

Periodová analýza v kostce

Marek Skarka

Astronomický ústav AV ČR, Ondřejov
Masarykova univerzita, Brno
skarka@asu.cas.cz

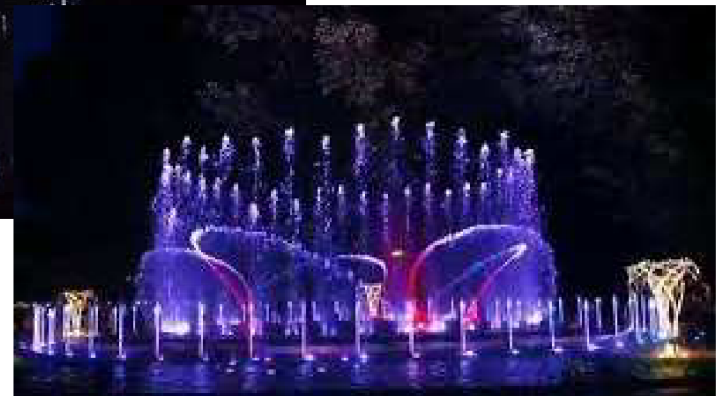
Motivace



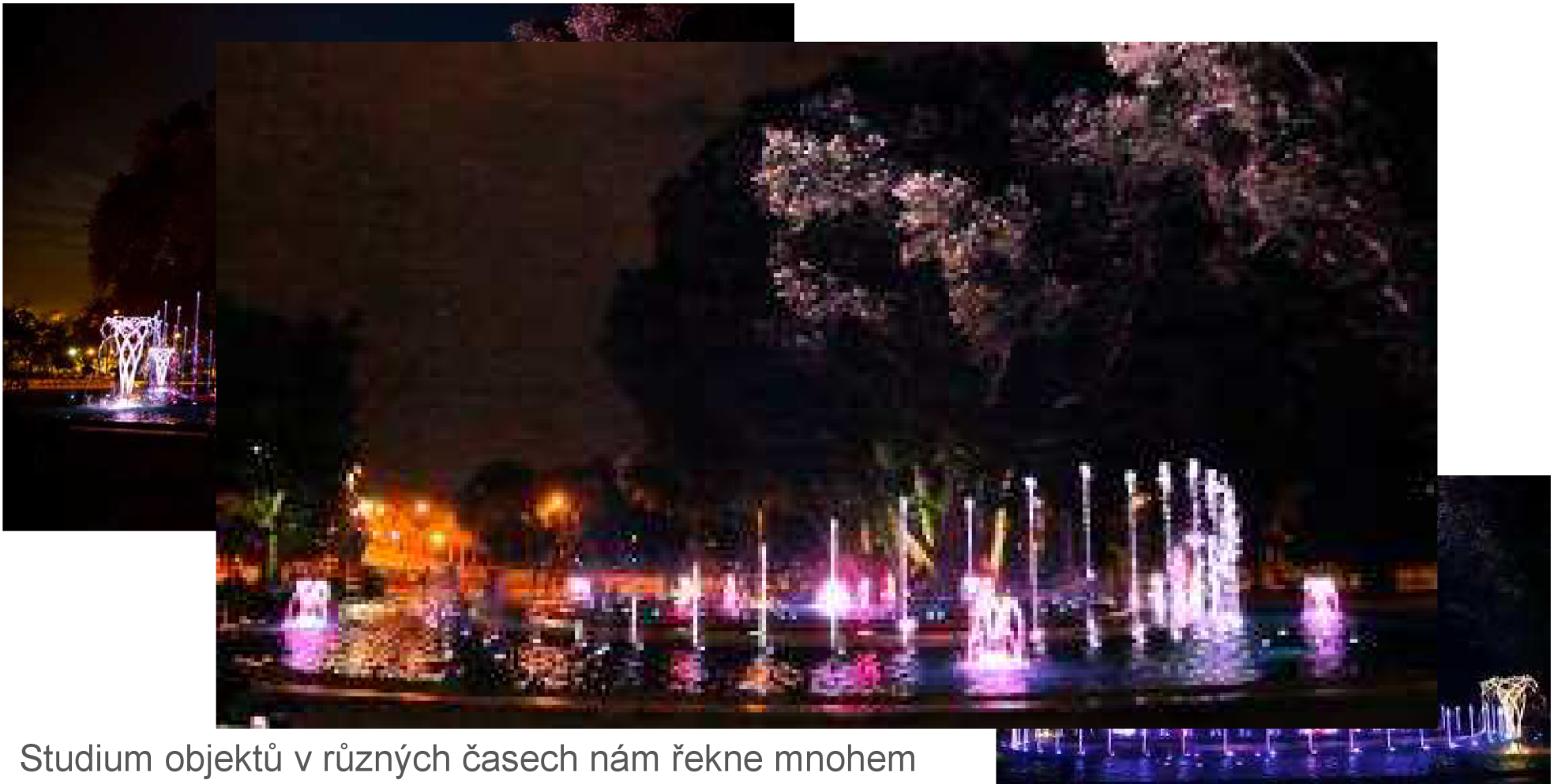
Motivace



Motivace



Motivace



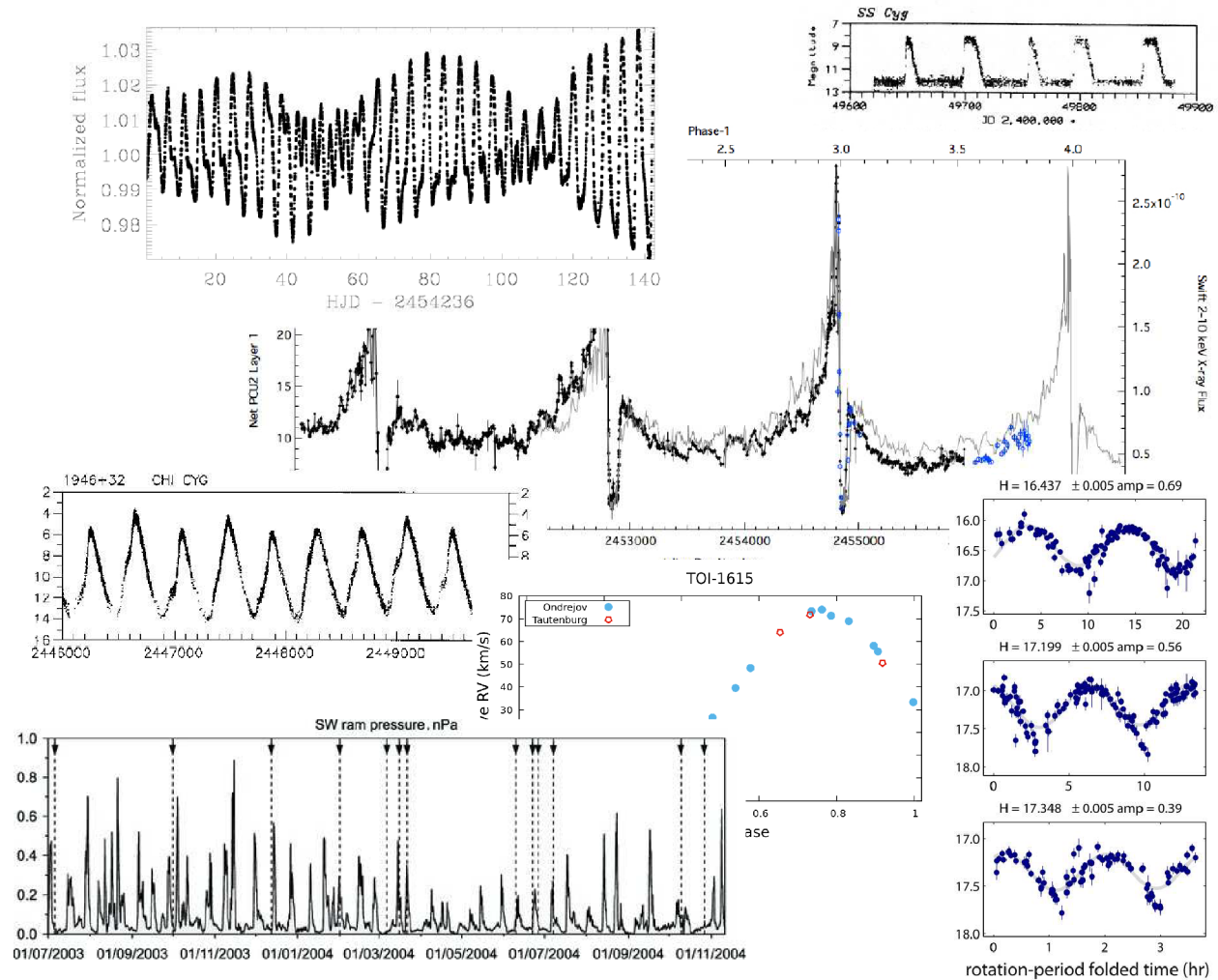
Studium objektů v různých časech nám řekne mnohem více, než jednotlivá pozorování

Motivace

Mnoho astronomických dějů je (kvazi)periodických - rotace, oběh v systému, pulzace, ...

Otázky, které chceme zodpovědět:

- Je můj objekt proměnný?
- Na jaké časové škále je proměnný?
- Jsou změny periodické nebo aperiodické?
- Je objekt jednoduše nebo násobně periodický?
- Jsou změny v různých oblastech spektra provázané?

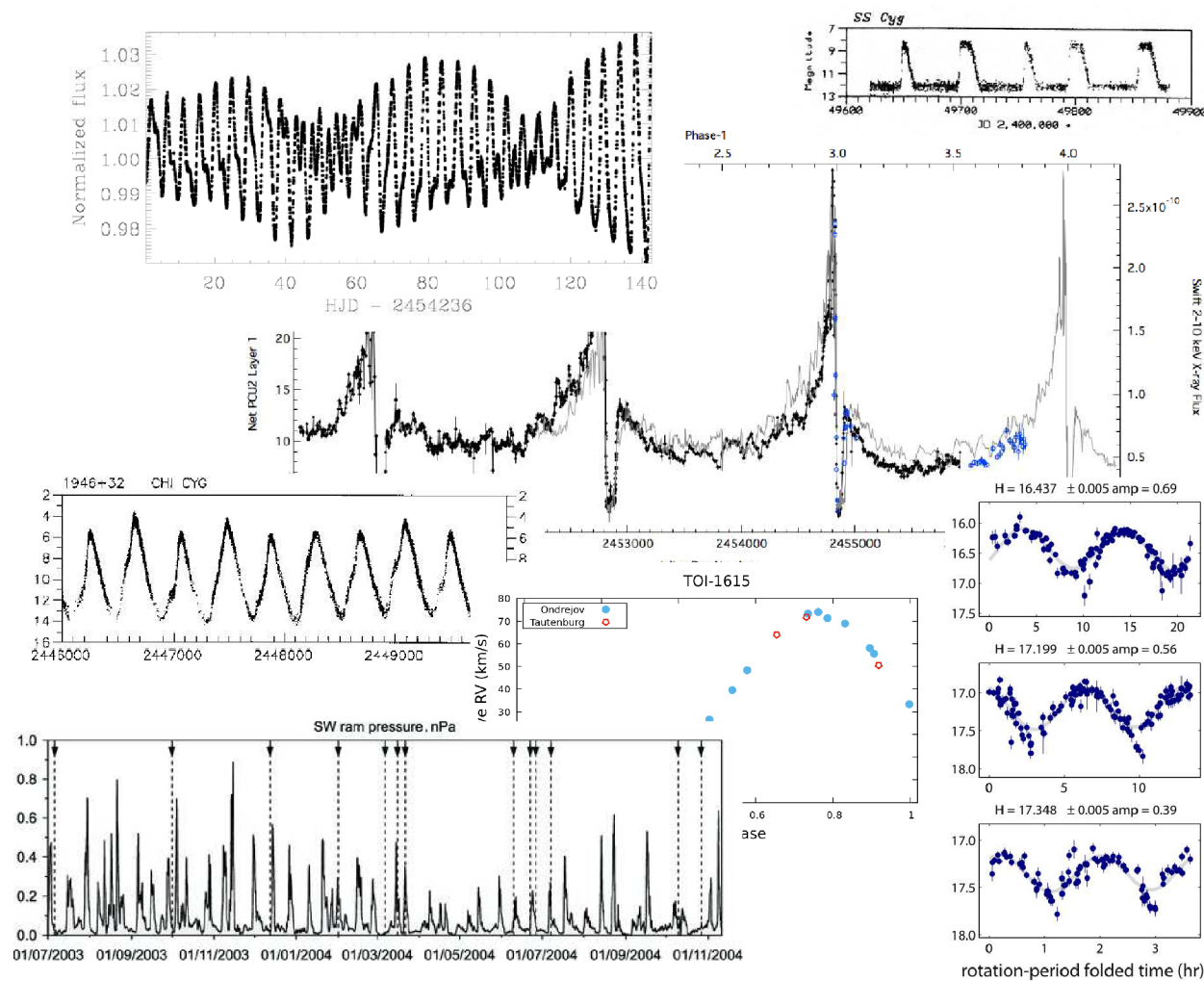


Motivace

Mnoho astronomických dějů je (kvazi)periodických - rotace, oběh v systému, pulzace, ...

Otázky, které chceme zodpovědět:

- Je můj objekt proměnný?
- Na jaké časové škále je proměnný?
- Jsou změny periodické nebo aperiodické?
- Je objekt jednoduše nebo násobně periodický?
- Jsou změny v různých oblastech spektra provázané?
- **Co změny způsobuje? Jak jich mohu využít, abych se dozvěděl něco zajímavého?**
- **Je v datech to, co hledám a co očekávám?**



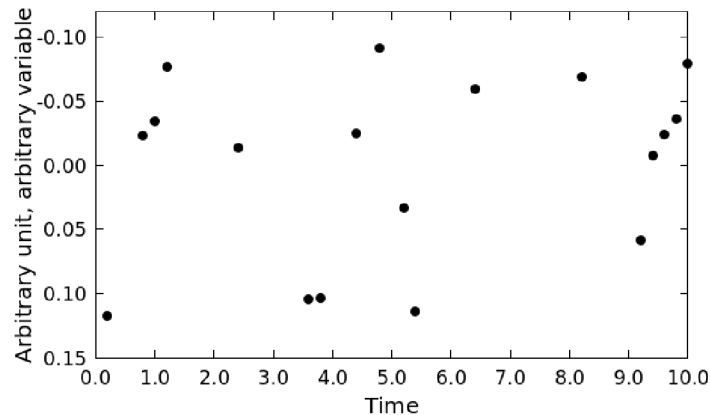
Elementy světelné křivky

Časová řada - soubor uspořádaných dvojic - nezávislá veličina čas
(obvykle JD - pozor! GJDxHJDxBJD, různé časové standardy), závislá veličina je měřená veličina
Periodicita - opakující se vzorec - tvar změn - **fázová křivka**

$$\phi = \frac{t - M_0}{P} - \text{INT} \left(\frac{t - M_0}{P} \right)$$

M_0 - význačný okamžik (většinou okamžik extrému), P - perioda

$$m(t) = 0.0856 * \sin(2 * \pi * 0.5689 * t + 0.599) + 0.0394 * \sin(4 * \pi * 0.5689 * t + 0.6471)$$



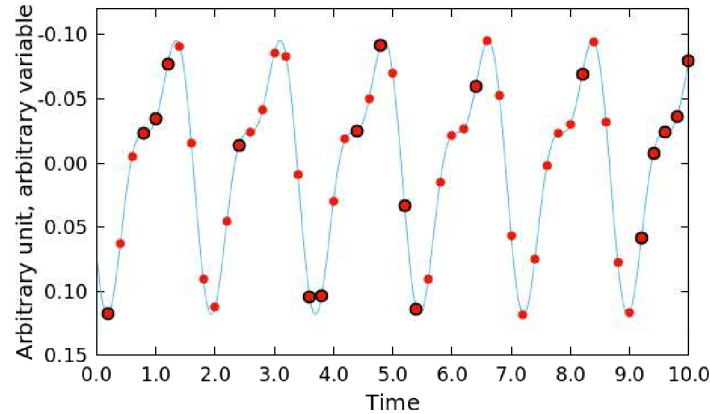
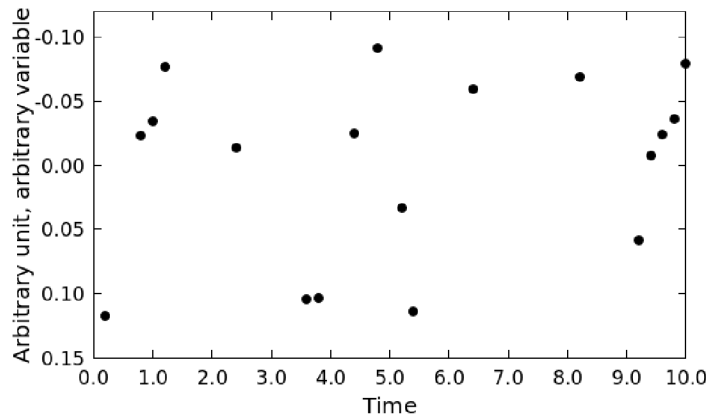
Elementy světelné křivky

Časová řada - soubor uspořádaných dvojic - nezávislá veličina čas
(obvykle JD - pozor! GJDxHJDxBJD, různé časové standardy), závislá veličina je měřená veličina
Periodicita - opakující se vzorec - tvar změn - **fázová křivka**

$$\phi = \frac{t - M_0}{P} - \text{INT} \left(\frac{t - M_0}{P} \right)$$

M_0 - význačný okamžik (většinou okamžik extrému), P - perioda

$$m(t) = 0.0856 * \sin(2 * \pi * 0.5689 * t + 0.599) + 0.0394 * \sin(4 * \pi * 0.5689 * t + 0.6471)$$



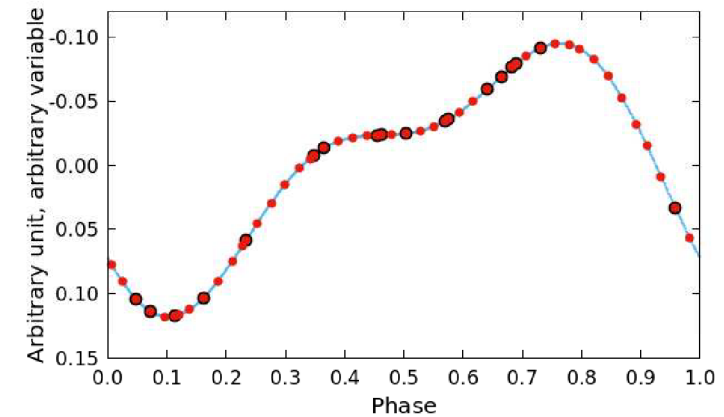
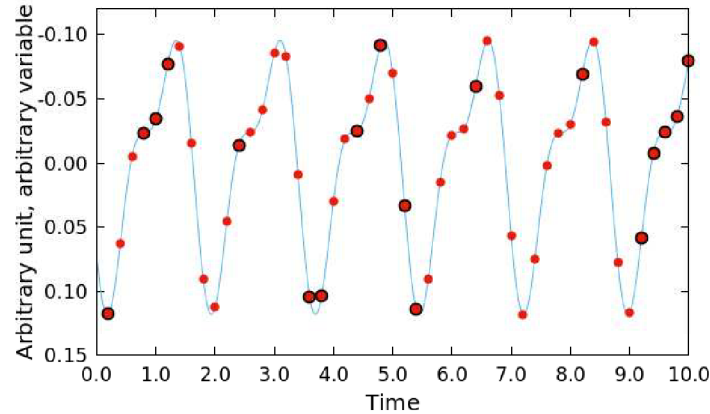
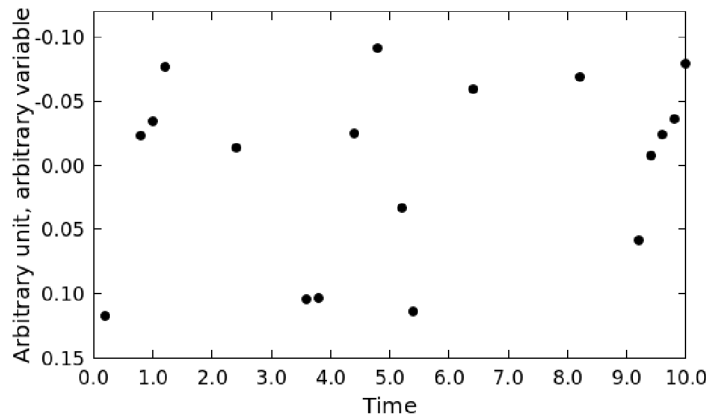
Elementy světelné křivky

Časová řada - soubor uspořádaných dvojic - nezávislá veličina čas (obvykle JD - pozor! GJDxHJDxBJD, různé časové standardy), závislá veličina je měřená veličina
Periodicita - opakující se vzorec - tvar změn - **fázová křivka**

$$\phi = \frac{t - M_0}{P} - \text{INT} \left(\frac{t - M_0}{P} \right)$$

M_0 - význačný okamžik (většinou okamžik extrému), P - perioda

$$m(t) = 0.0856 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 0.5689 \cdot t + 0.599) + 0.0394 \cdot \sin(4 \cdot \pi \cdot 0.5689 \cdot t + 0.6471)$$



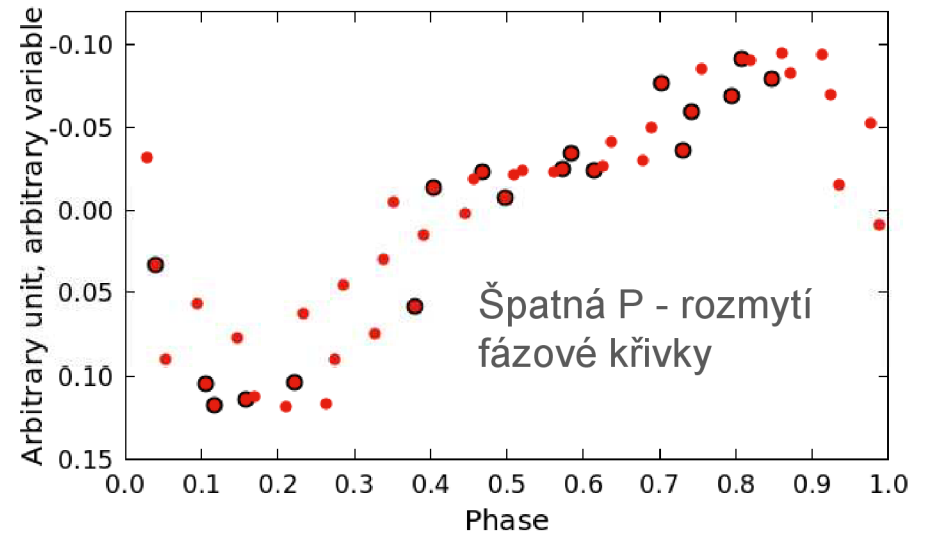
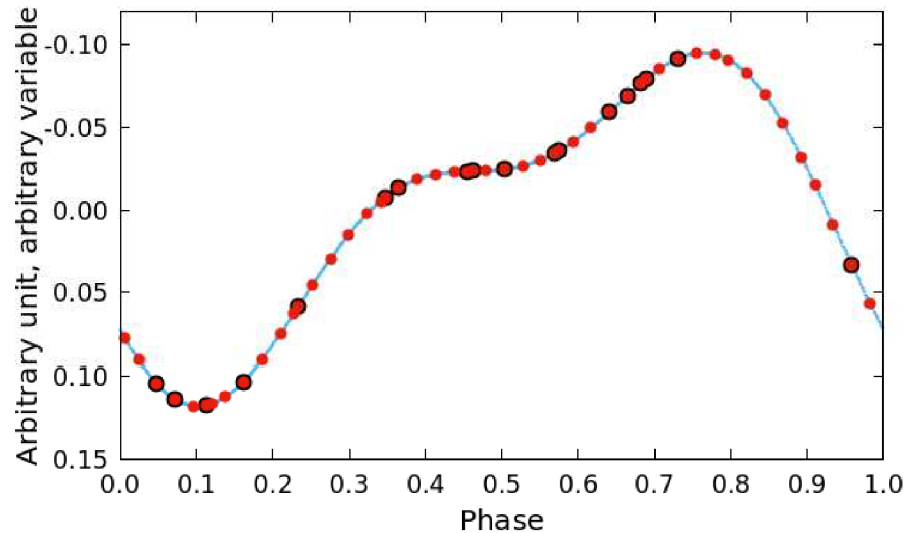
Elementy světelné křivky

