

# Druhý dech hvězdné astronomie,

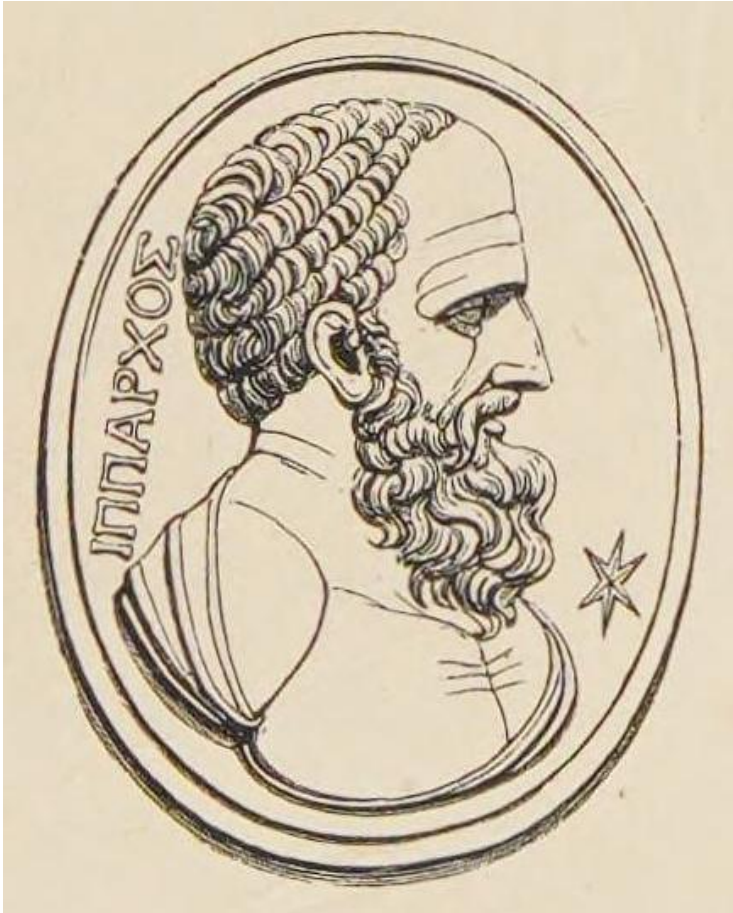
... a kdo ji rozdýchal?

Zdeněk Mikulášek

Ústav teoretické fyziky a astrofyziky  
PřF Masarykovy univerzity, Brno



# Antika



**Astronomie** – první přírodní a užitá věda vůbec.

- Společenské úkoly astronomie – **kalendář** – předpověď pohybů Slunce a Měsíce po obloze. Pro **astrologii** navíc dokázat předpovědět rozložení „planet“ po obloze i hvězdné obloze pro libovolný okamžik.
- **Hvězdná obloha** – pouhá kulisa na jejímž pozadí se pohybovaly planety. Hvězdy nebyly astrologické zajímavé, sledováním změn na hvězdném nebi se astronomové nezabývali.
- Výjimka: otec hvězdné astronomie **Hipparchos** –  
1. hvězdný katalog a oceňování hvězdných velikostí.

**Představy o hvězdách** – naivní. Vesměs ani netušili, že jde o vzdálená slunce.



# Novověk. Vznik astrofyziky

Vědělo se to až začátkem novověku. Během pokusů o změření paralaxy rozpoznány **dvojhvězdy** a fyzické dvojhvězdy - **William Herschel**.

Gravitační zákon platí nejen v SS, ale i světě hvězd.

