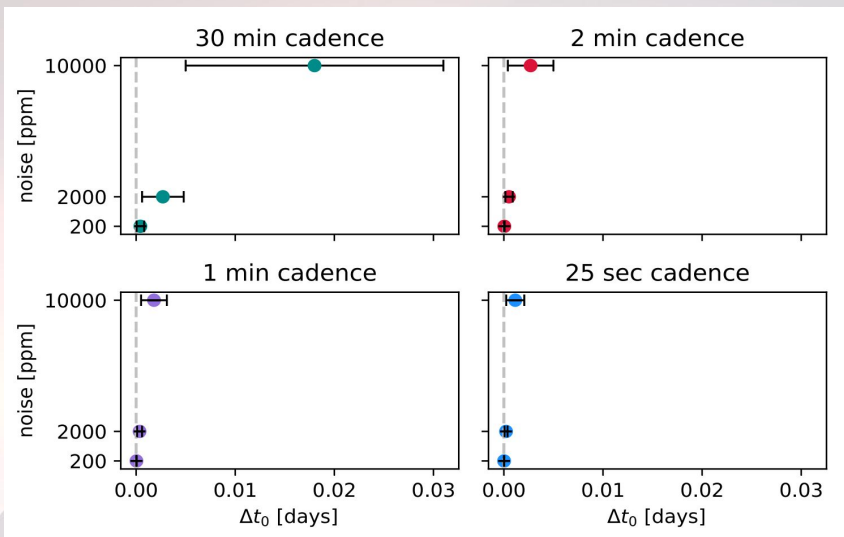
noise [ppm]	cadence			
	30 minutes	2 minutes	1 minute	25 seconds
10000	0.5 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %
2000	0.3 %	0.1 %	0.1 %	0.07 %
200	0.2 %	0.04 %	0.04 %	0.08 %

Inclination



Měření vs. přesnost určení parametrů

- Exoplaneta: $P=2.5$ d, $R_p=1 R_J$ ($0.1004 R_S$), $a=0.036$ au, $i=88.7^\circ$, $e=0$, $\omega=90^\circ$



Při přesných měřeních není kadence až tak důležitá
Řídká zašumělá data jsou pouze orientační