Časová řada - soubor uspořádaných dvojic - nezávislá veličina čas (obvykle JD - pozor! GJDxHJDxBJD, různé časové standardy), závislá veličina je měřená veličina
Periodicita - opakující se vzorec - tvar změn - **fázová křivka**

$$\phi = \frac{t - M_0}{P} - \text{INT} \left(\frac{t - M_0}{P} \right)$$

M_0 - význačný okamžik (většinou okamžik extrému), P - perioda

$$m(t) = 0.0856 * \sin(2 * \pi * 0.5689 * t + 0.599) + 0.0394 * \sin(4 * \pi * 0.5689 * t + 0.6471)$$



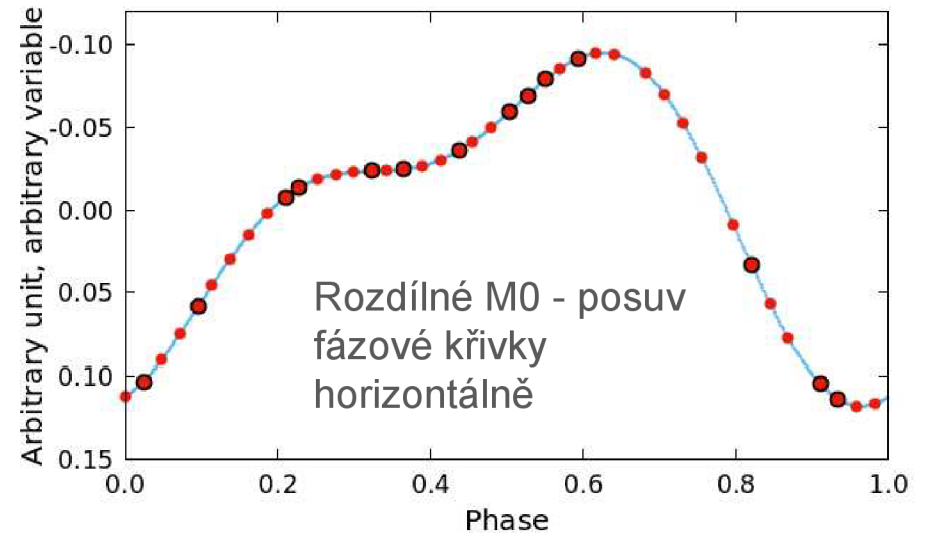
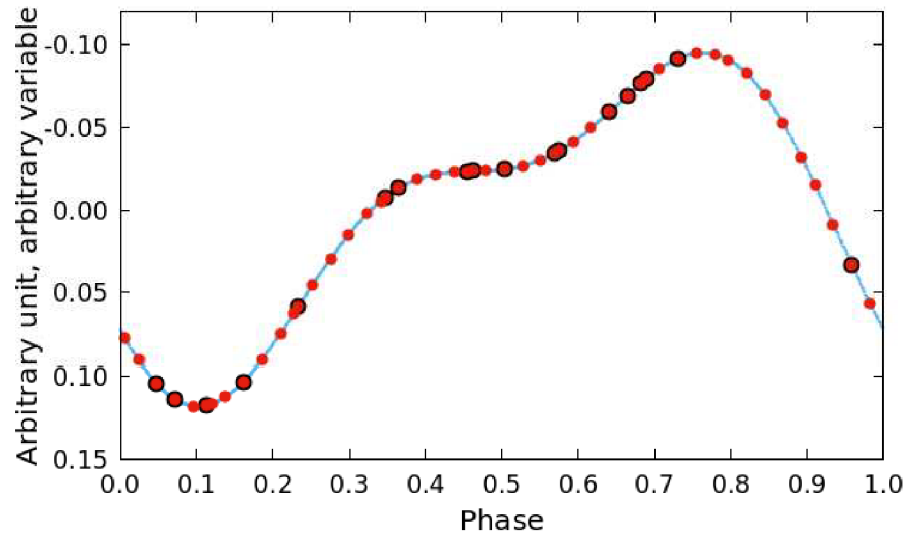
Elementy světelné křivky

Časová řada - soubor uspořádaných dvojic - nezávislá veličina čas
(obvykle JD - pozor! GJDxHJDxBJD, různé časové standardy), závislá veličina je měřená veličina
Periodicita - opakující se vzorec - tvar změn - **fázová křivka**

$$\phi = \frac{t - M_0}{P} - \text{INT} \left(\frac{t - M_0}{P} \right)$$

M_0 - význačný okamžik (většinou okamžik extrému), P - perioda

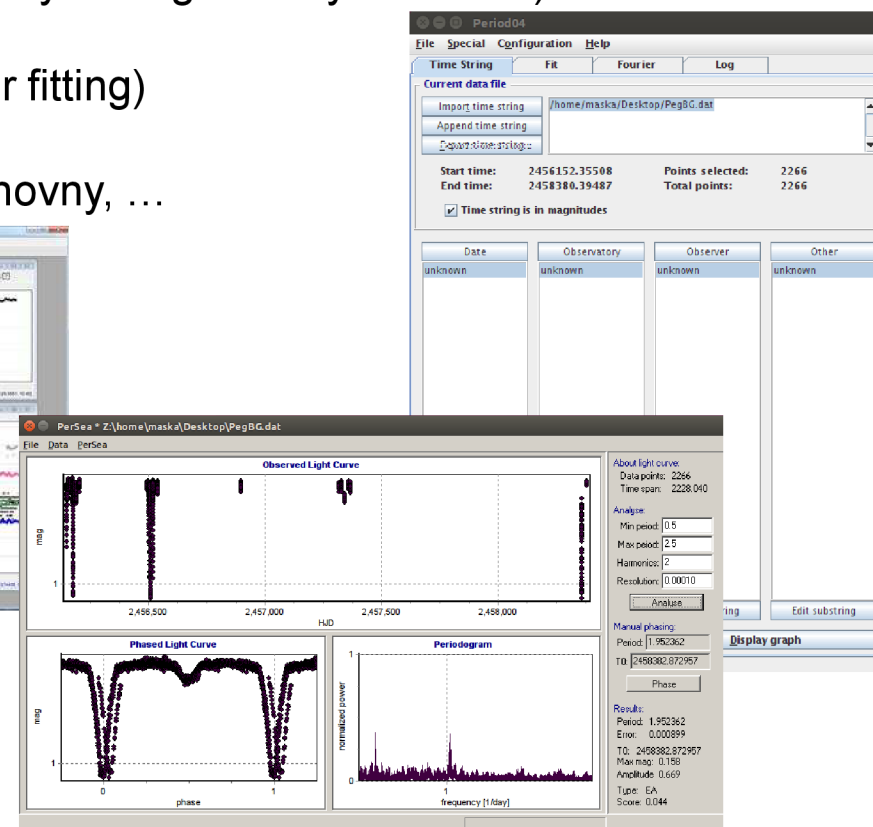
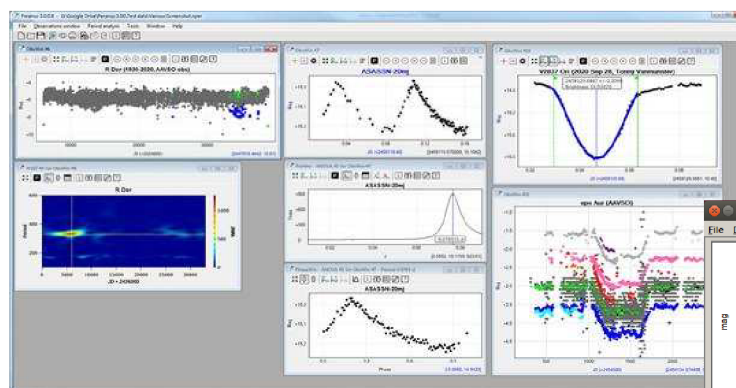
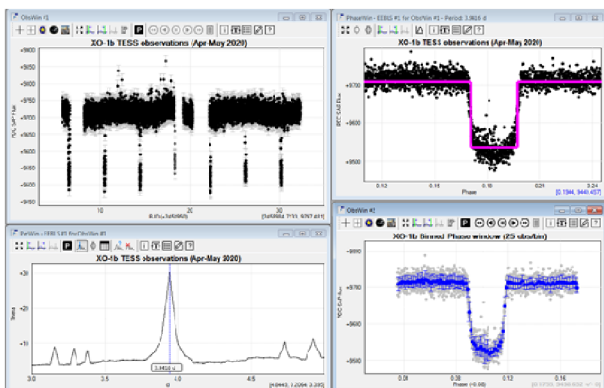
$$m(t) = 0.0856 * \sin(2 * \pi * 0.5689 * t + 0.599) + 0.0394 * \sin(4 * \pi * 0.5689 * t + 0.6471)$$



Metody periodové analýzy

- Fourierovská transformace a popis pomocí goniometrických funkcí (DFT, NUFFT, Lomb-Scargle, Bloomfield, Deeming, Cleanest, wavelet ...). Vhodná pro popis dějů, které mají typicky sinusoidální průběh - pulzace, rotace
- Rozptyl fázové křivky (Jurkevich, Stellingwerf - PDM, Schwaryenberg-Czerny - ANOVA)
- Rozptyl vzdáleností bodů (Lafler-Kinman, Clarke)
- Fenomenologické modelování (Mikulášek, Kovacs - box-car fitting)

Peranso, Period04, Persea, Cepheus, Silicups, Pythonovské knihovny, ...

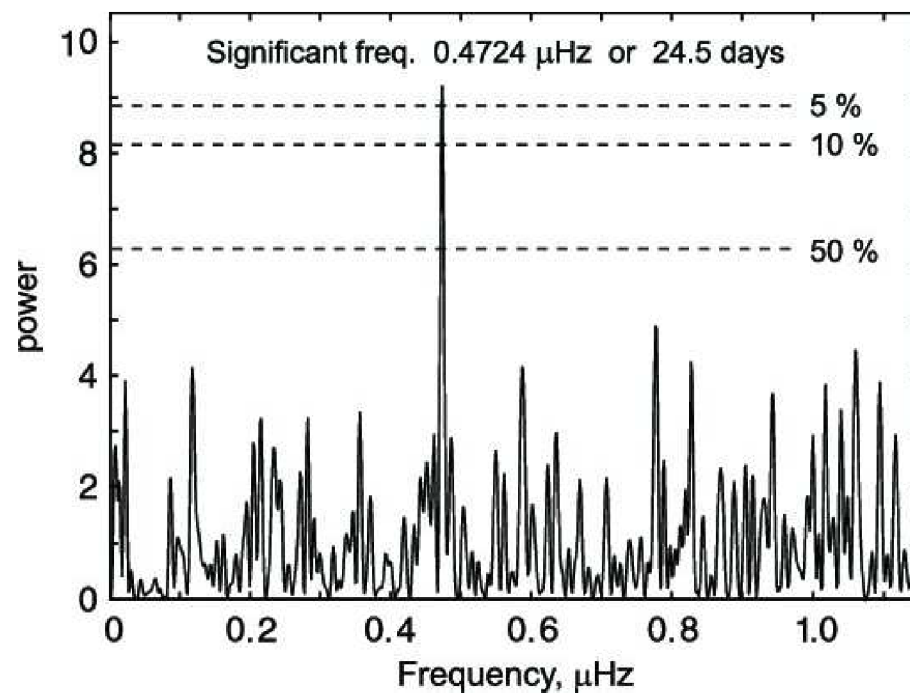
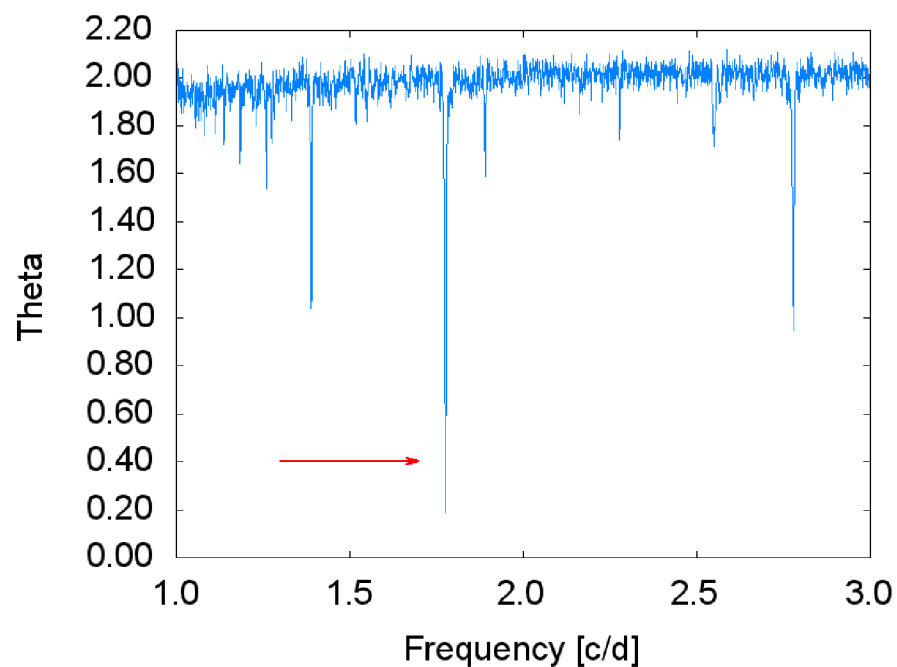


Ne všechny metody se hodí k výzkumu všech typů proměnnosti - ideální je zkombinovat více metod

Periodogram

- Ukazatel signifikance periody - každá metoda jiný parametr, jiný limit pro signifikanci
- False alarm probability $FAP \sim Ne^{-z}$ - z amplituda v Lomb-Scargle periodogramu, N je počet měření, "pravděpodobnost, že je daný pík produkován náhodným šumem"
- SNR kritérium pro FT - signifikantní $SNR > 4$ (Breger 1993),

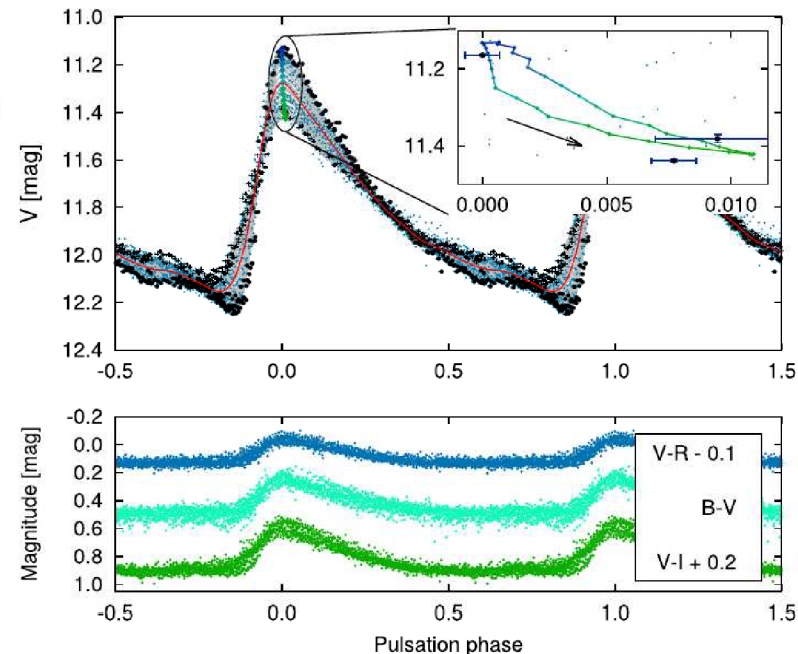
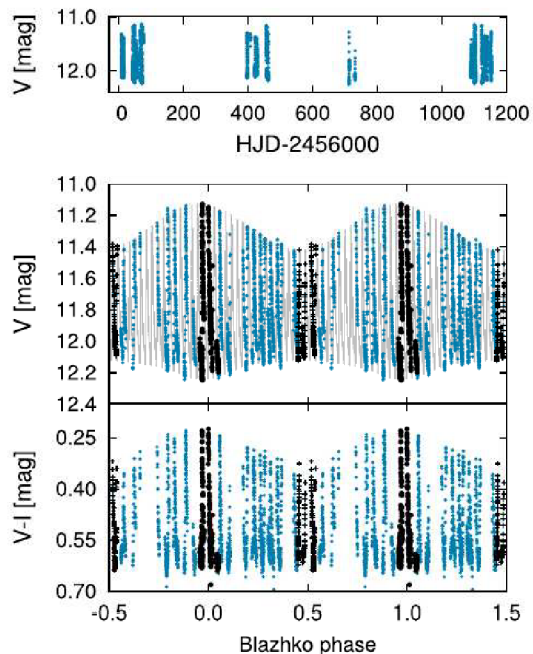
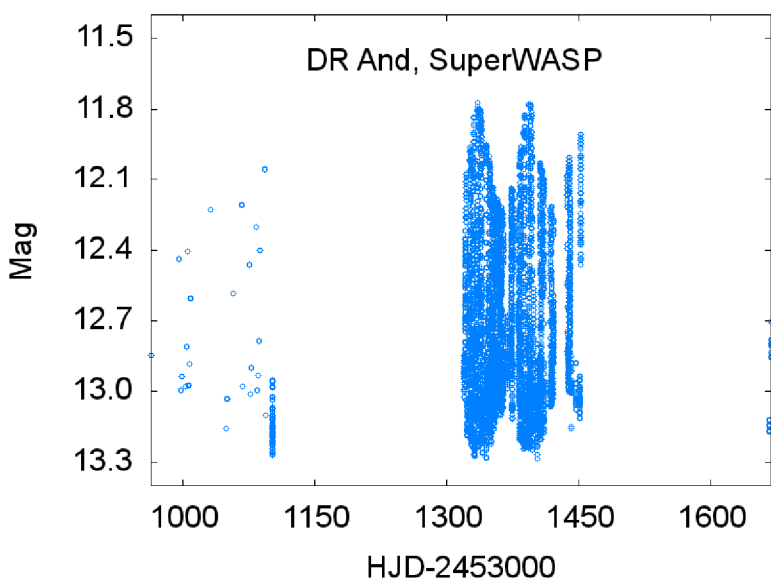
$$\log(FAP) \sim -2.5 + 2.62 * SNR - 0.69 * SNR^2 \text{ (Kushnig 1997)}$$



Specifika astronomických měření

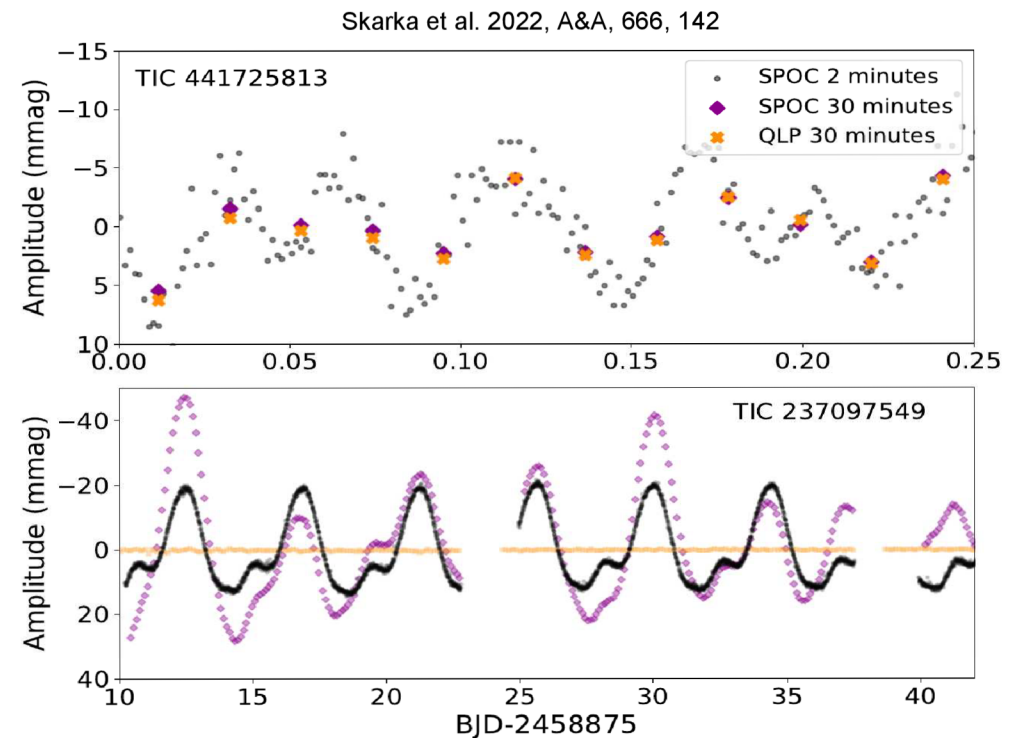
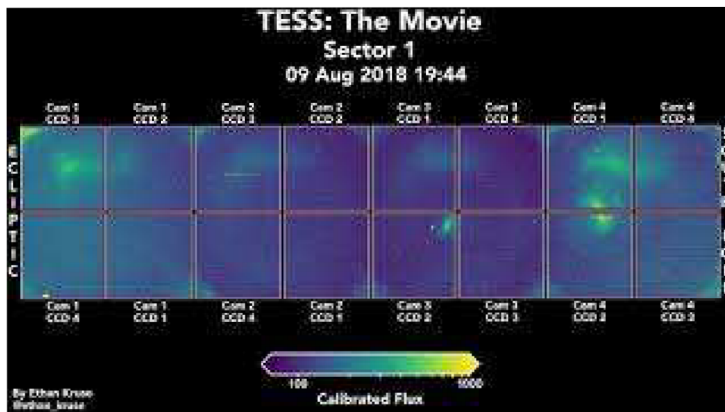
- Nespojitosť
- Časová nesourodosť
 - Neekvidistantní rozložení (stídání den-noc, počasí, možnosti pozorovatele, různá délka expozic, ...)
 - Kvaziperiodické vzorkování (denní, měsíční, roční, ...)
- Kvalitativní nesourodosť
 - Každý bod různou nejistotou
 - Každá noc jiný rozptyl

Skarka et al. 2018, MNRAS, 474, 824



Specifika astronomických měření

- Nespojitosť
- Časová nesourodosť
 - Neekvidistanťní rozložení (stídání den-noc, počasí, možnosti pozorovatele, různá délka expozič, ...)
 - Kvaziperiodické vzorkování (denní, měsíční, roční, ...)
- Kvalitativní nesourodosť
 - Každý bod různou nejistotou
 - Každá noc jiný rozptyl
- Systematické trendy
 - Extinkce
 - Parazitní světlo
 - Časově proměnné osvětlení čipu
 - Redukce dat



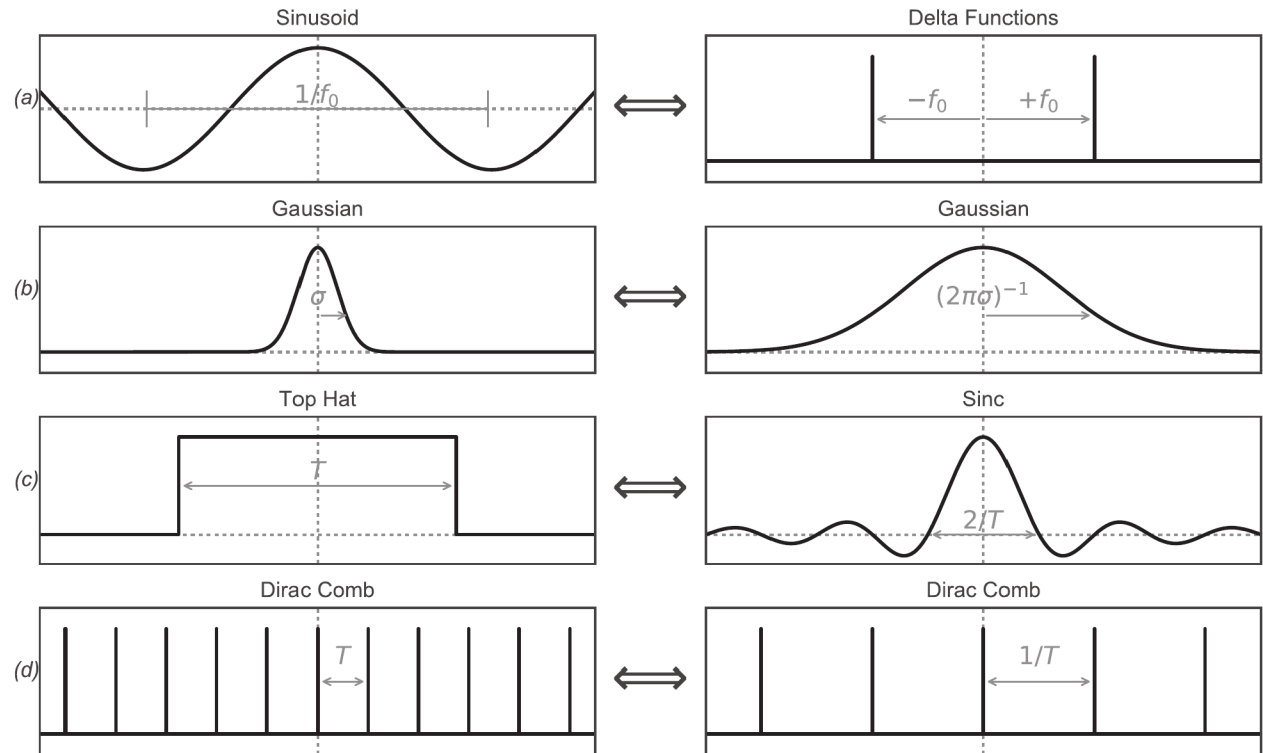
Fourierovský popis dat

Popis dat pomocí goniometrických funkcí

Fourierovská Transformace $\hat{g}(f) \equiv \int_{-\infty}^{\infty} g(t) e^{-2\pi i f t} dt$ Spojitá funkce