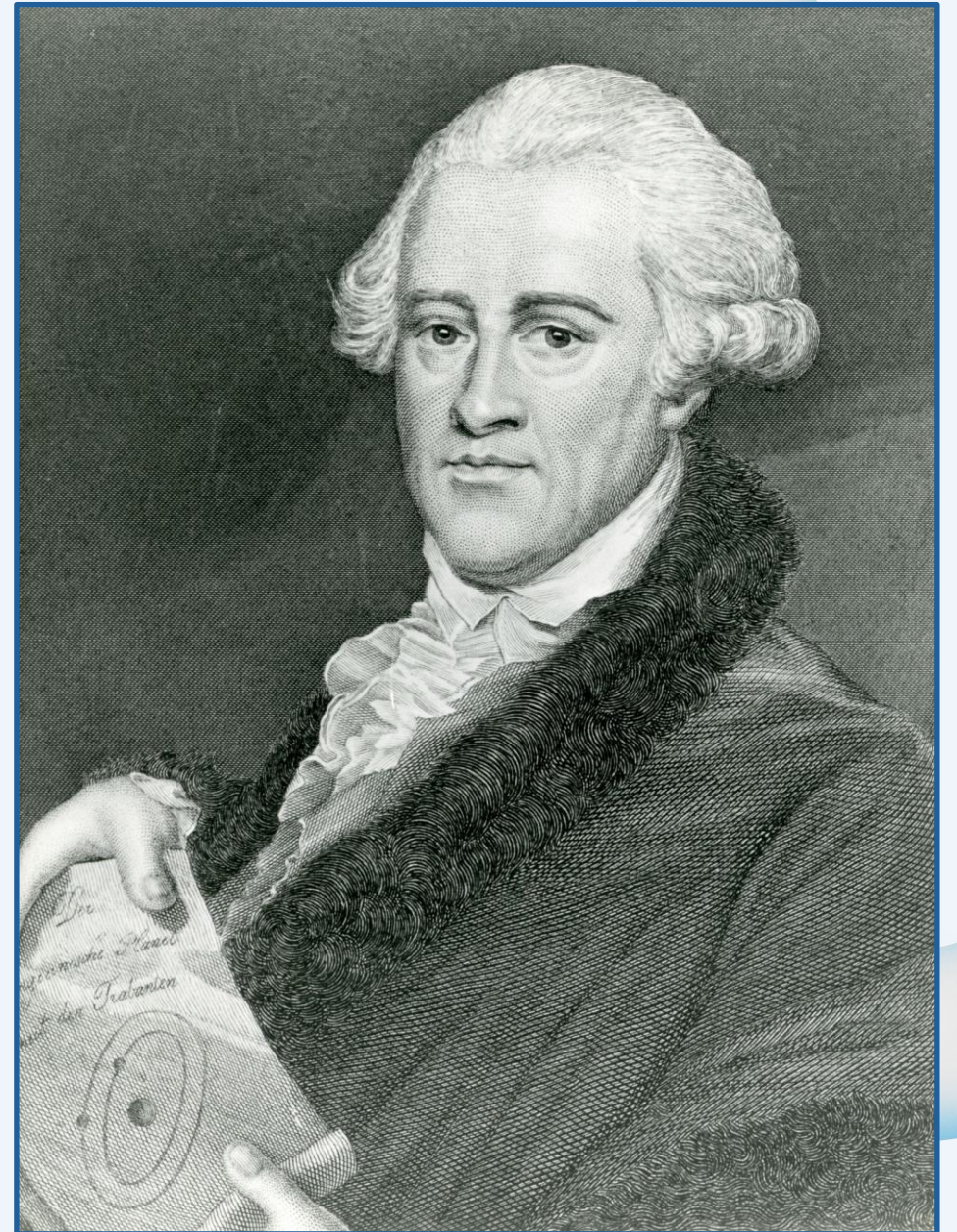
Objeveny byly **proměnné hvězdy**.

Supernovy – se přičinily o pád aristotelovské fyziky.

Mira Ceti – první známá periodická PH.

Nová pozorovací technika – **spektroskopie**, prokázala všeobecnou platnost fyzikálních zákonů. Vzniká **astrofyzika**.

**Hvězdy** – zářivé koule žhavého plazmatu, držené pohromadě vlastní gravitací. Platí to i pro i Slunce – hvězdu, na níž jsme životně závislí.



# Stavba a vývoj hvězd a dvojhvězd.

## Hvězdné atmosféry

Počátek 20. století – pokrok ve fyzice – dostatečný pojmový a teoretický arsenál pro tvůrce **modelů hvězdného nitra**.

Motorem **hvězdného vývoje** osamělých hvězd jsou změny chemického složení v důsledku **termonukleární reakcí** v nitru, tempo vývoje určuje hmotnost.