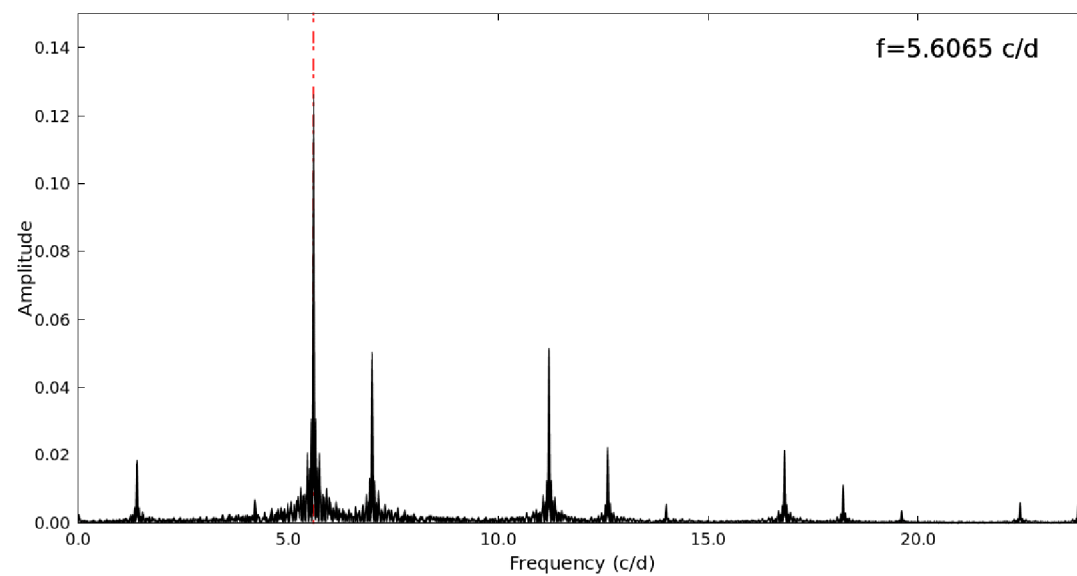
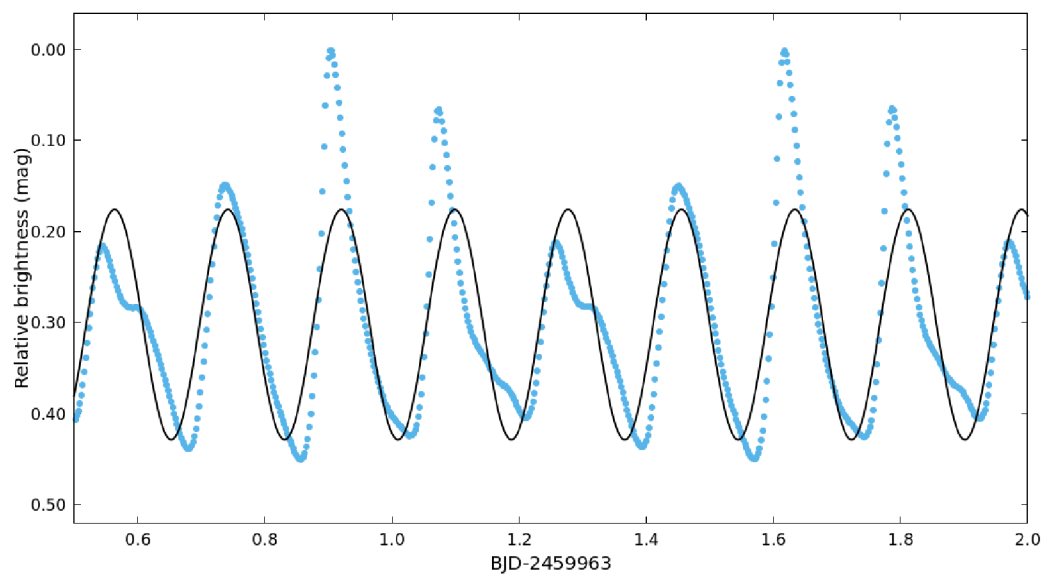
$$g(t) \equiv \int_{-\infty}^{\infty} \hat{g}(f) e^{+2\pi i f t} df$$

Potřeba se vyrovnat s děrami v datech, neekvidistantním vzorkováním a rozdílnou kvalitou dat (DFT, NUFFT)



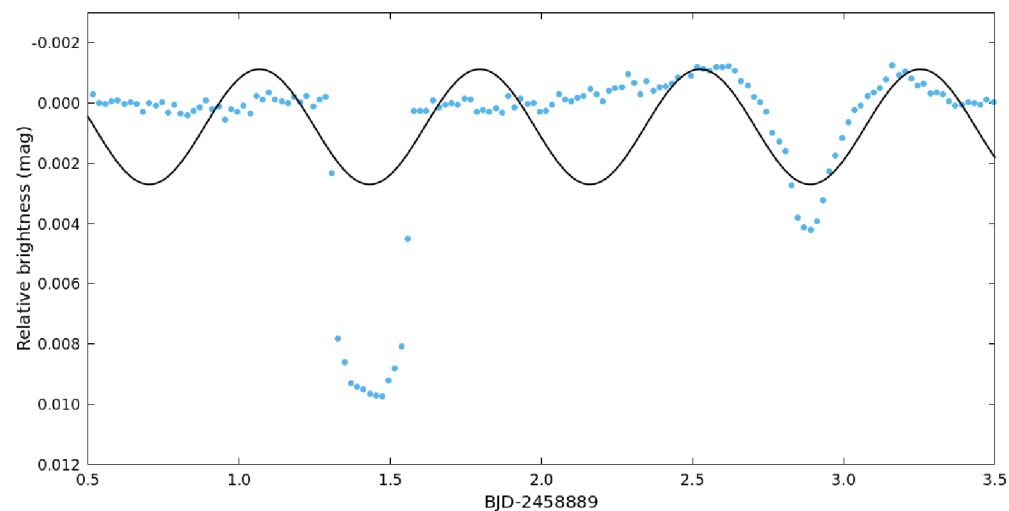
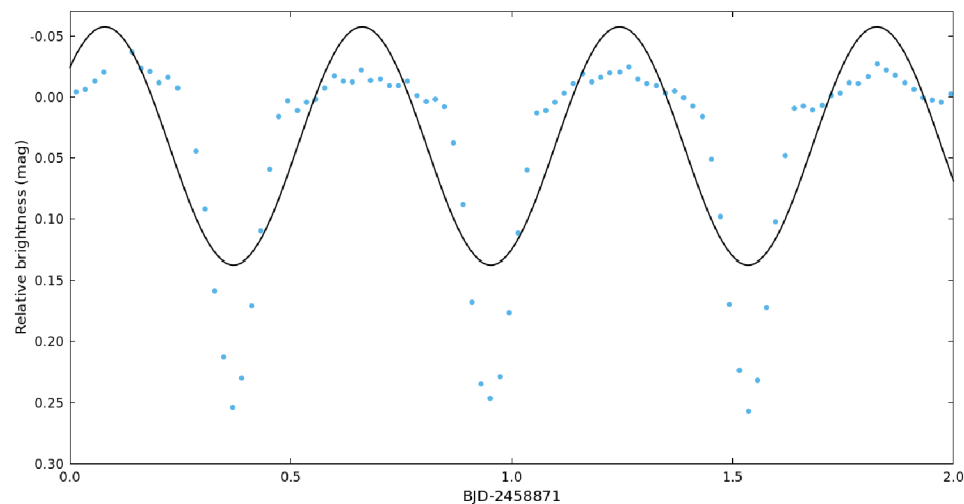
Fourierovský popis dat

Popis dat pomocí goniometrických funkcí



Fourierovský popis dat

Popis dat pomocí goniometrických funkcí



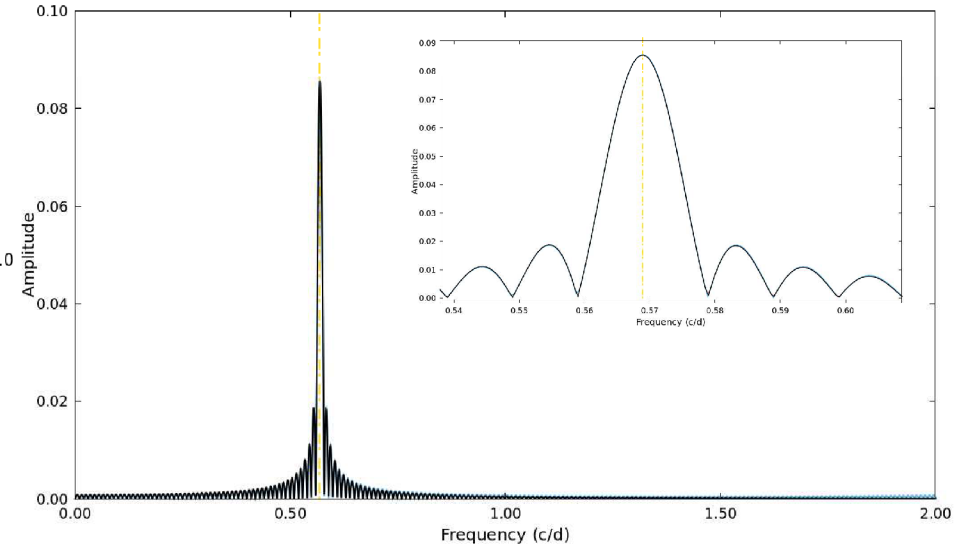
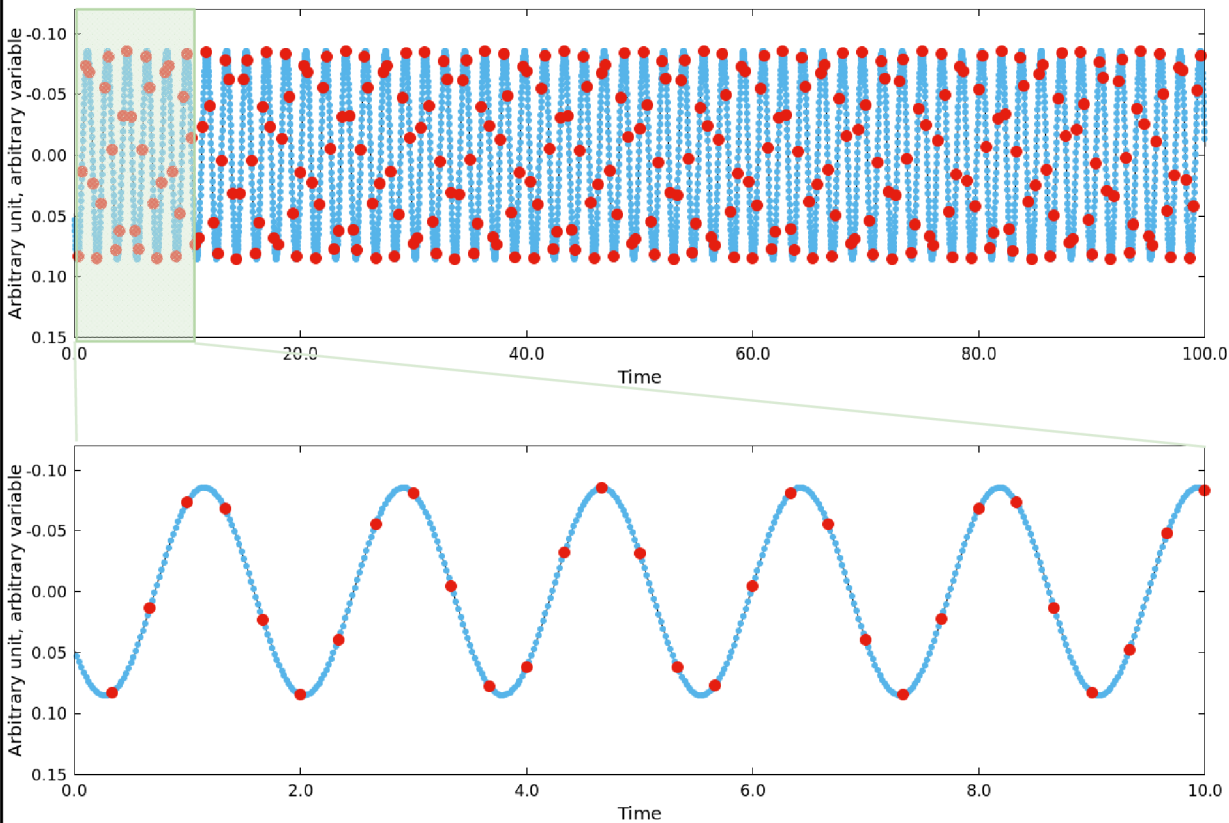
Není vhodné pro popis proměnnosti, kde jsou konstantní úseky
a skokové změny (zákryty, tranzity exoplanet)

Model sinusoidální proměnnosti

$$m(t) = a \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \phi)$$

$f = 0.568913$ c/d $a = 0.0856$ $\phi = 0.599$ rad

Rozsah 100 dní, kadence 8 hodin
(červená), 30 minut (modrá)



Model sinusoidální proměnnosti

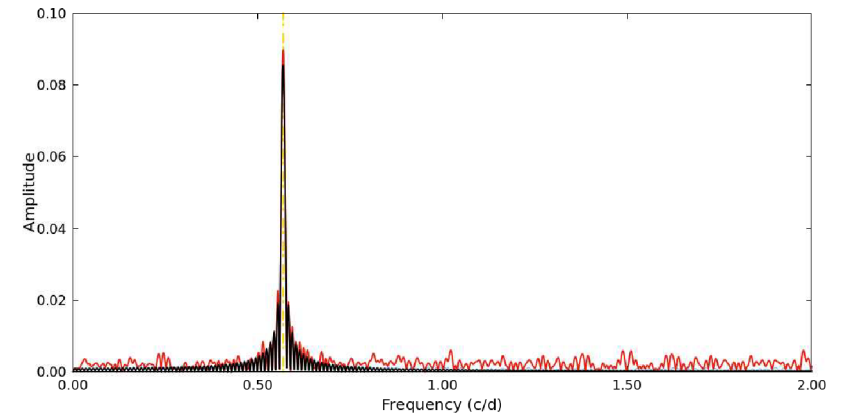
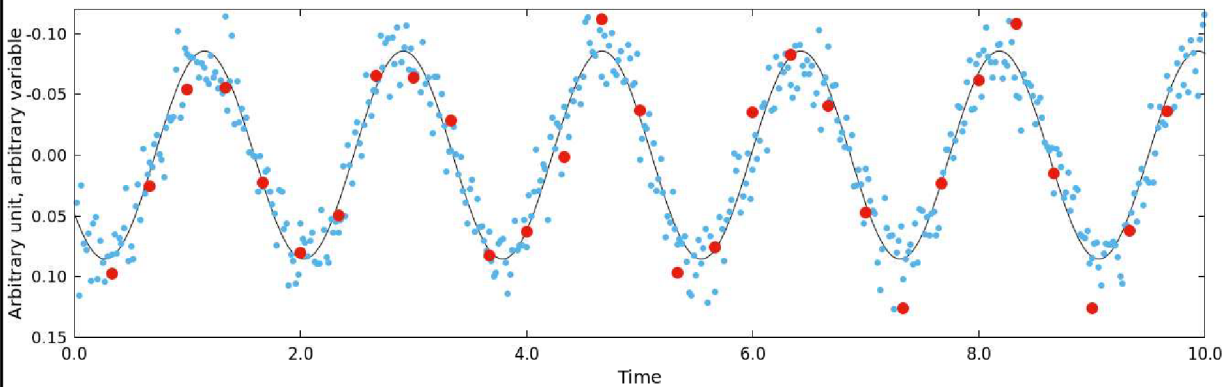
$$m(t) = a \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \phi)$$

$f = 0.568913$ c/d $a = 0.0856$ $\phi = 0.599$ rad

Rozsah 100 dní, kadence 8 hodin (červená), 30 minut (modrá)

Přidáme Gaussovský šum ...

$\sigma = 0.01$



Model sinusoidální proměnnosti

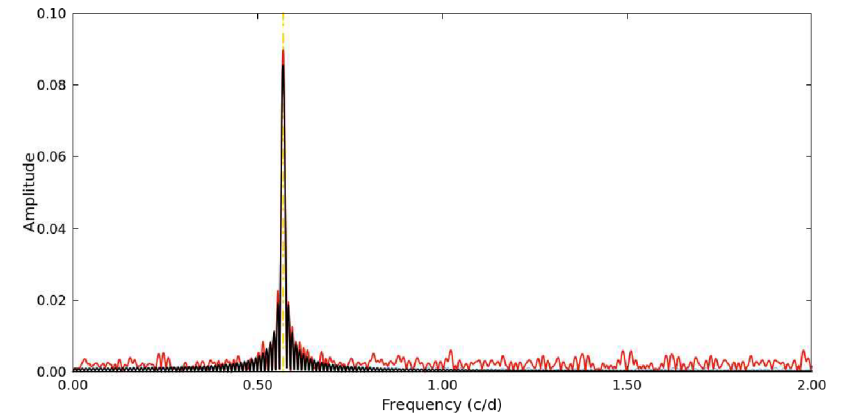
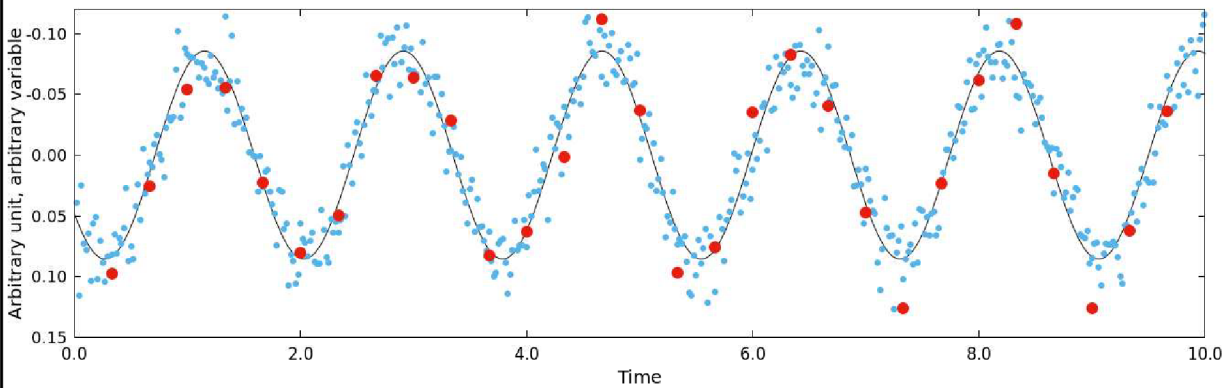
$$m(t) = a \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \phi)$$

$f = 0.568913$ c/d $a = 0.0856$ $\phi = 0.599$ rad

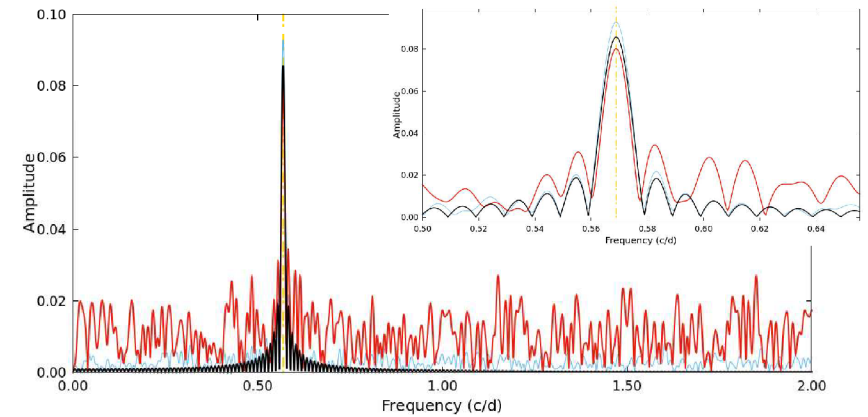
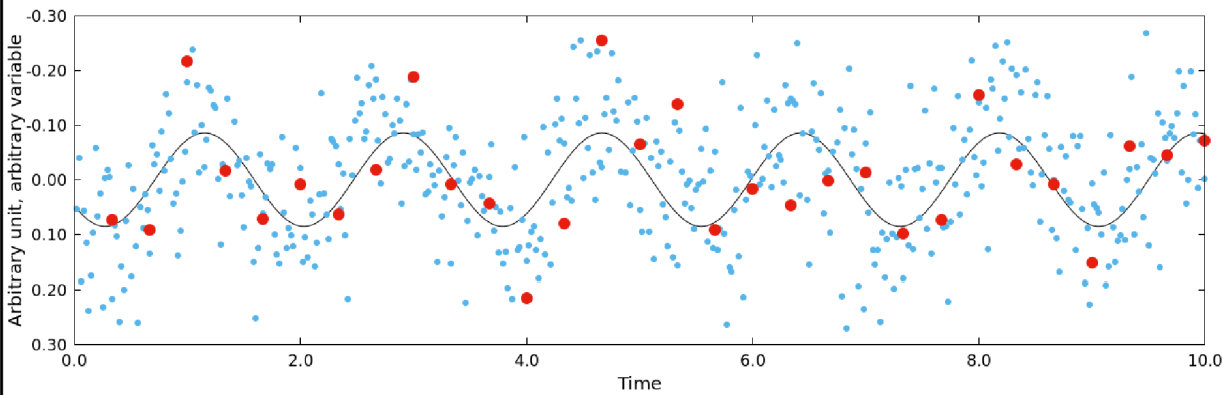
Rozsah 100 dní, kadence 8 hodin (červená), 30 minut (modrá)

Přidáme Gaussovský šum ...

$\sigma = 0.01$



$\sigma = 0.05$

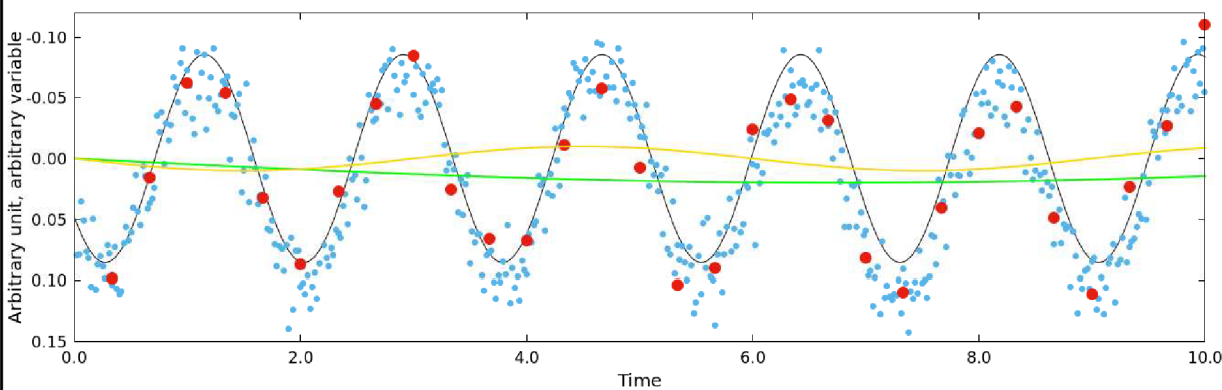
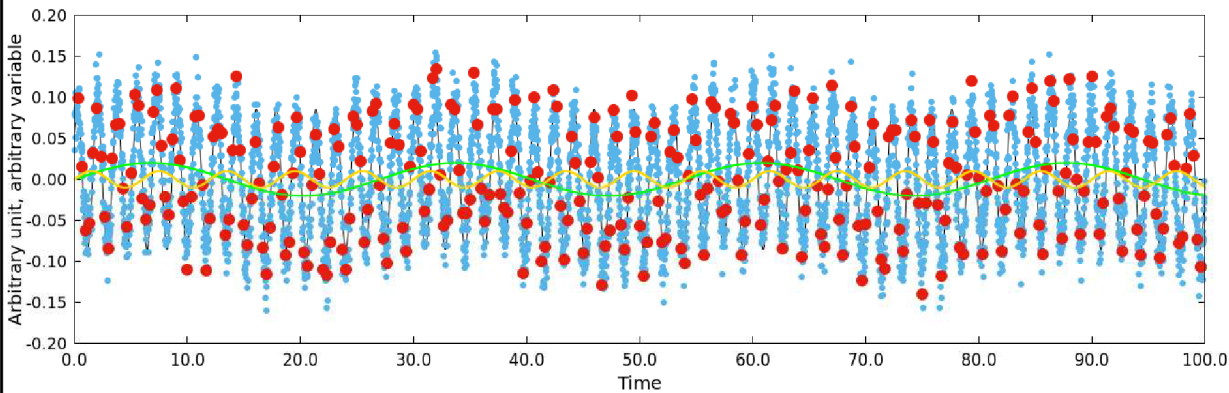


Model sinusoidální proměnnosti

$$m(t) = a \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \phi)$$

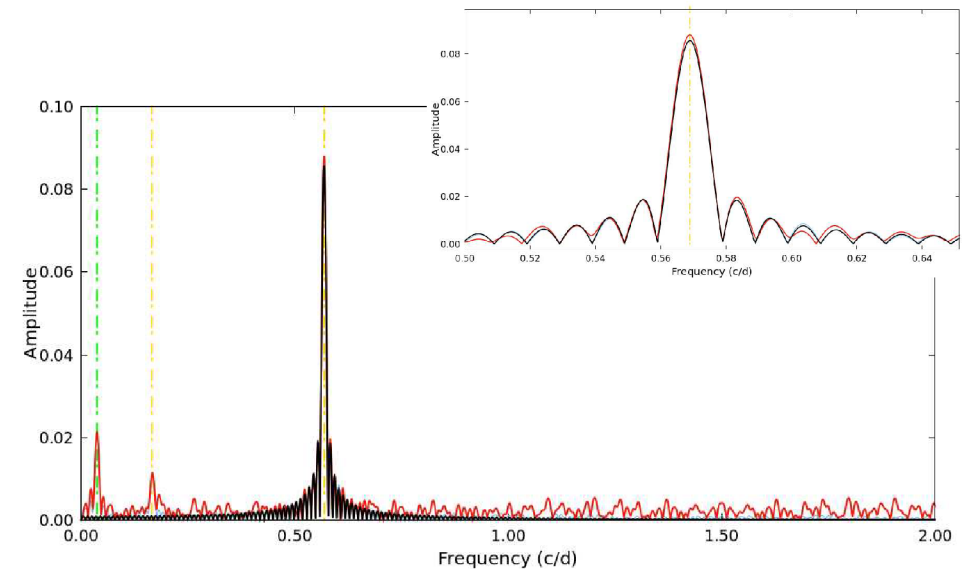
$f = 0.568913 \text{ c/d}$ $a = 0.0856$ $\phi = 0.599 \text{ rad}$

$\sigma = 0.01$



Rozsah 100 dní, kadence 8 hodin (červená), 30 minut (modrá)
Přidáme Gaussovský šum ...

... trendy (cyklické změny 27 a 6 d s
amplitudami 0.01 a 0.005)

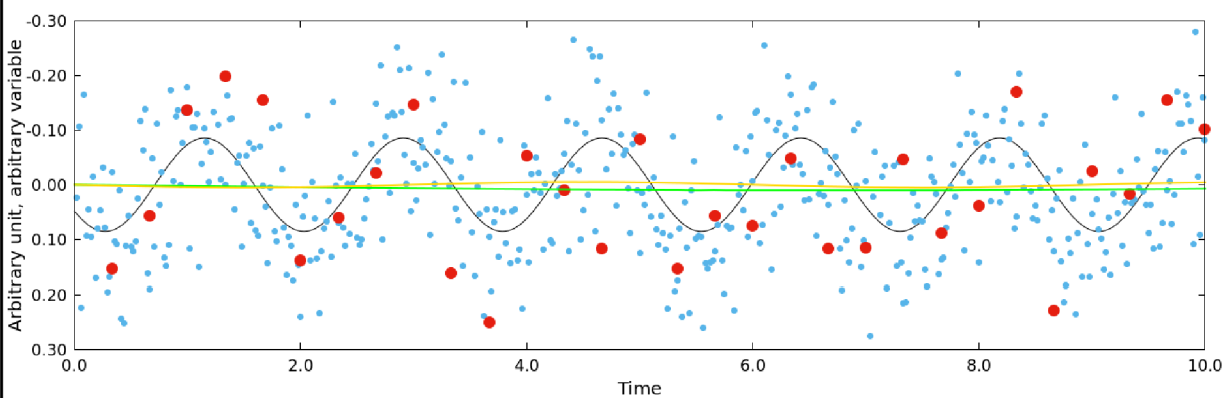
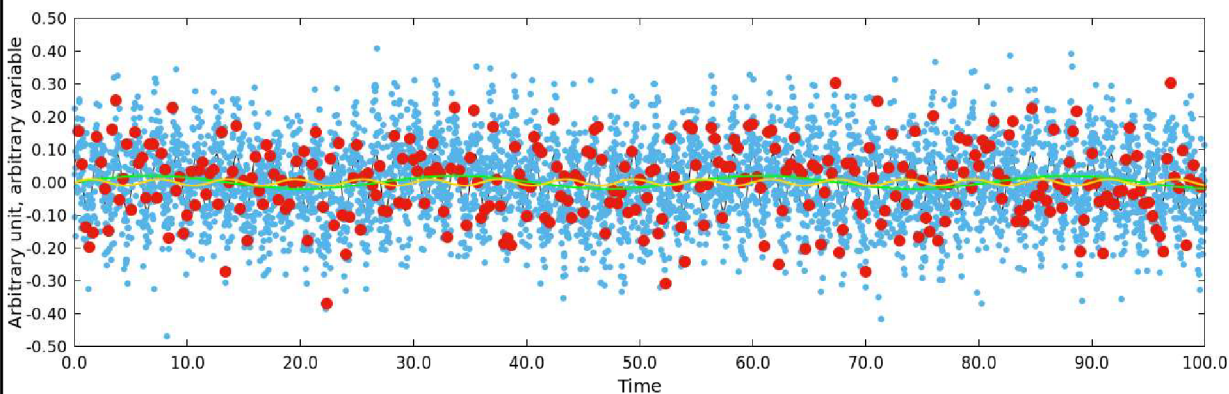


Model sinusoidální proměnnosti

$$m(t) = a \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \phi)$$

$f = 0.568913$ c/d $a = 0.0856$ $\phi = 0.599$ rad

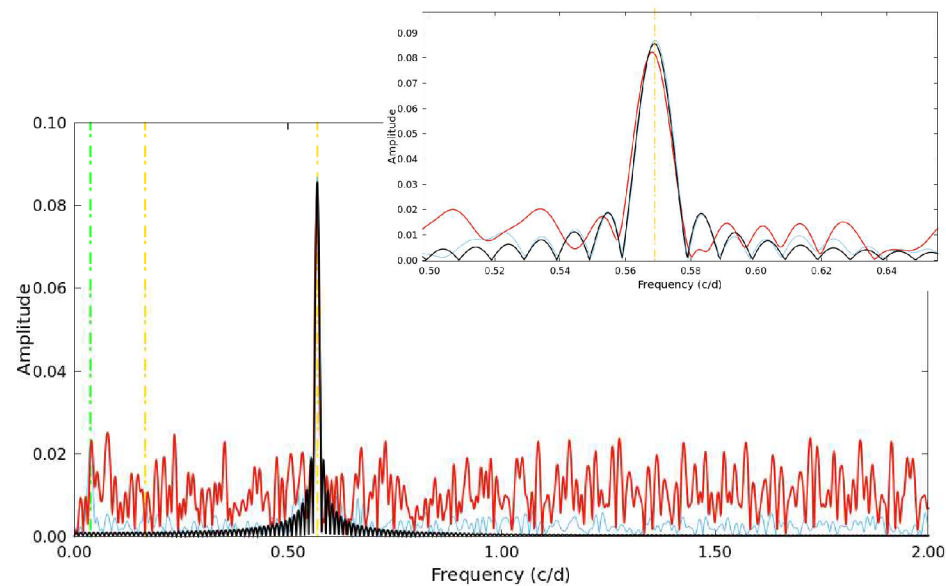
$\sigma = 0.05$



Rozsah 100 dní, kadence 8 hodin (červená), 30 minut (modrá)

Přidáme Gaussovský šum ...

... trendy (cyklické změny 27 a 6 d s amplitudami 0.01 a 0.005)

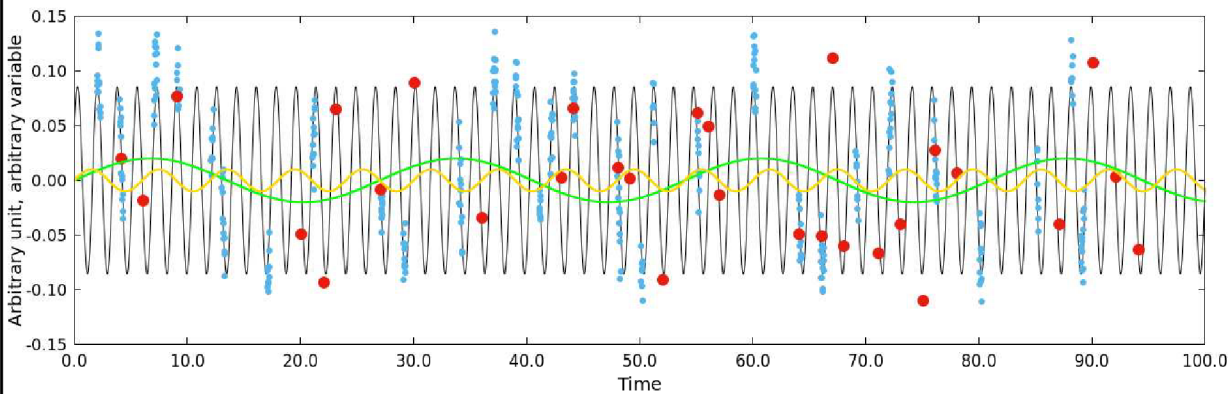


Model sinusoidální proměnnosti

$$m(t) = a \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \phi)$$

$f = 0.568913$ c/d $a = 0.0856$ $\phi = 0.599$ rad

$\sigma = 0.01$

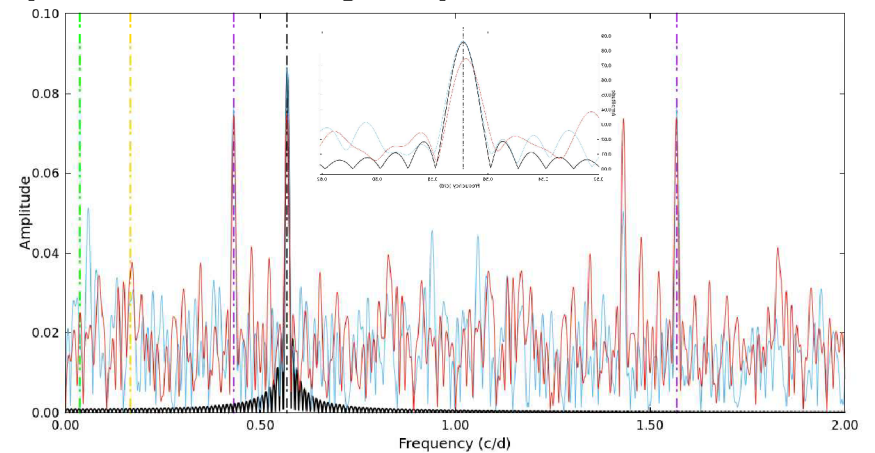


Rozsah 100 dní, kadence 8 hodin (červená), 30 minut (modrá)

Přidáme Gaussovský šum ...

... trendy (cyklické změny 27 a 6 d s amplitudami 0.01 a 0.005)

... přidáme díry v pozorování

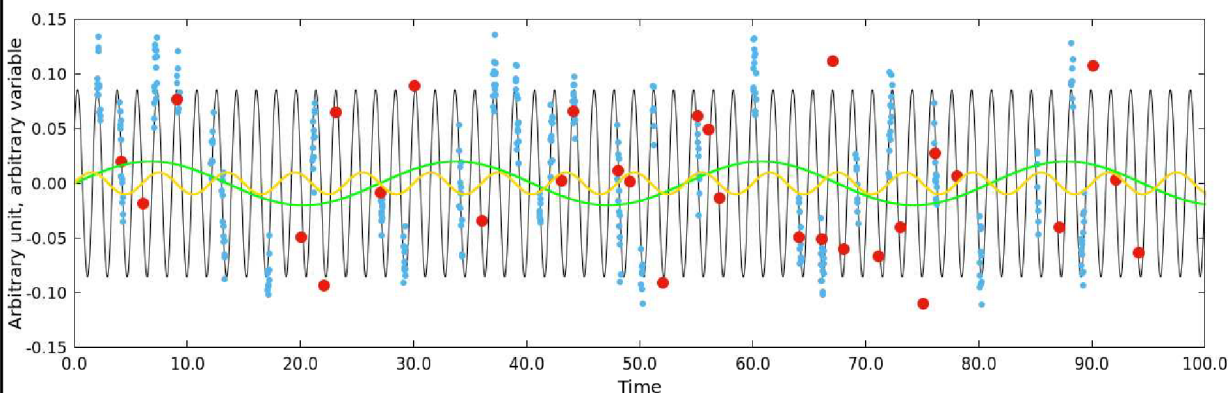


Model sinusoidální proměnnosti

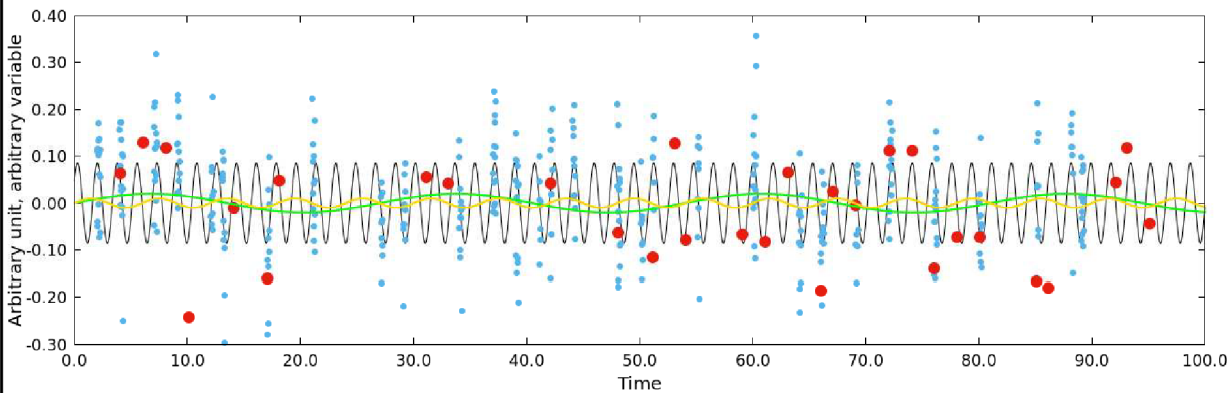
$$m(t) = a \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \phi)$$

$f = 0.568913$ c/d $a = 0.0856$ $\phi = 0.599$ rad

$\sigma = 0.01$



$\sigma = 0.05$

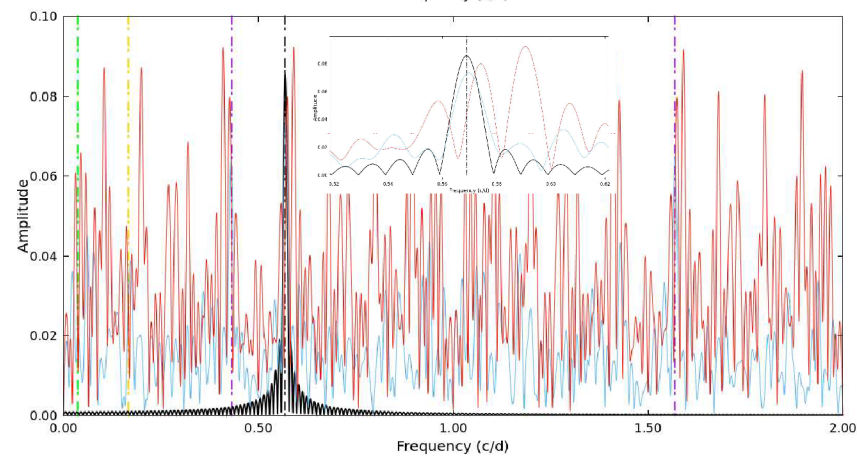
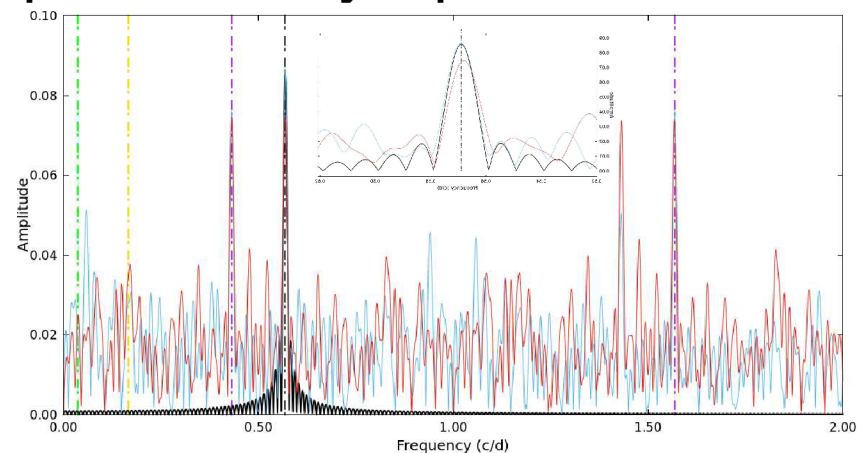


Rozsah 100 dní, kadence 8 hodin (červená), 30 minut (modrá)

Přidáme Gaussovský šum ...

... trendy (cyklické změny 27 a 6 d s amplitudami 0.01 a 0.005)

... přidáme díry v pozorování



Model sinusoidální proměnnosti

<u>Typ dat</u>	<u>df_found (s)</u>	<u>df_fit (s)</u>	<u>poznámka</u>
Cont, 1 min, 0	25	0	
Cont, 30 min, 0	47	0	
Cont, 240 min, 0	33	0	
Cont, 30 min, 0.01	47	10	
Cont, 30 min, 0.05	47	10	
Cont, 240 min, 0.01	102	44	
Cont, 240 min, 0.05	33	13	
<u>Sys, 30 min, 0.01</u>	47	2	
<u>Sys, 30 min, 0.05</u>	86	61	
<u>Sys, 240 min, 0.01</u>	33	17	alias vyssi
<u>Sys, 240 min, 0.05</u>	167	197	alias vyssi
<u>Int+Sys, 30 noci, 30 min, 0.01</u>	40	46	
<u>Int+Sys, 30 noci, 30 min, 0.05</u>	265	288	
<u>Int+Sys, 30 noci, 180 min, 0.01</u>	329	140	
<u>Int+Sys, 30 noci, 180 min, 0.05</u>	1630	1630	nedetekce

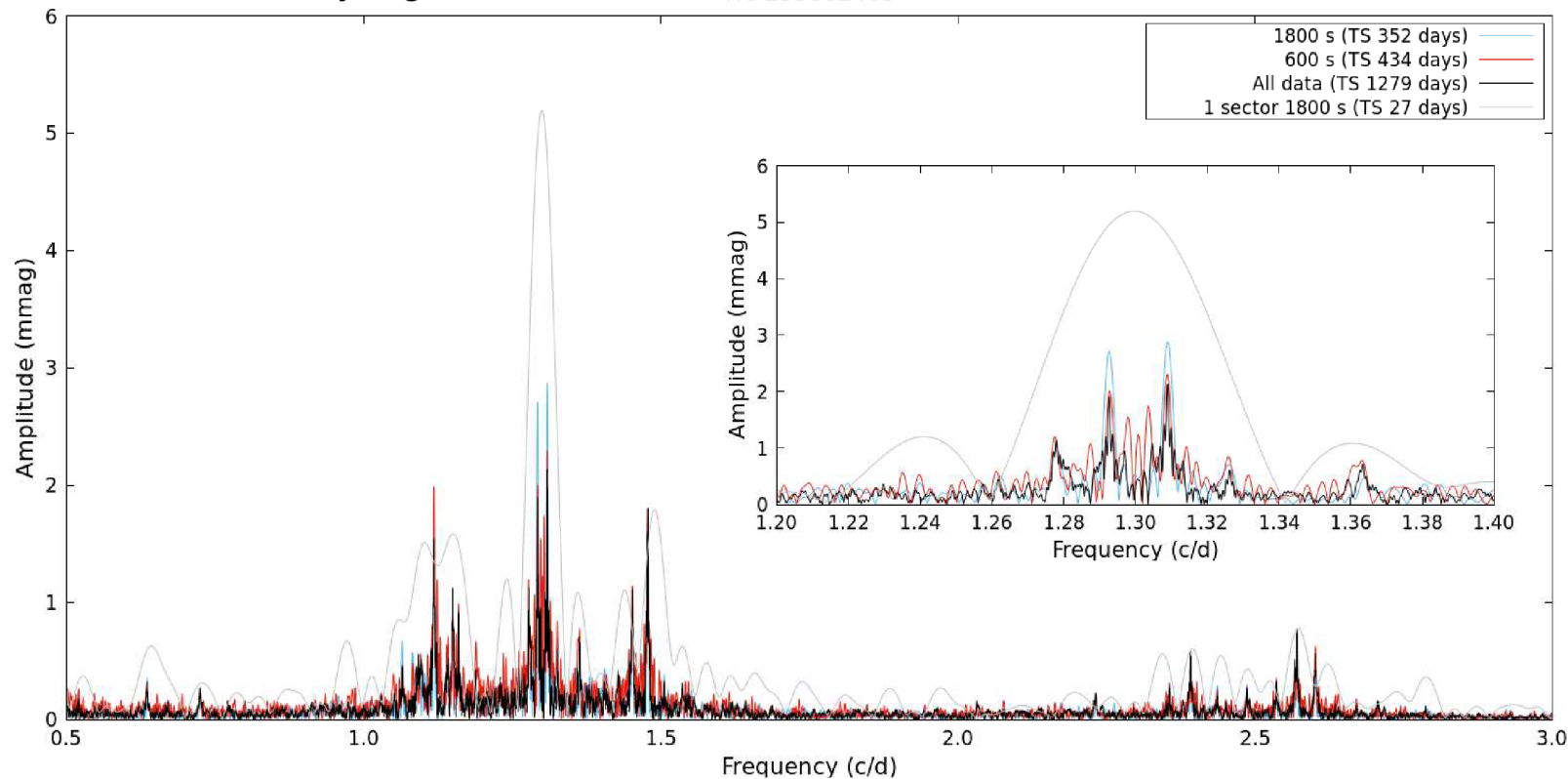
Věrohodnost a reálnost detekované periodicity silně závisí na kvalitě a kontinuitě dat