Vývojový **paradox Algola** vedl k nutnosti připustit výměnu hmoty mezi složkami **těsných dvojhvězd** (až 80% hmoty). Eskalace zájmu o ně.

Vyřešil se i problém, co s hvězdou po vyčerpání zásob paliva – **závěrečná stadia vývoje**: bílí trpaslíci, neutronové hvězdy a černé díry.

Vysvětlení **vzhledu spekter** a, toho, co z nich lze vyčíst. Řešení přenosu záření v **hvězdných atmosférách**, které nejsou v TE.

Chemické složení, difuze a gravitační usazování prvků, magnetické pole, seismika, pulzace, hvězdný vítr a hvězdná aktivita.





# Proměnné hvězdy a jejich pozorování

**Proměnnost hvězd** známa dávno, systematický výzkum až od pol. 19. století. Pole pro astronomy amatéry, vizuální pozorovatele. Počet známých proměnných stále exponenciálně roste, a s ním i poznatky o nich.

- Většina PH se mění periodicky, to souvisí s **příčinami proměnnosti**: rotací, oběhem ve dvojhvězdách a pulzacemi. PH na sebe prozrazují více než neproměnné.
- Přesnost pozemní **hvězdné fotometrie** roste, až mmag. Profesionálové už od počátku 20. století používali objektivní fotografickou, a poté hlavně **fotoelektrickou fotometrii** (fotonásobiče), převládá **CCD** technika. Amatérii měli jen oči, později totéž co profíci.

Získat realistickou světelnou křivku je obtížné. Vadí především časové omezení viditelností objektu, počasí, neklidné ovzduší. Segmentovanost světelné křivky způsobuje nejednoznačnost v sestrojení fázové křivky. Pozorování neefektivní – většinou jen jeden objekt.



# Pozorování proměnných hvězd



Pořizování CCD snímků pozemními širokoúhlými světelnými kamerami s mnoha hvězdami na jednom poli. Typicky **ASAS**. Přetržitost pozorování však neodstraníme. Ideál: desítky dní dlouhá, **nepřetržitá** časovou řadu s kadencí nejméně minuty.

Nutno odejít mimo Zemi. **Kosmický dalekohled** je ovšem dražší než pozemský. Kosmickou misi je třeba naplánovat, sehnat **peníze**.

Po boomu na konci 20. stol. zájem o hvězdnou astronomii **upadá**, v redakcích začínají odmítat články o proměnných hvězdách i profesionálům. Důvod: omílání téhož schématu, nevynalézavé zpracování, bez zobecnění. **Nuda, nuda, šed', šed'.**

Navíc jsou tu slibné, progresivnější směry. **Konkurence** věru silná: kosmologie, kosmické počasí, ČD, HT, NEO a hlavně **exoplanety**.

**Hvězdná astronomie** se ale probrala, nabrala **druhý dech**. Astronomové šli do sebe a naučili se využívat „datový odpad“ konkurenčních kosmických misí ve prospěch hvězdného výzkumu.

# Hipparcos

Začalo to u **astrometrické** sondy, kterou prosadila **kosmologická lobby**. Cíl: revize paralax nejbližších hvězd pro lepší definici kosmologického žebříku metod určování vzdáleností ve vesmíru, a tím i jeho stáří a vývoje.

Sonda Hipparcos 1989 - 93 proměřila vlastní pohyby a paralaxy 158 000 hvězd, měřila i jejich **jasnosti** v  $H_p$ ,  $V$  a  $B$ , s  $\sim 1$  mmag. Katalogy byly zpřístupněny všem.

Obrovský pokrok v pořizování **hodnověrných světelných křivek**, hledání period, vedlo to k vyluštění mnohých šarád.

Měření z Hipparca rozhodujícím způsobem zhodnotila individuální data a data z pozemních přehlídek.

Inspirovala práce o stabilitě period na základě propojení archívních dat různého původu, včetně těch kosmických.