Časový rozsah dat

Časový rozsah dat - délka měření. Definuje přesnost určení periody, nejdelší detekovatelnou periodu (nejnižší detekovatelnou frekvenci) - alespoň dva cykly v daném rozsahu (efektivně lze i cca 1.5 cyklu), nejbližší rozlišitelné frekvence

$$\Delta\nu = \frac{2}{TS}$$

Rayleighovo kritérium TIC 235682463

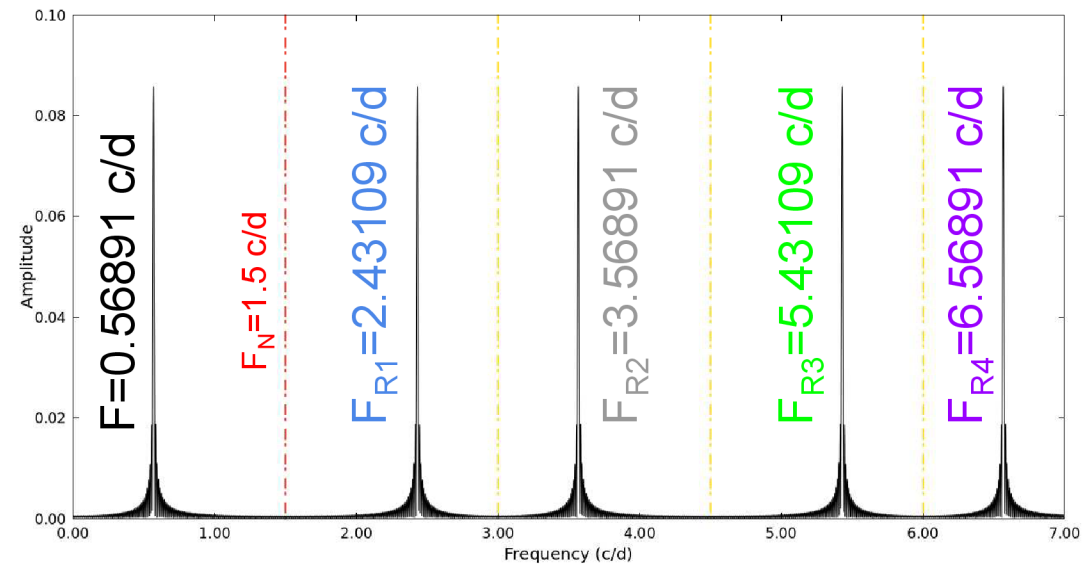
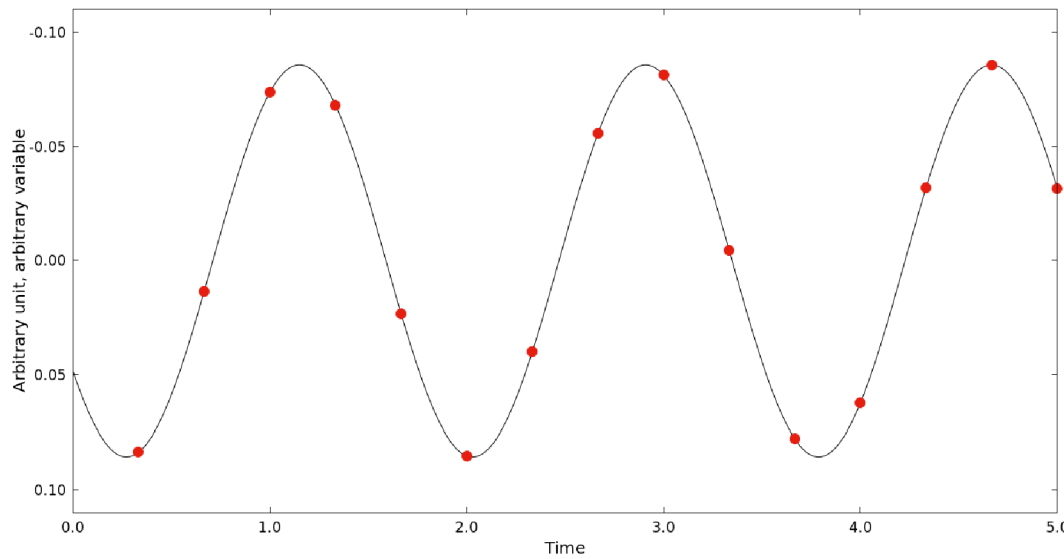


Nyquistova frekvence

Vzorkovací frekvence (f_{Samp}) - frekvence, s jakou je objekt snímán. Definuje nejvyšší možnou detekovatelnou frekvenci v souboru dat - tzv. **Nyquist frequency**

$$\nu_{\max} = \frac{f_{\text{Samp}}}{2} = \frac{1}{2\Delta t}$$

- Pravidelné vzorkování produkuje tzv. Nyquist odrazy reálných frekvencí (vesmírná data)



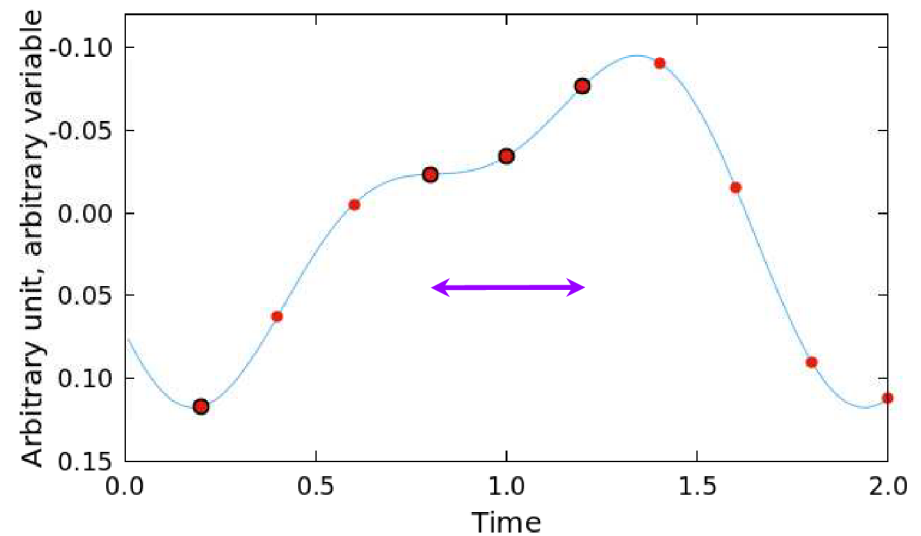
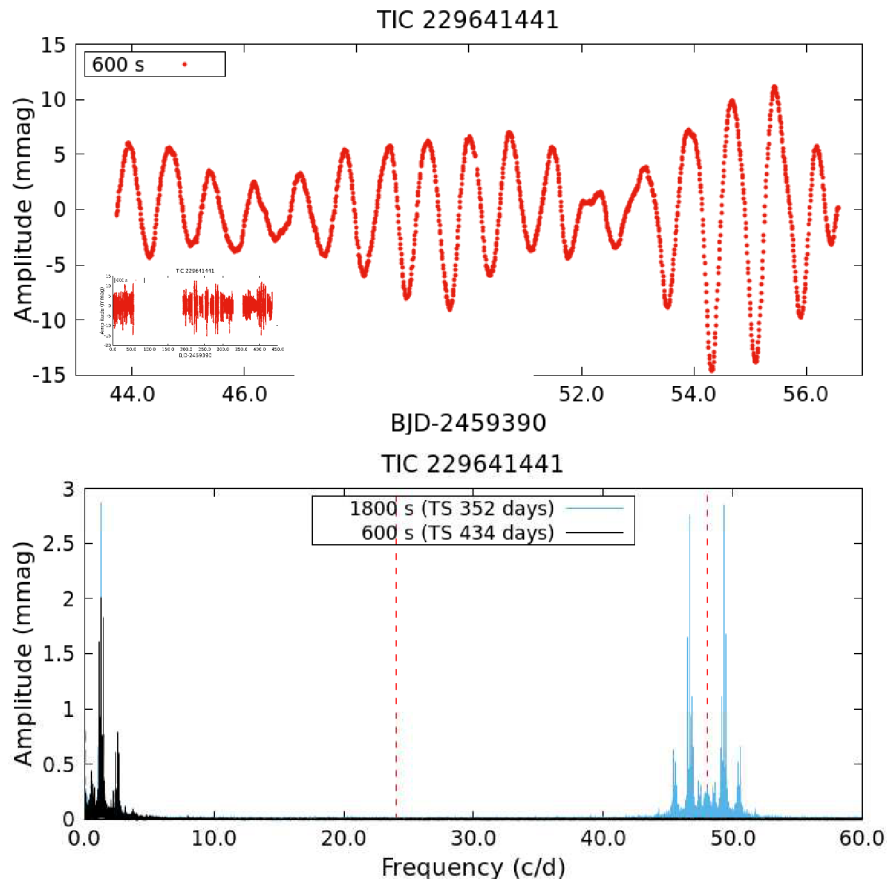
V případě velmi nízkého šumu a přísně periodického vzorkování není možné rozhodnout o relevanci konkrétní frekvence - komplikace u vesmírných dat

Nyquistova frekvence

Vzorkovací frekvence (f_{samp}) - frekvence, s jakou je objekt snímán. Definuje nejvyšší možnou detekovatelnou frekvenci v souboru dat - tzv. Nyquist frequency

$$\nu_{\text{max}} = \frac{f_{\text{samp}}}{2} = \frac{1}{2\Delta t}$$

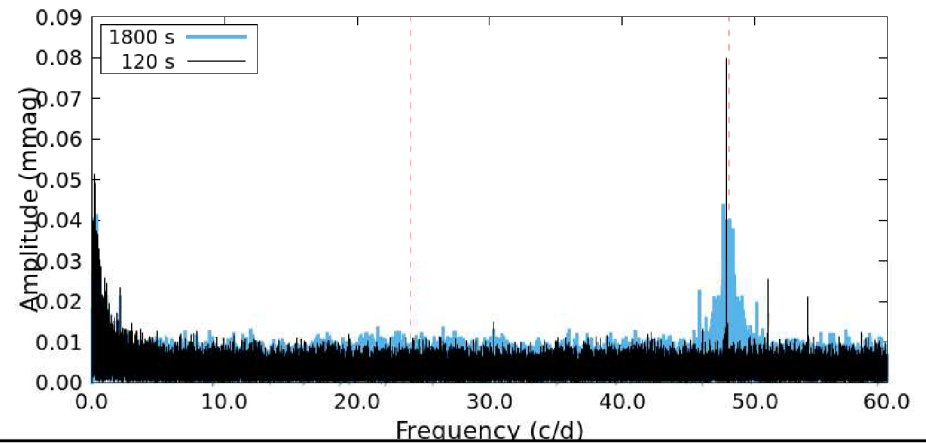
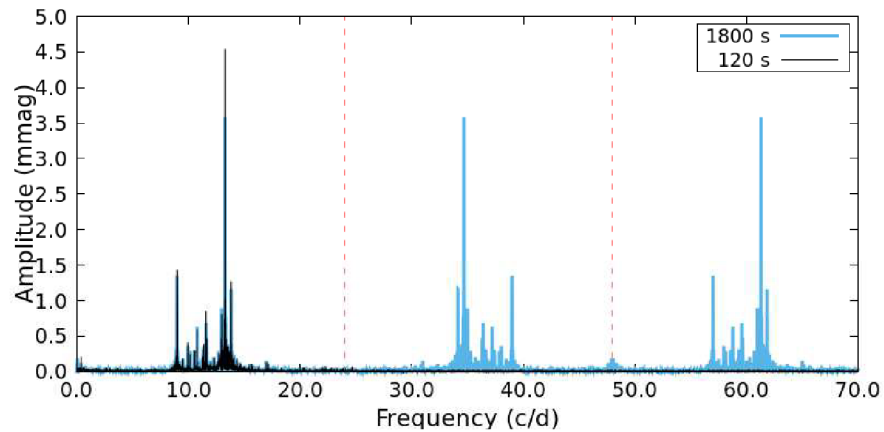
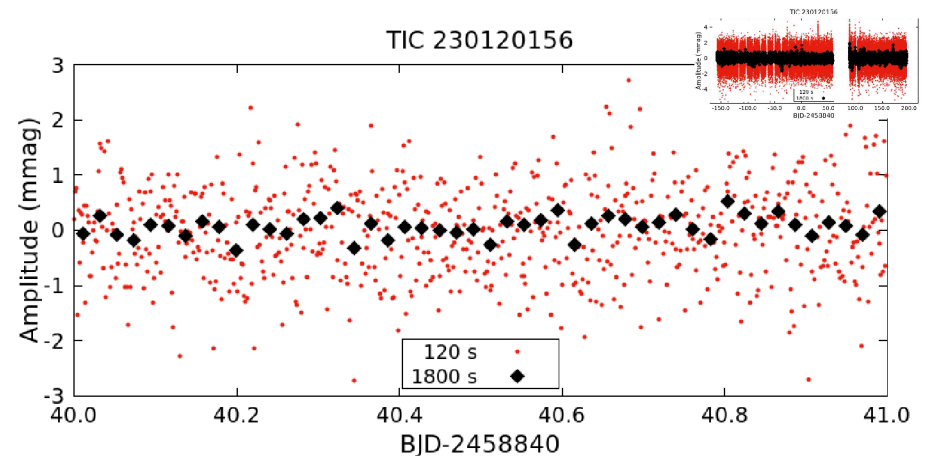
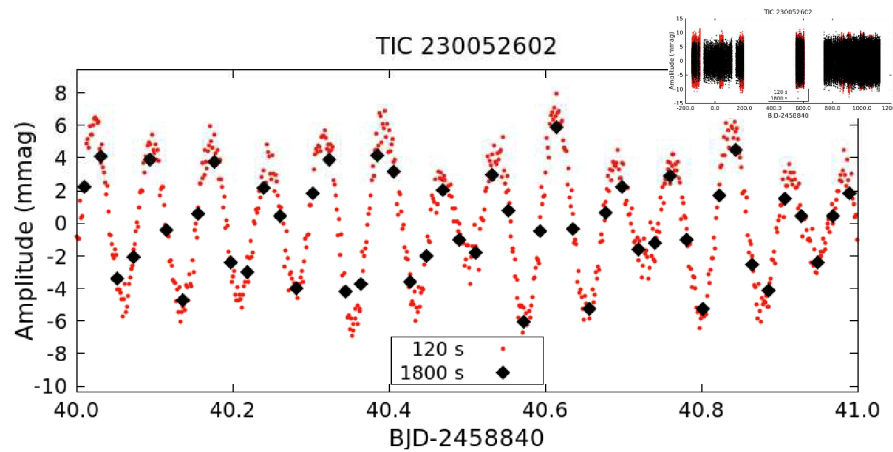
- Pravidelné vzorkování produkuje tzv. Nyquist odrazy reálných frekvencí (vesmírná data)



Nyquistova frekvence

Vzorkovací frekvence (f_{Samp}) - frekvence, s jakou je objekt snímán. Definuje nejvyšší možnou detekovatelnou frekvenci v souboru dat - tzv. Nyquist frequency

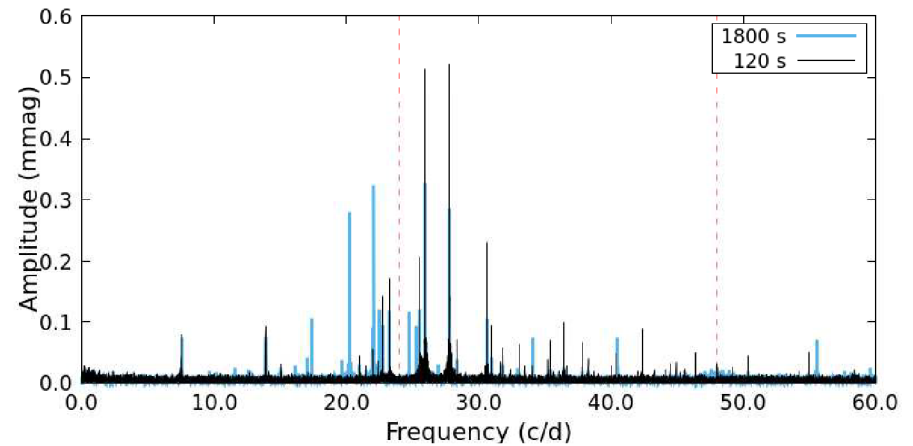
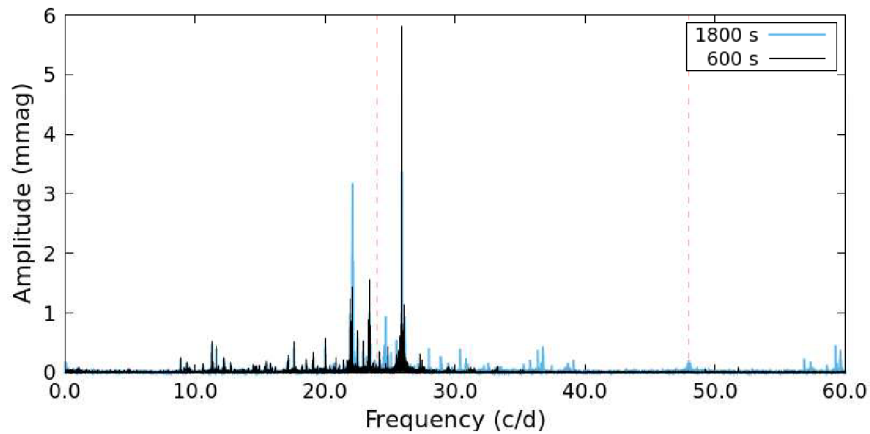
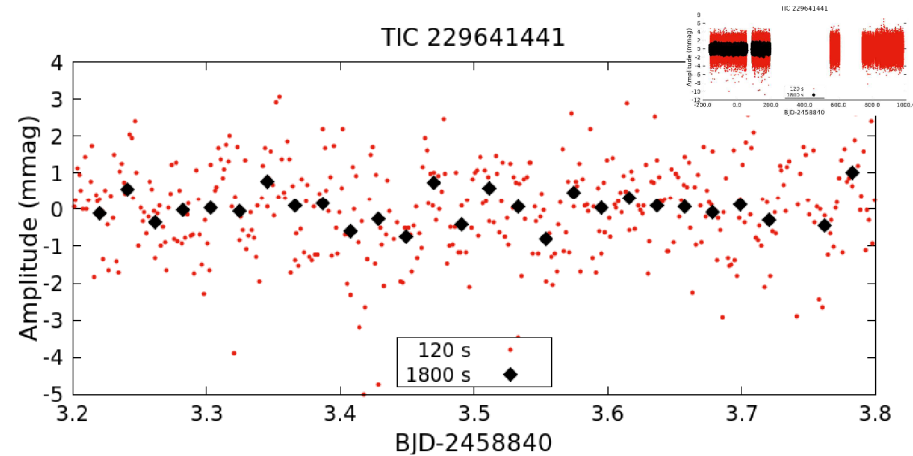
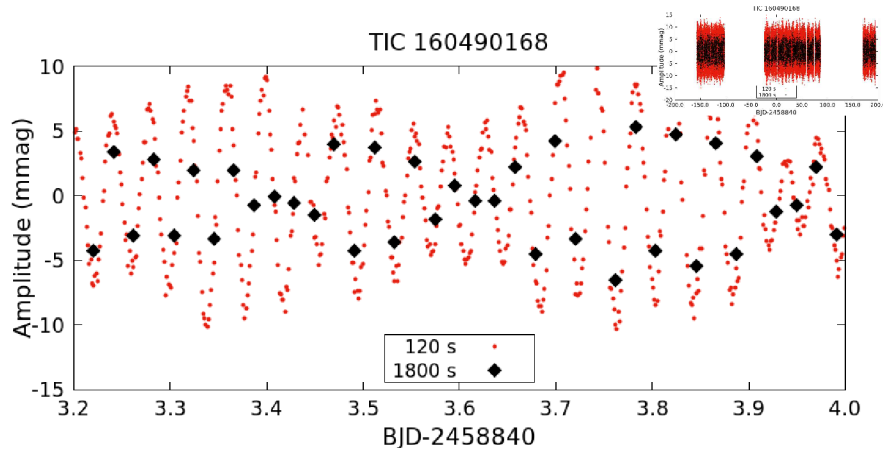
$$\nu_{\text{max}} = \frac{f_{\text{Samp}}}{2} = \frac{1}{2\Delta t}$$



Nyquistova frekvence

Vzorkovací frekvence (f_{Samp}) - frekvence, s jakou je objekt snímán. Definuje nejvyšší možnou detekovatelnou frekvenci v souboru dat - tzv. Nyquist frequency

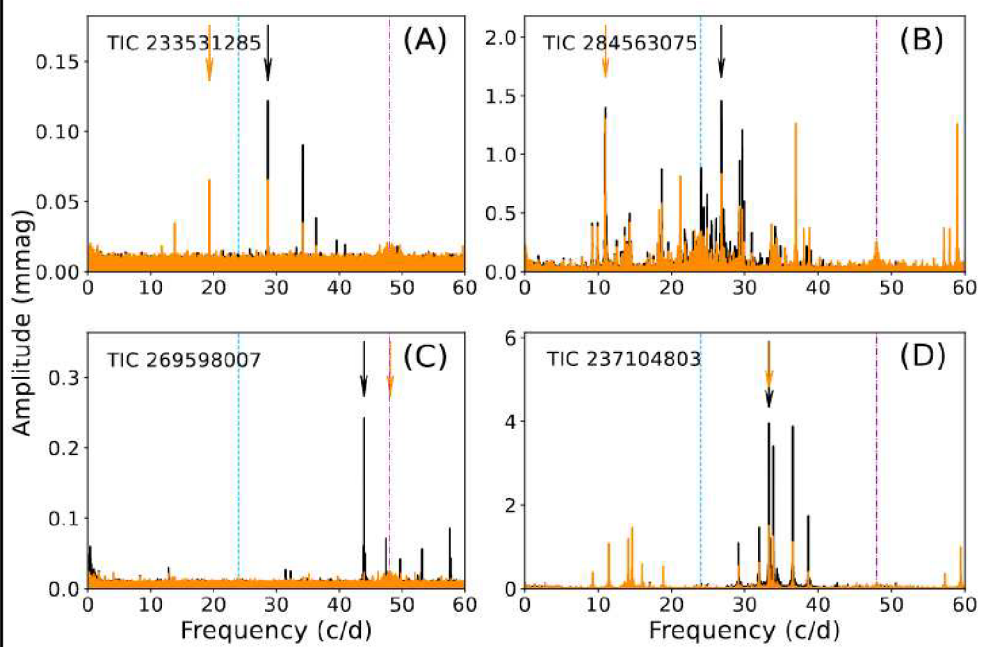
$$\nu_{\text{max}} = \frac{f_{\text{Samp}}}{2} = \frac{1}{2\Delta t}$$



Nyquistova frekvence

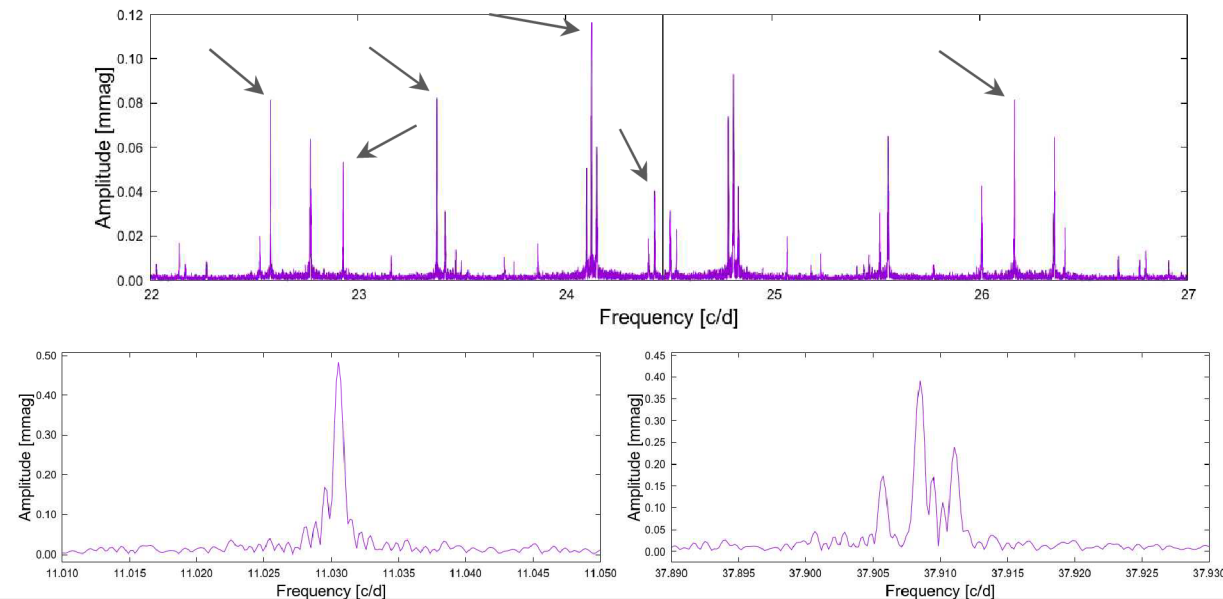
Vzorkovací frekvence (f_{samp}) - frekvence, s jakou je objekt snímán. Definuje nejvyšší možnou detekovatelnou frekvenci v souboru dat - tzv. Nyquist frequency

$$\nu_{\text{max}} = \frac{f_{\text{samp}}}{2} = \frac{1}{2\Delta t}$$



Skarka et al. 2022, A&A, 666, 142

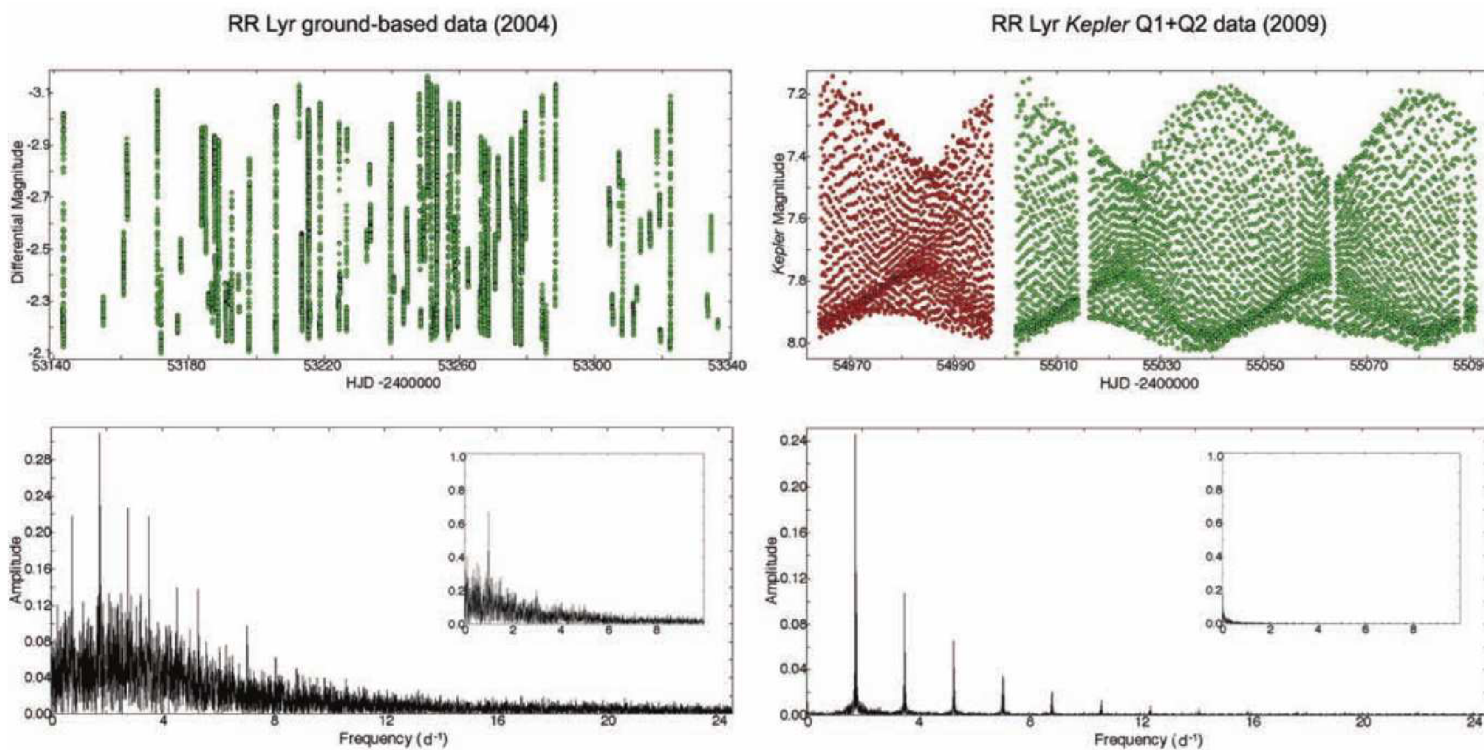
- Kvazipravdělné vzorkování: $f_{\text{Nyq}} \sim$ průměr samplingu, lze detekovat i vyšší frekvence než je f_{Nyq} - **pravé frekvence mívají větší amplitudy, okolo odrazů jsou často postranní píky odpovídající nějaké význačné periodicitě v datech** (perioda oběhu družice, pravidelný downloading...)
- Při náhodném vzorkování nemá f_{Nyq} příliš význam



Aliases a falešné periody

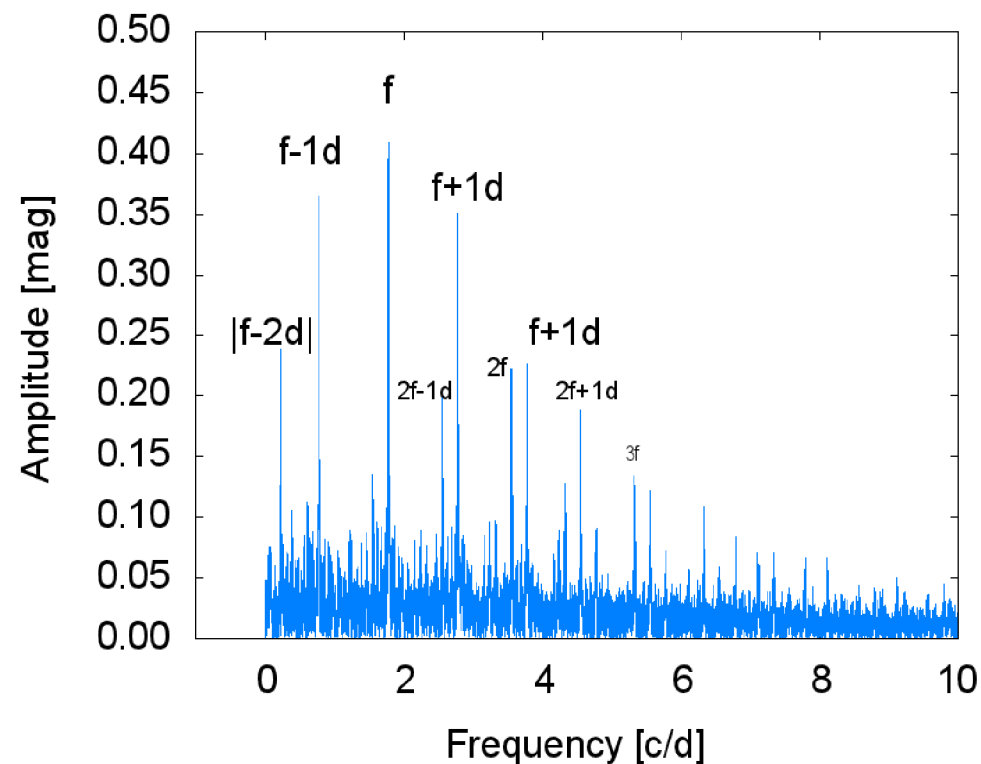
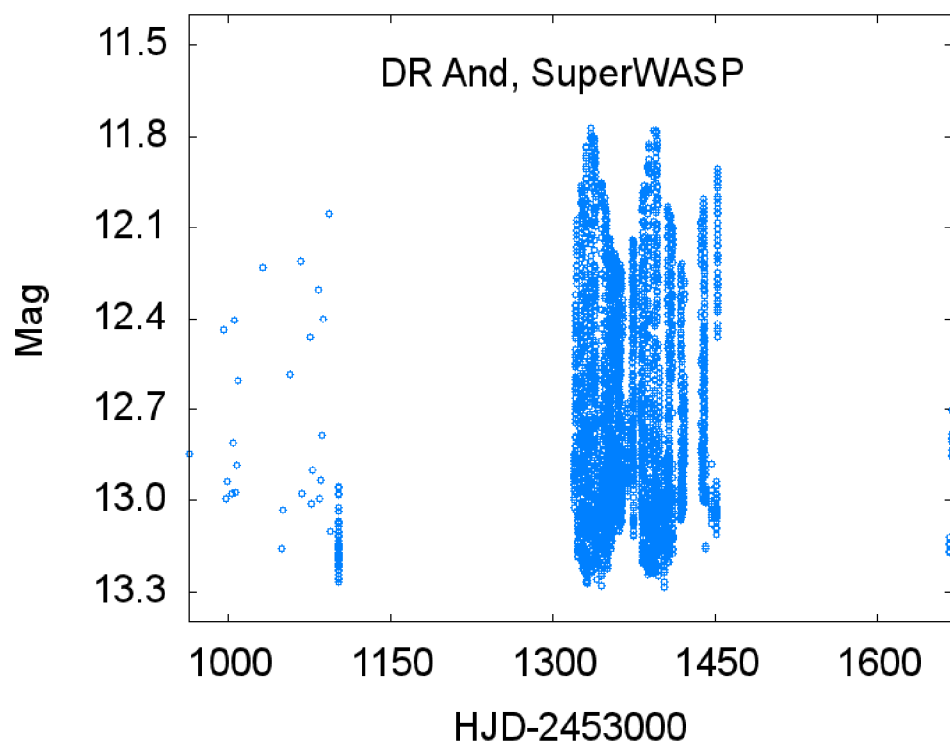
Alias - píky v pravidelných rozestupech od píků odpovídajících reálným periodám díky pravidelným mezerám v datech - typicky denní, měsíční, roční (pozemní pozorování), aliasy odpovídající orbitální periodě, frekvenci downloadu dat, periodickým korekcím (vesmírná data)

Kolenberg et al. 2011, MNRAS, 411, 878



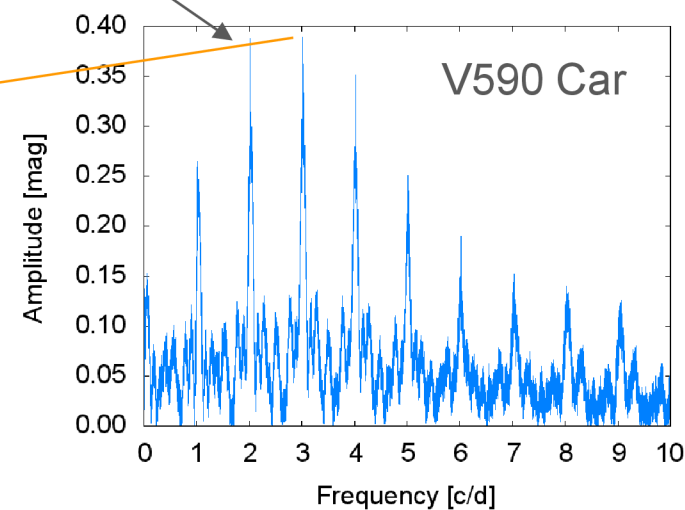
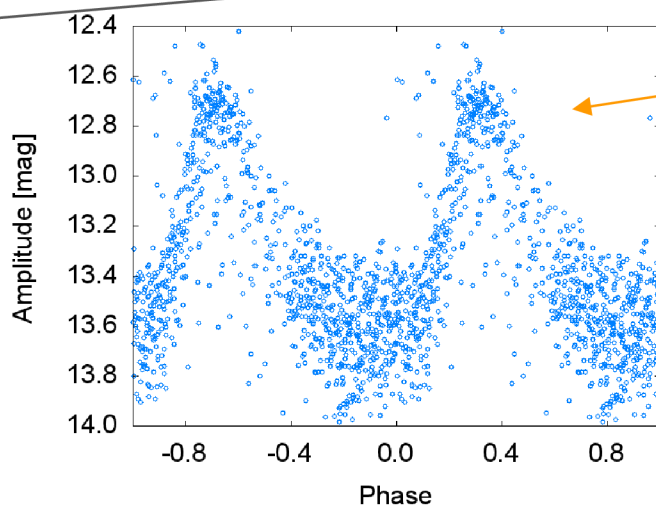
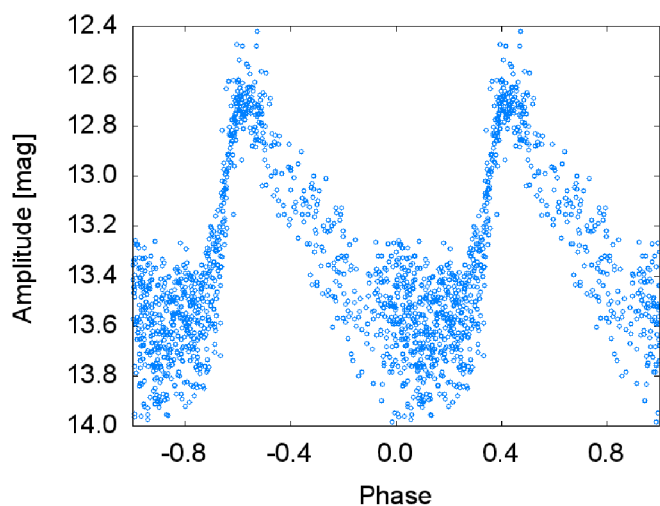
Aliases a falešné periody

Alias - píky v pravidelných rozestupech od píků odpovídajících reálným periodám díky pravidelným mezerám v datech - typicky denní, měsíční, roční (pozemní pozorování), aliasy odpovídající orbitální periodě, frekvenci downloadu dat, periodickým korekcím (vesmírná data)



Aliases a falešné periody

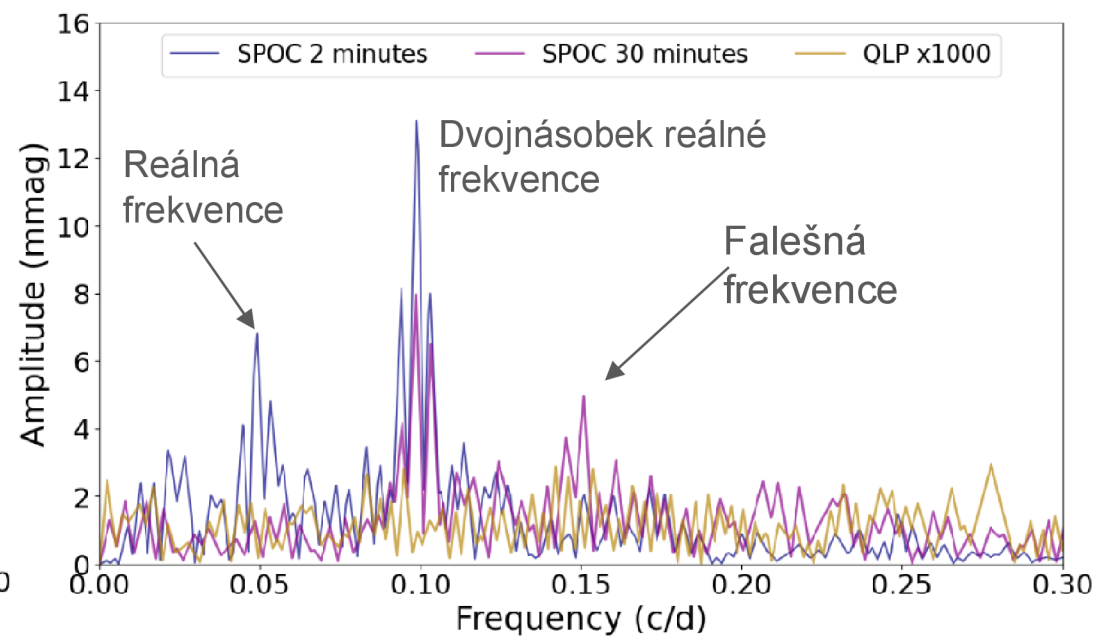
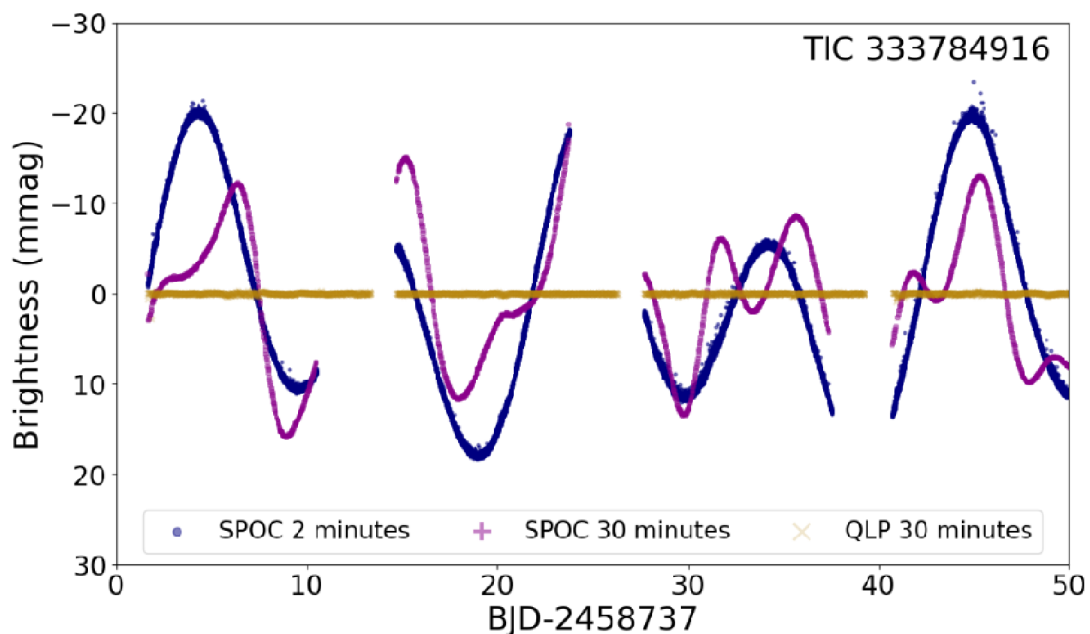
Alias - píky v pravidelných rozestupech od píků odpovídajících reálným periodám díky pravidelným mezerám v datech - typicky denní, měsíční, roční (pozemní pozorování), aliasy odpovídající orbitální periodě, frekvenci downloadu dat, periodickým korekcím (vesmírná data)



Aliases a falešné periody

Alias - píky v pravidelných rozestupech od píků odpovídajících reálným periodám díky pravidelným mezerám v datech - typicky denní, měsíční, roční (pozemní pozorování), aliasy odpovídající orbitální periodě, frekvenci downloadu dat, periodickým korekcím (vesmírná data)

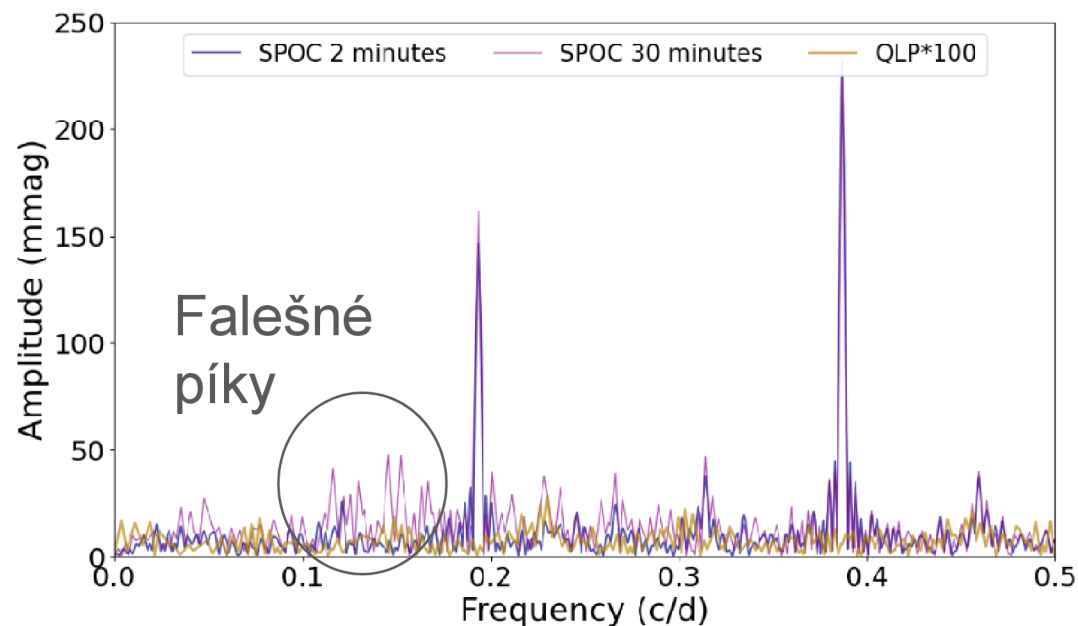
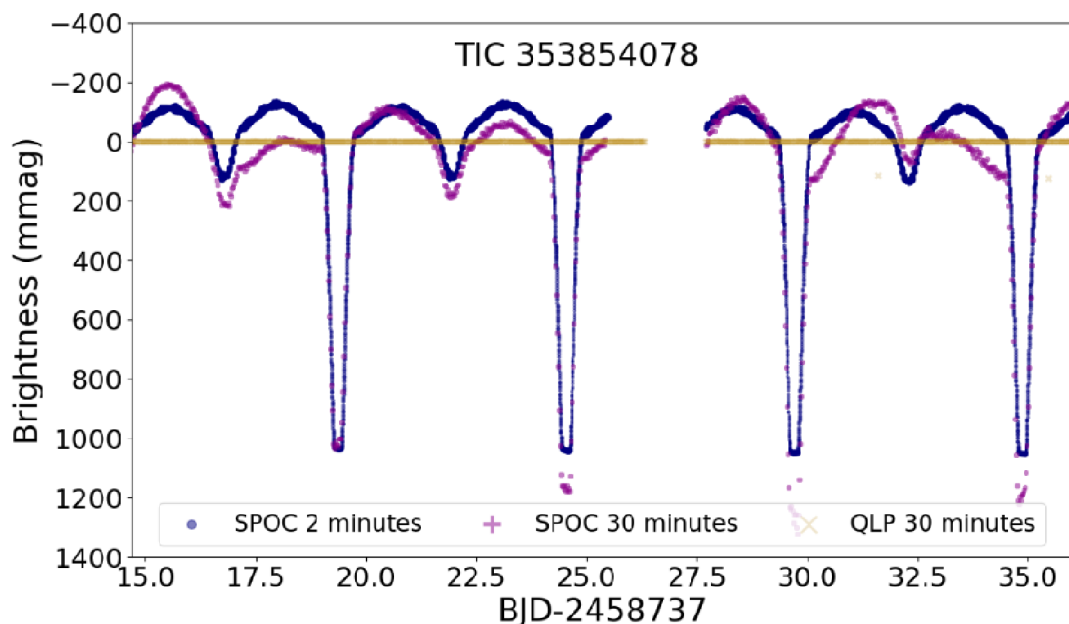
Falešné periody - vznik díky instrumentálním jevům a trendům v datech - typicky dlouhé periody, související s pozorovacími cykly (např. orbitální perioda)