# Lovci tranzitujících exoplanet. CoRoT

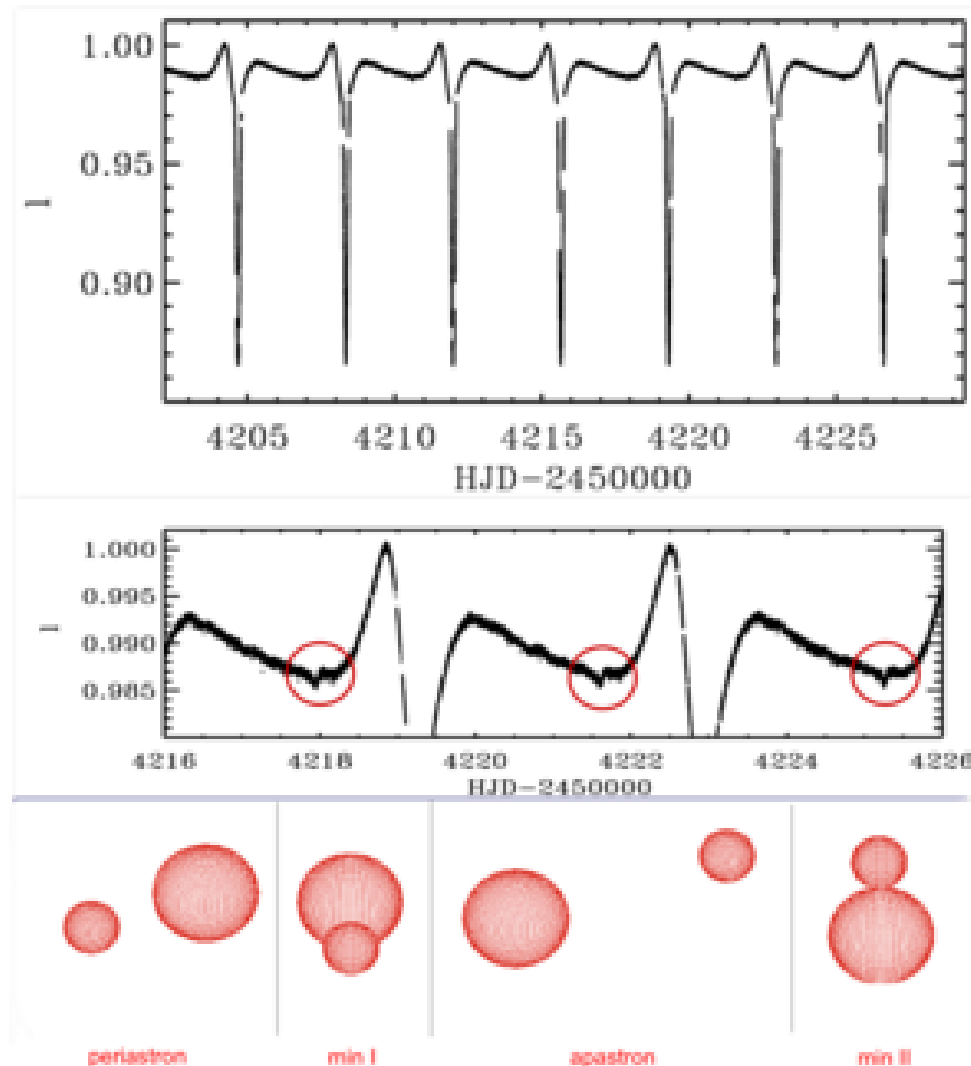
Hvězdná astronomie nejvíce profitovala na sérii kosmických misí **lovců tranzitujících exoplanet**, které se v posledních 20 letech realizovaly.

- Mise hledaly mmag poklesy ve světle velkého množství hvězd. Proč velkého? Pravděpodobnost pozorování **tranzitů exoplanet** je nesmírně nízká.