Aliases a falešné periody

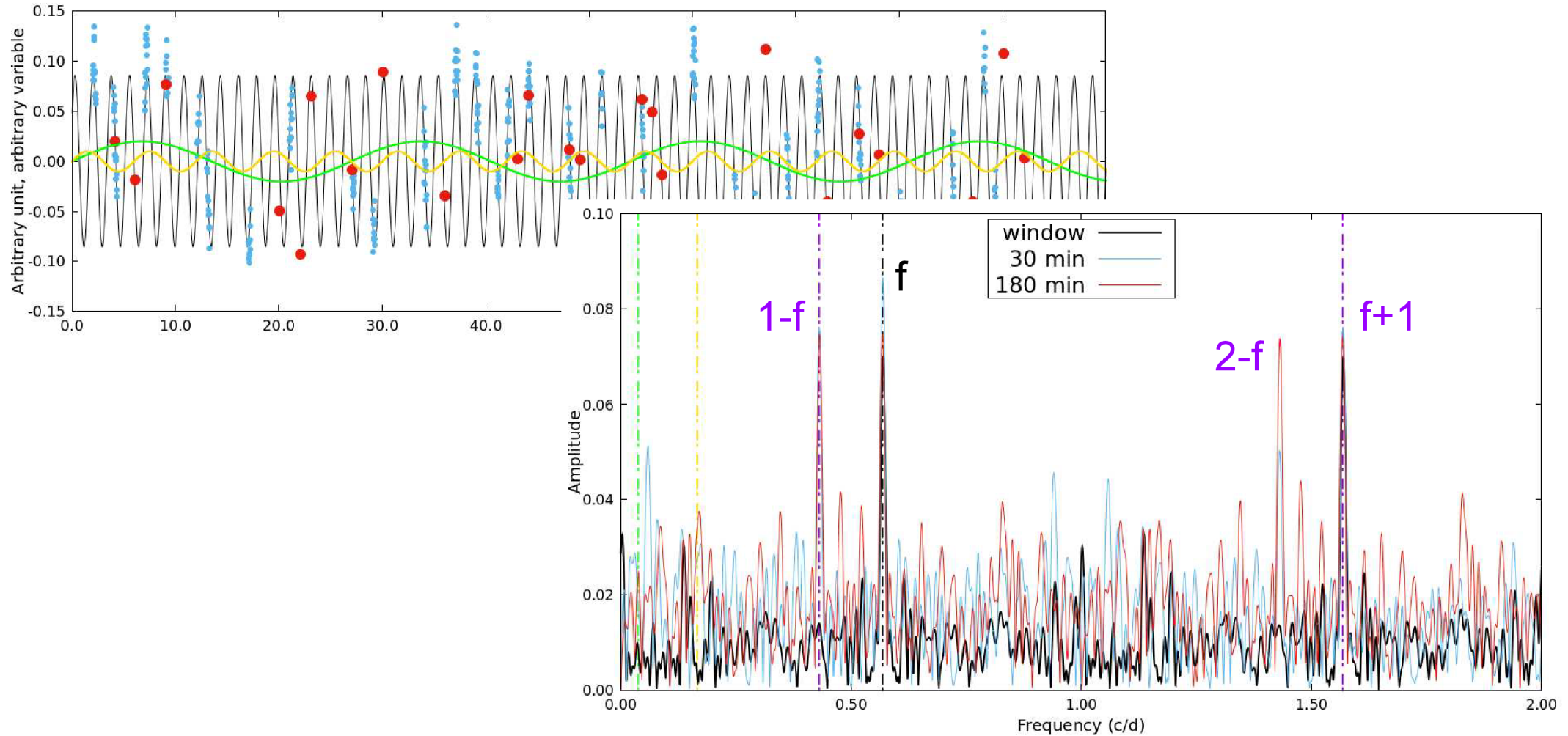
Alias - píky v pravidelných rozestupech od píků odpovídajících reálným periodám díky pravidelným mezerám v datech - typicky denní, měsíční, roční (pozemní pozorování), aliasy odpovídající orbitální periodě, frekvenci downloadu dat, periodickým korekcím (vesmírná data)

Falešné periody - vznik díky instrumentálním jevům a trendům v datech - typicky dlouhé periody, související s pozorovacími cykly (např. orbitální perioda)



Aliases a falešné periody

Frekvenční okno - Fourierovská transformace dat s konstantní hodnotou - informace o děrách a aliasech

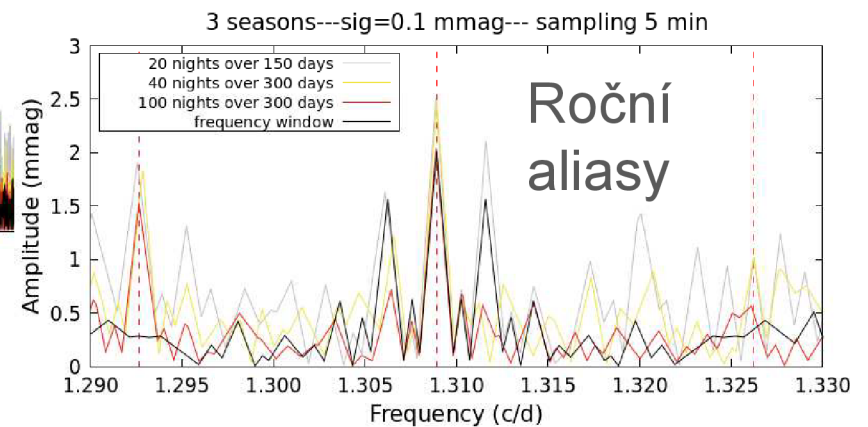
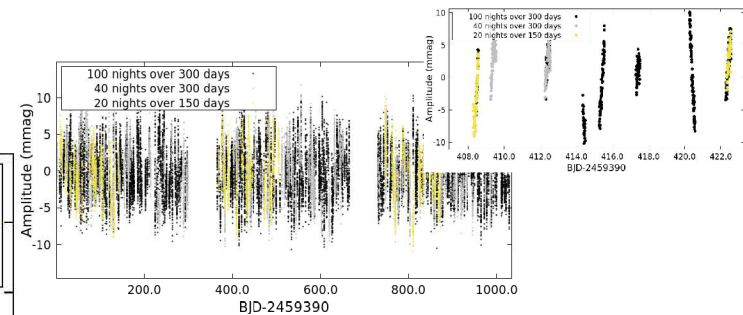
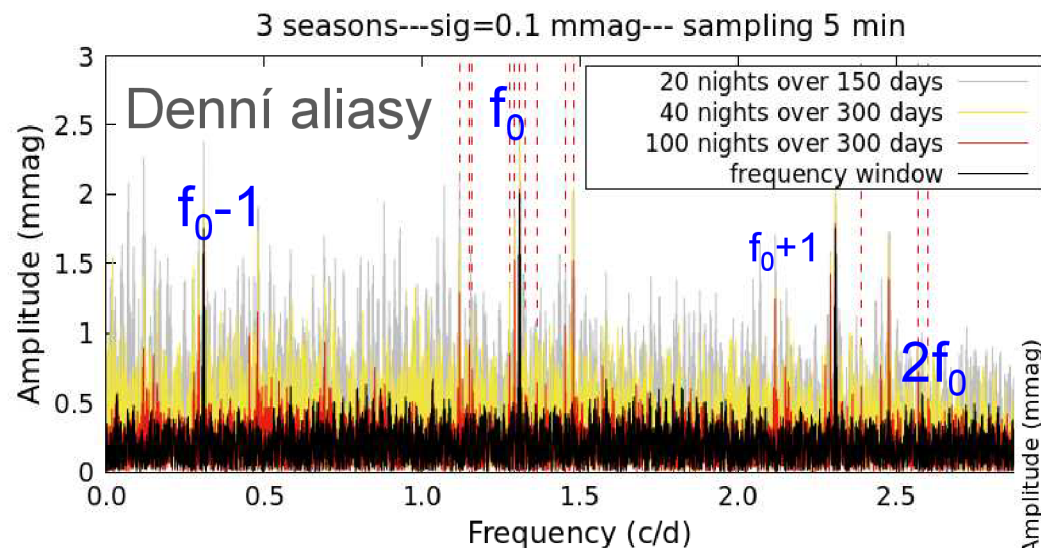


Aliases a falešné periody

Alias - píky v pravidelných rozestupech od píků odpovídajících reálným periodám díky pravidelným mezerám v datech - typicky denní, měsíční, roční (pozemní pozorování), aliasy odpovídající orbitální periodě, frekvenci downloadu dat, periodickým korekcím (vesmírná data)

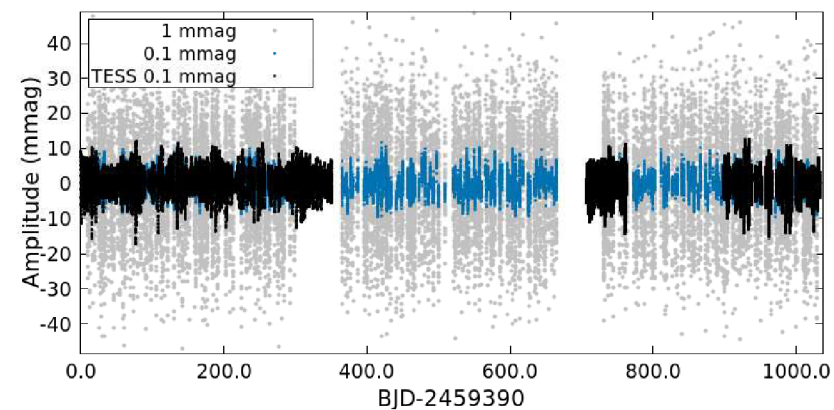
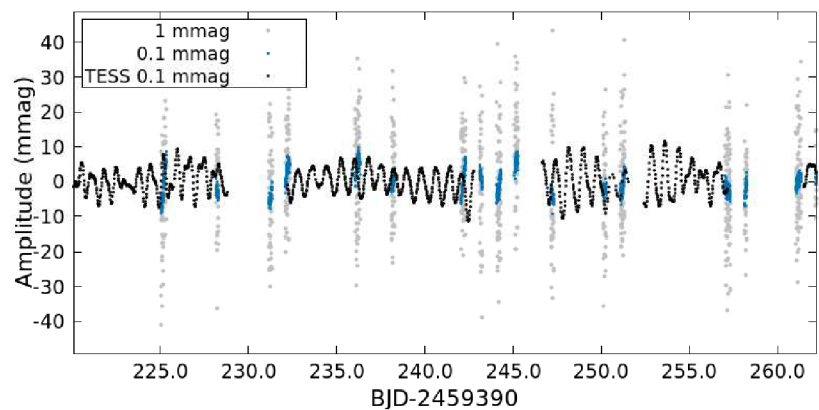
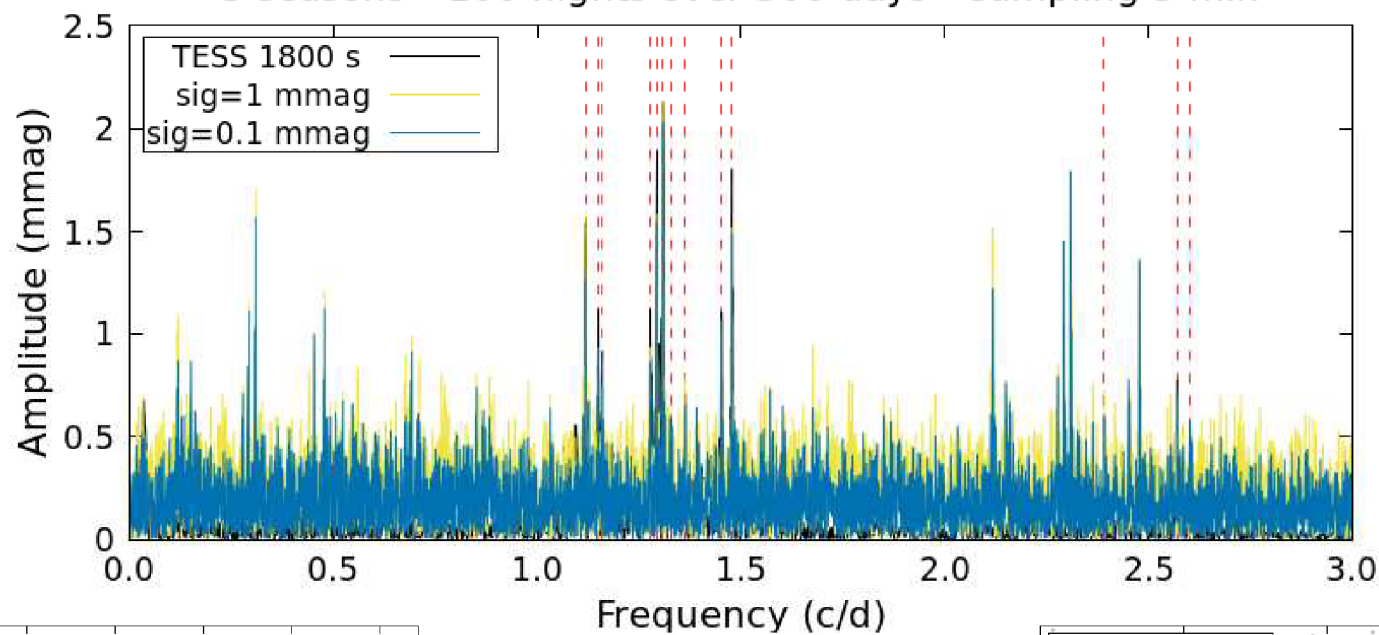
Falešné periody - vznik díky instrumentálním jevům a trendům v datech - typicky dlouhé periody, související s pozorovacími cykly (např. orbitální perioda)

Frekvenční okno - Fourierovská transformace dat s konstantní hodnotou - informace o děrách a aliasech



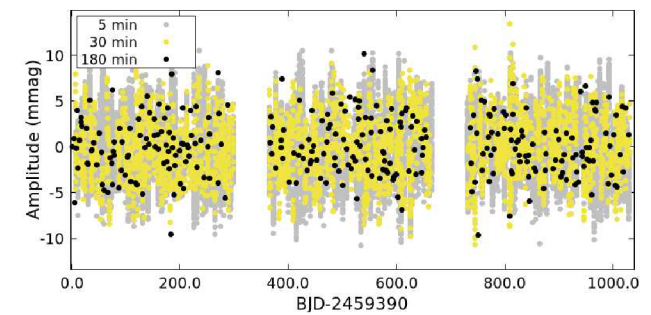
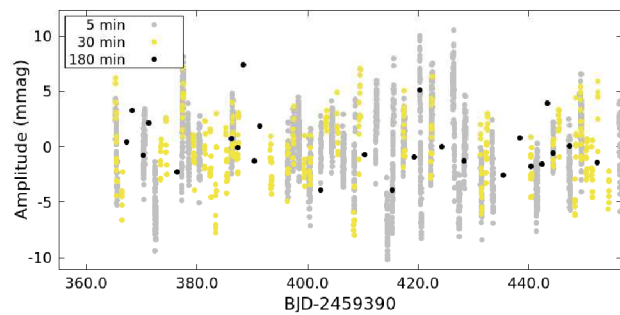
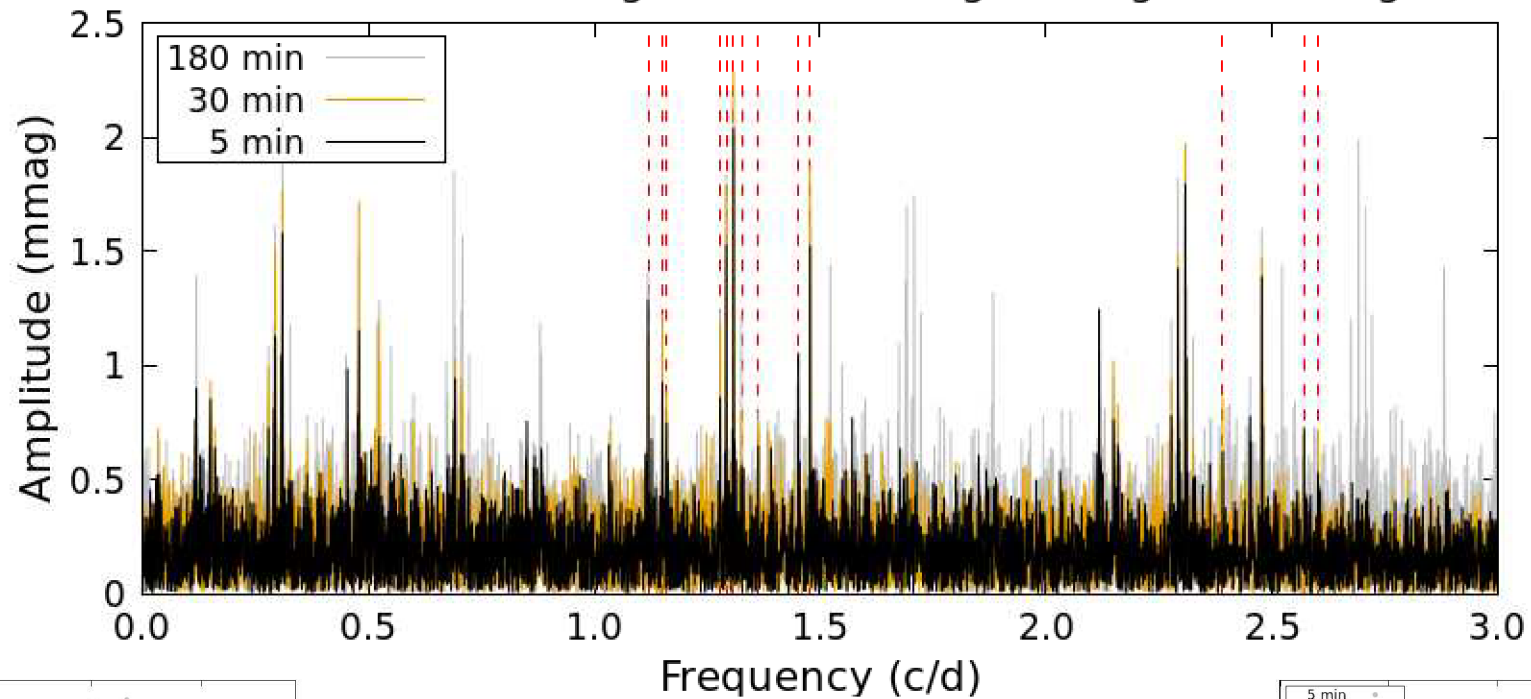
Alias a falešné periody

3 seasons---100 nights over 300 days---sampling 5 min



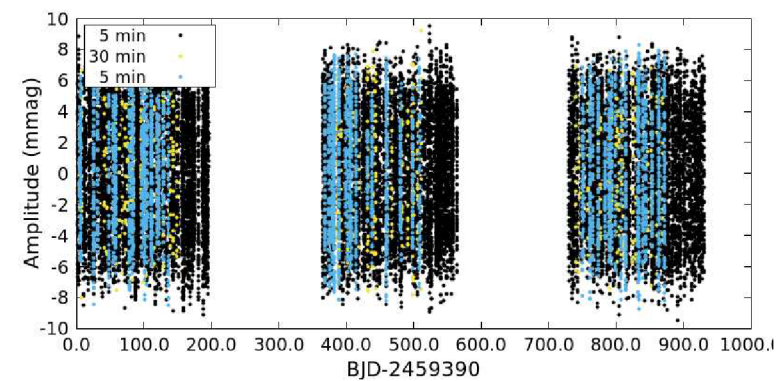
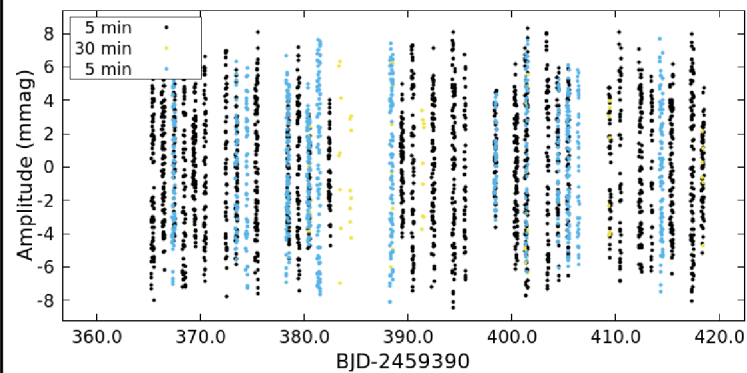
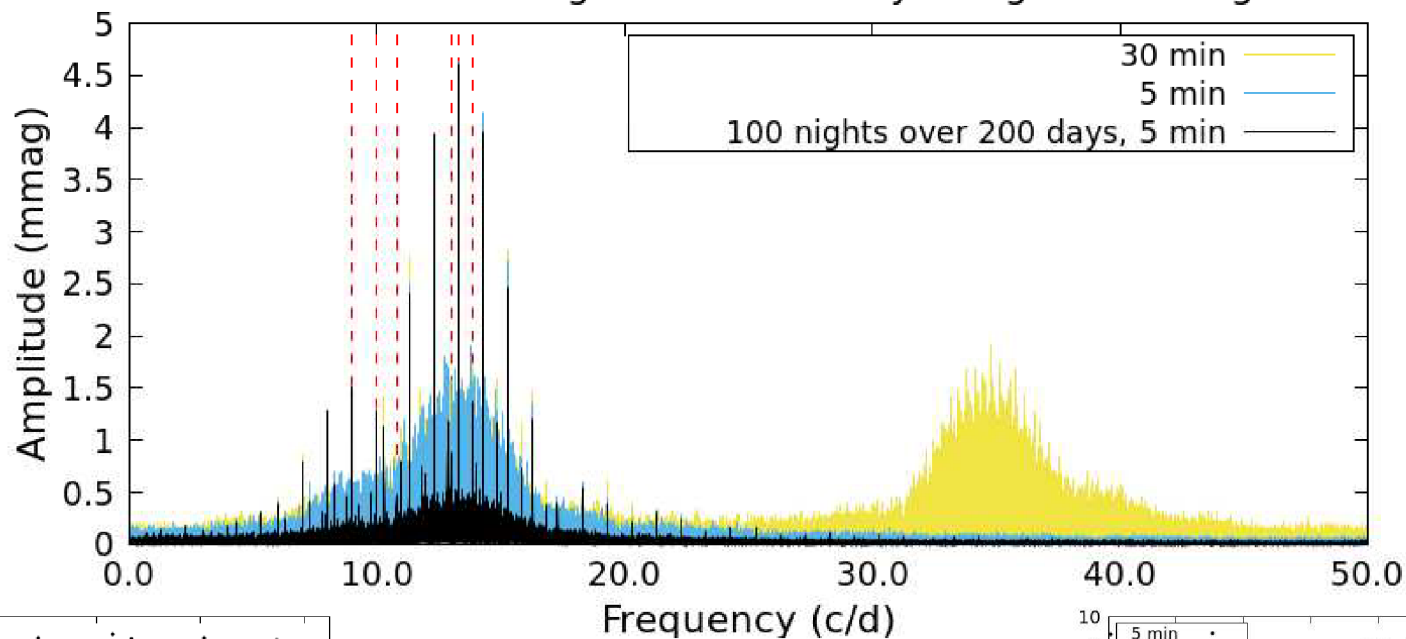
Alias a falešné periody

3 seasons---100 nights over 300 nights---sig=0.1 mmag



Alias a falešné periody

3 seasons---20 nights over 150 days---sig=0.1 mmag

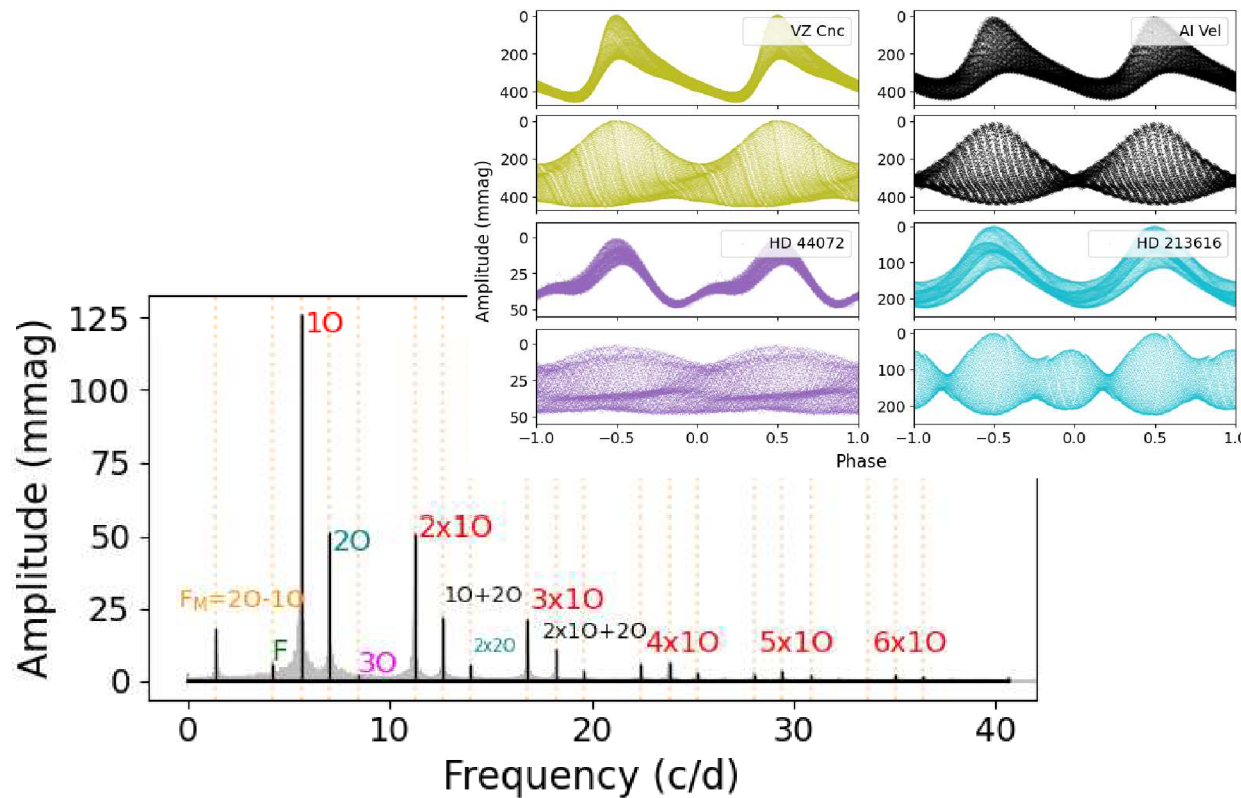


Struktury ve frekvenčních spektrech

Vyšší harmonické píky - při nesinusoidálních procesech (pulzace, zákrytové dvojhvězdy, ...)

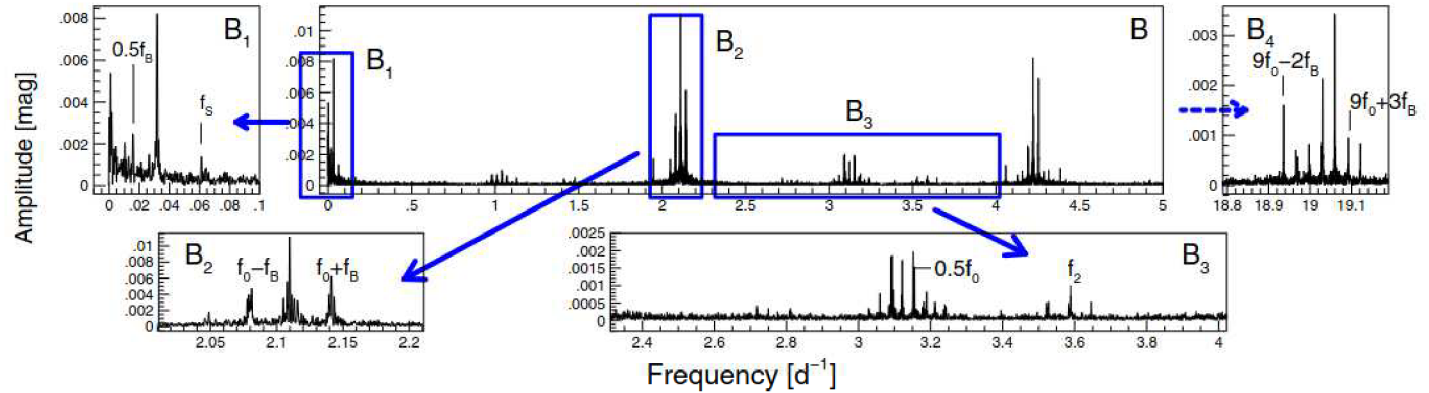
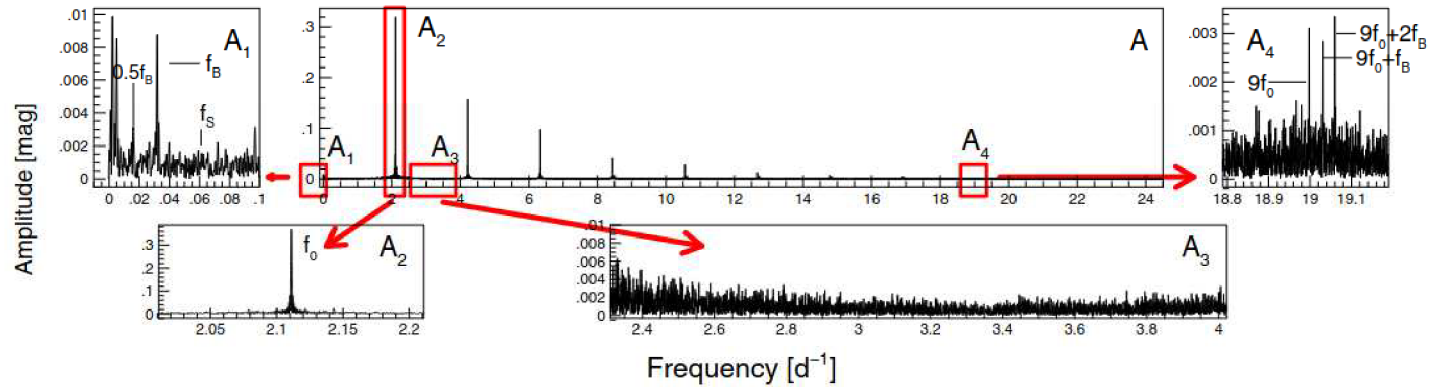
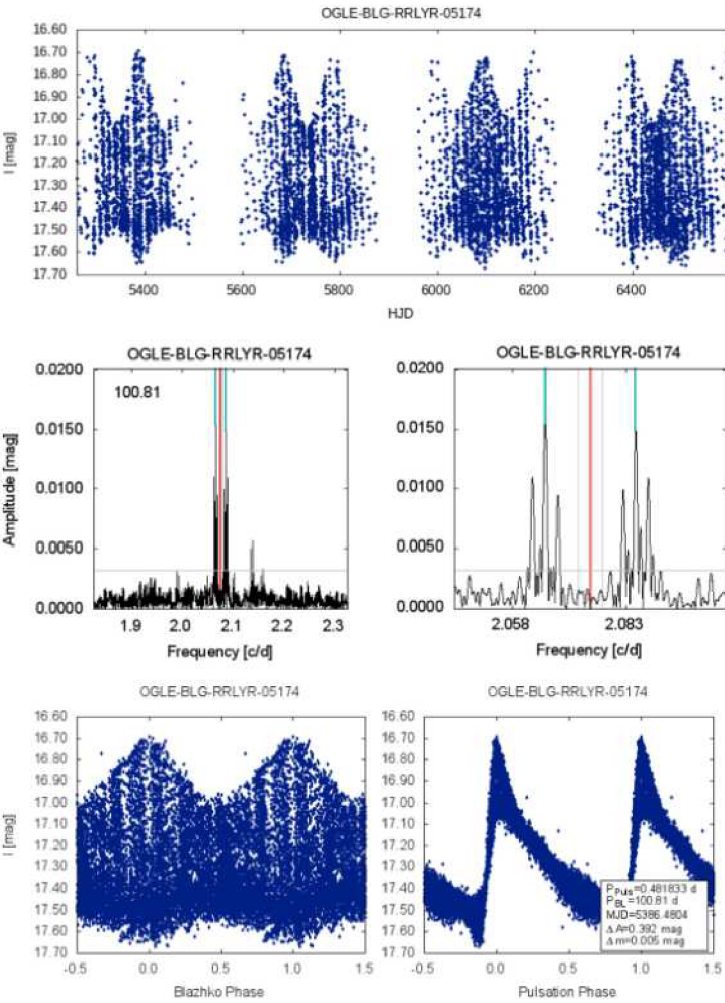
Kombinační píky - lineární kombinace píků - časté u pulzací

Rezonantní a modulační píky - při rezonancích, periodických změnách periody či amplitudy - píky s rozestupy modulační periody, rotační rozštěpení



ID	F (c/d)	BL ID
F1 = 1O	5.606486962	F1
F2 = 2O	7.002637896	F1+Fm
2F1	11.21297295	2F1
F1+F2	12.60912469	2F1+Fm
3F1	16.81946059	3F1
F2-F1	1.396149918	Fm
2F1+F2	18.21561055	3F1+Fm
3F1+F2	23.82209698	4F1+Fm
4F1	22.4259446	4F1
2F1-F2 = F	4.210355241	F1-Fm
2F2	14.00527241	2F1+2Fm
F1+2F2	19.61173854	3F1+2Fm
4F1+F2	29.42858618	5F1+Fm
2F1+2F2	25.21821837	4F1+2Fm
5F1	28.03242124	5F1

Struktury ve frekvenčních spektrech



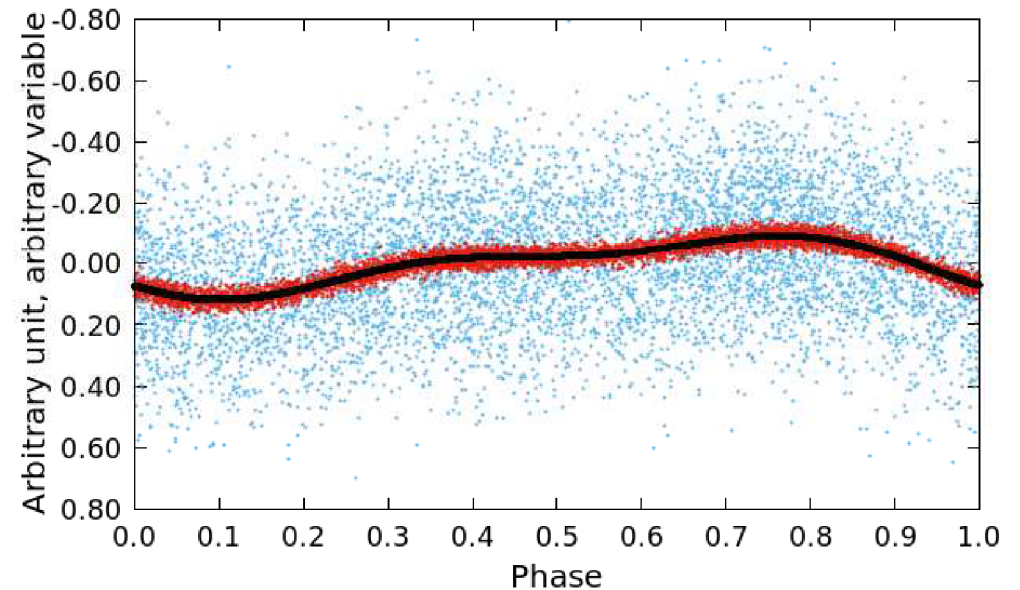
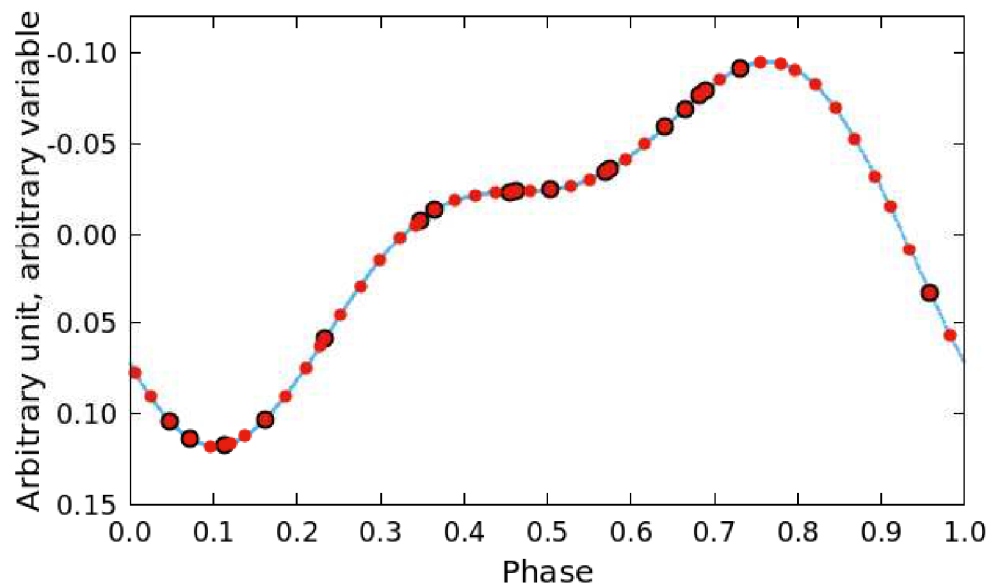
Benko et al. 2014ApJS..213...31B

Přesnost určení period

- Použít co nejdelší datovou sadu ($\sigma \sim 1/TS$)
- Pokud je křivka asymetrická nebo obsahuje více period, nutno použít co nejlepší model (u Fourierovských metod nestačí určit pouze dominantní periodu)

$$\text{MODEL: } m(t) = a_1 \sin(2\pi f t + \phi_1) + a_2 \sin(4\pi f t + \phi_2)$$

20,50,100 noci během 300 dní, náhodné rozdělení nocí, jejich délek a začátků, šum 0.01 a 0.1 mag, kadence 5 min a 180 minut

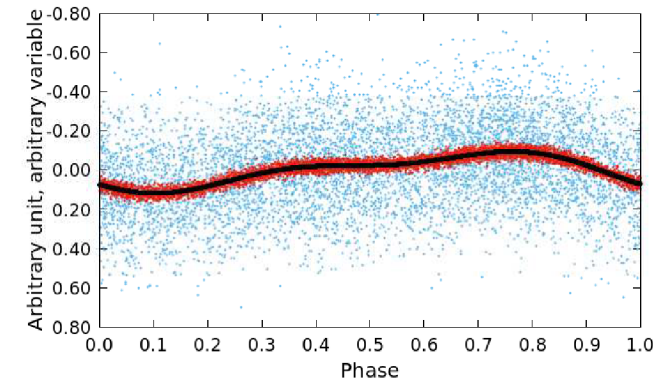
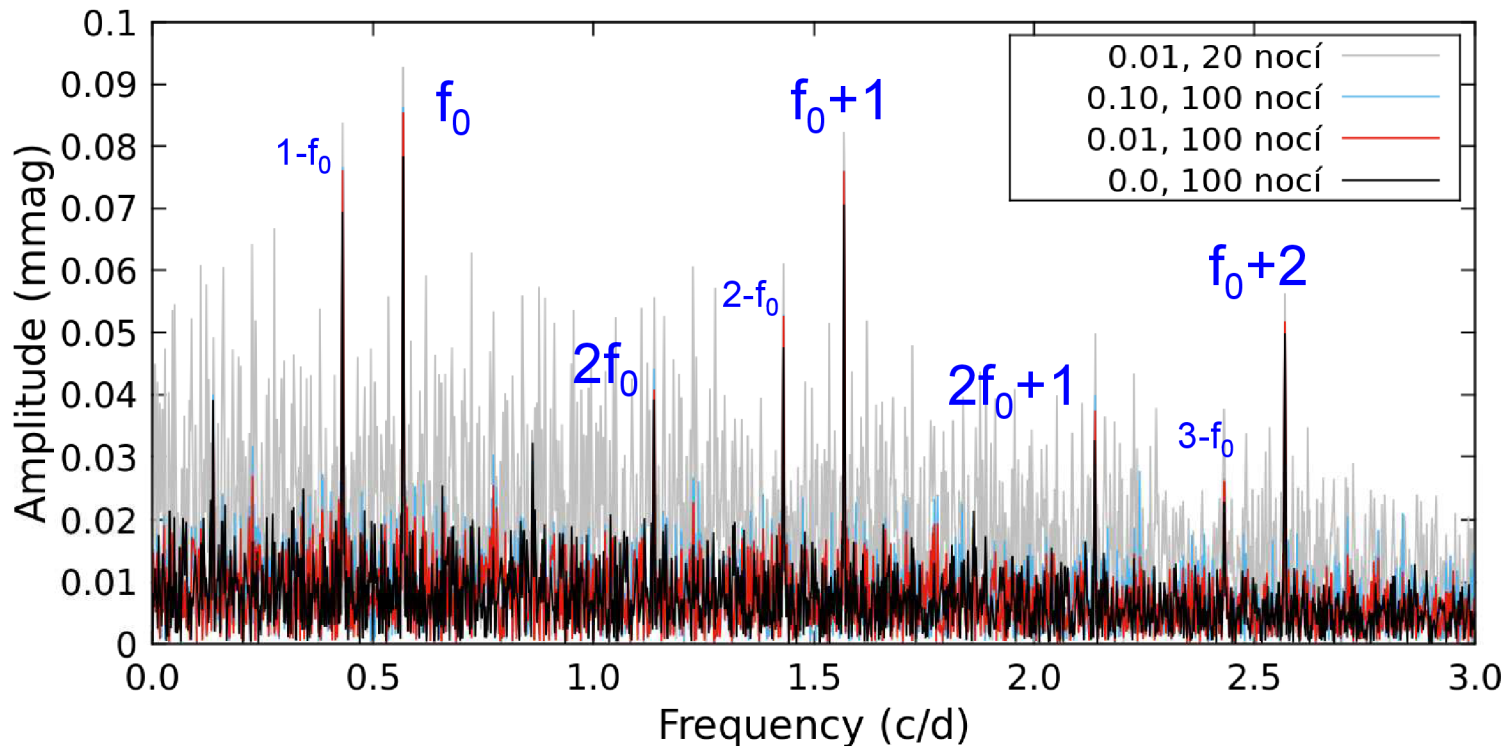


Přesnost určení period

- Použít co nejdelší datovou sadu ($\sigma \sim 1/TS$)
- Pokud je křivka asymetrická nebo obsahuje více period, nutno použít co nejlepší model (u Fourierovských metod nestačí určit pouze dominantní periodu)

$$\text{MODEL: } m(t) = a_1 \sin(2\pi f t + \phi_1) + a_2 \sin(4\pi f t + \phi_2)$$

20,50,100 noci během 300 dní, náhodné rozdělení nocí a jejich délka a začátek, šum 0.01 a 0.1 mag, kadence 5 min a 180 minut



Přesnost určení period

- Použít co nejdelší datovou sadu ($\sigma \sim 1/TS$)
- Pokud je křivka asymetrická nebo obsahuje více period, nutno použít co nejlepší model (u Fourierovských metod nestačí určit pouze dominantní periodu)

$$\text{MODEL: } m(t) = a_1 \sin(2\pi f t + \phi_1) + a_2 \sin(4\pi f t + \phi_2)$$

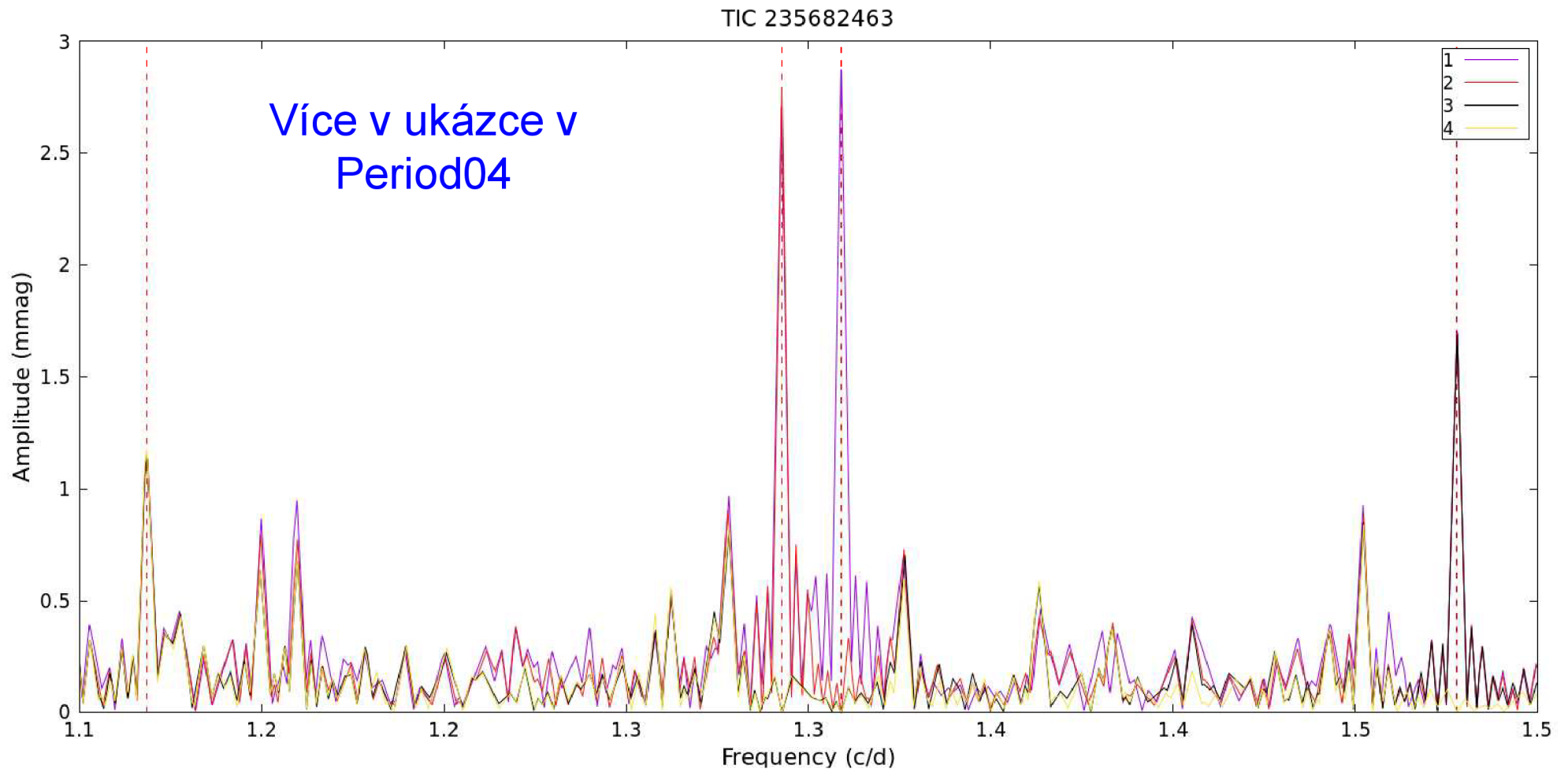
20,50,100 noci během 300 dní, náhodné rozdělení nocí a jejich délka a začátek, šum 0.01 a 0.1 mag, kadence 5 min a 180 minut

$$P_{\text{měřená}} - P_{\text{skutečná}}$$

	20 nocí	50 nocí	100 nocí
Bez šumu	0, 0	0, 0	0, 0
$\sigma \sim 0.01$ mag	$1e-5, 4e-5$	$1e-5, 6e-5$	$3e-6, 4e-5$
$\sigma \sim 0.1$ mag	$3e-4, \text{—}$	$6e-5, 1e-3$	$1e-4, 3e-3$

Hledání dalších period

Prewhitening - Iterativní proces - nalezení nejvyššího píku ve frekvenčním spektru, naitování dat sinusovkou s danou frekvencí - nalezení nejvyššího píku v reziduích, naitování ... Odstraní i falešné píky s pomocí frekvenčního okna



Doporučení při vyšetřování period

- Vykreslit si data - vizuálně lze odhalit základní vlastnosti, výraznou periodicitu, trendy apod.
- Odstranit evidentní outliery (opatrně!)
- Použít pokud možno více metod - ne vždy jsou výsledky stejné
- Vhodný interval pro hledání frekvencí a vhodný krok mohou mít zásadní vliv
- S každou podezřelou periodou vykreslit fázový diagram (aliasy, falešné periody)
- Analýza části datového souboru může pomoci rozhodnout o správné periodě
- Mít se na pozoru při periodách 1 d, 1 rok a jejich násobků, u period v poměru malých celých čísel ($2/3$ d apod.), u dlouhých period
- Frekvenční spektrum vykreslené v mocnině je lépe čitelné

Úkol

- Odhalit frekvence, na kterých je objekt proměnný
 - Až 4 signifikantní periody (frekvence < 10 c/d)
 - Zdůvodnit jejich počet a signifikanci (SNR nebo FAP)
- Alternativně zpracovat jakoukoliv vlastní datovou sadu se stejným výstupem (konzultujte se mnou)
- Period04 nebo Lomb-Scargle pythonovské knihovny (Astropy)
- Data: stelweb.asu.cas.cz/~skarka/Ukol_PerAnalyza.tar.gz
- **Odevzdat do 31.1.2025**

Student	Datová sada
Bless, Georgii	1
Bukovinská, Petra Tereza	2
Duchyňová, Nina	3
Gorodilov, Artem	4
Hřibová, Magdaléna	5
Hudačková, Barbora	6
Chmelař, Václav	1
Krusberský, Jindřich	2
Lazarieva, Alona	3
Miklošová, Barbora	4
Naumenko, Mariia	5
Ohlídal, Prokop	6
Pešoutová, Karolína	1
Rutová, Pavlína	2
Slabá, Tereza	3
Šobichová, Alžbeta	4
Valková, Ramona	5
Vítek, Tomáš	6

Literatura

- Aerts, C., Christensen-Dalsgaard, J., Kurtz, D.W. 2010, Asteroseismology, Springer Science+Business Media, Heidelberg
- Mikulášek, Z., Zejda, M. 2013, Úvod do studia proměnných hvězd, MUNI Press, Brno
- Neustroev, V. 2020, Time series analysis in Astronomy (kurz, <https://vitaly.neustroev.net/teach/autumn-2020-1-time-series-analysis/>)
- Templeton, M. 2004, JAAVSO, 32, 41
- VanderPlas, J. T. 2018, Understanding the Lomb–Scargle Periodogram, ApJSS, 236, 16