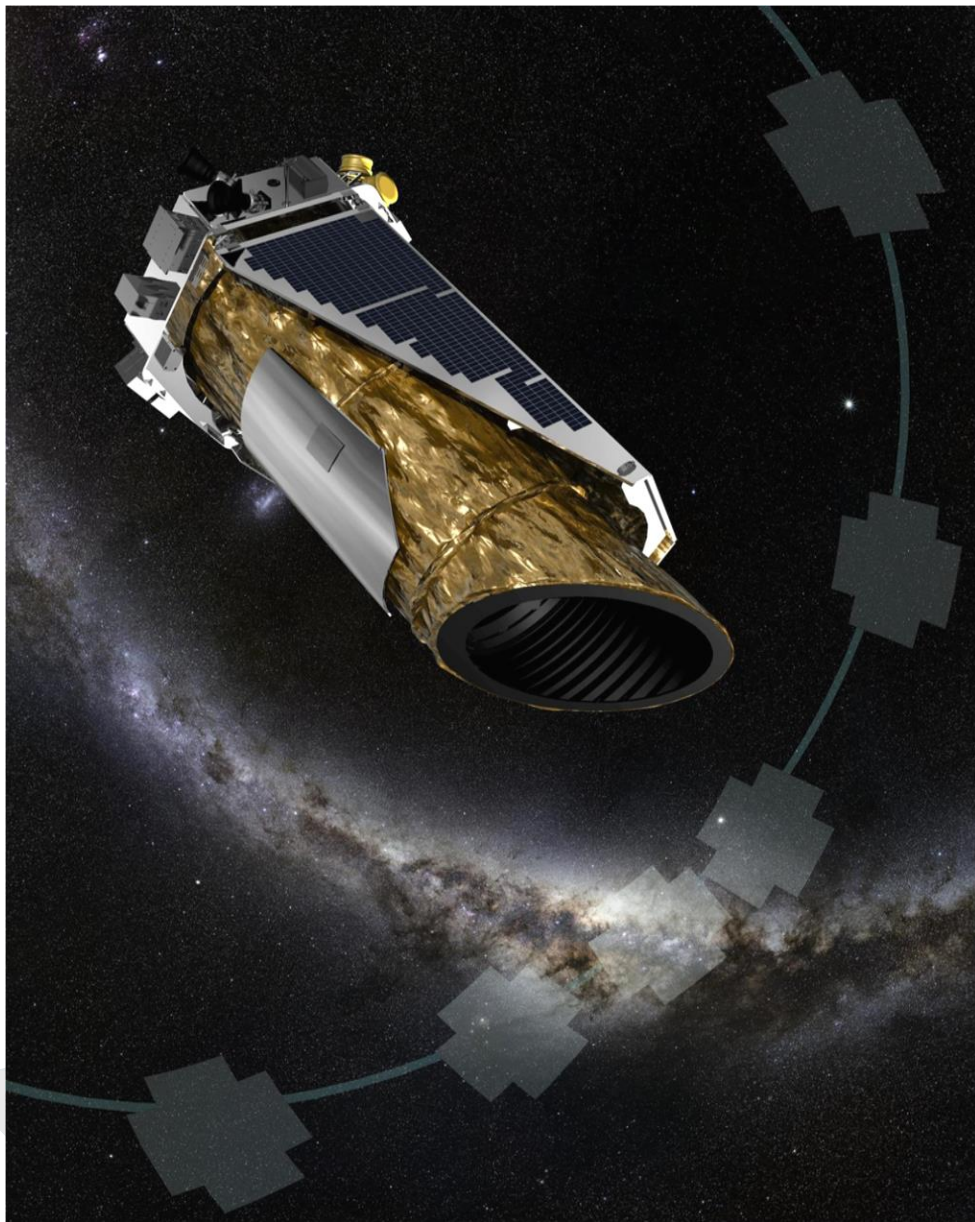
První byl **CoRoT**, francouzský projekt ESA 2006 -13, schopný detektovat i planety Zemi podobné. Sledoval poměrně malé pole cca čtverečních  $8^\circ$  ve vybraných směrech v Galaxii po dobu až 150 d.

Jakkoli mnoho exoplanet neobjevil, úžasně pomohl hvězdné astronomii objevem mnoha pulzujících hvězd, zákrytových dvojhvězd a rotujících CP hvězd. Rozběhl nový astrofyzikální směr – **astroseismologii**.

Uspěl tak hlavně v tom, co prováděl na vedlejšák.







## Kepler. K2

2014-18 civěl na  $105^\circ$  velké pole v Labuti se 150 tisíc hvězd v barvě V. Za 3,5 roku objevil **2300 exoplanet**.

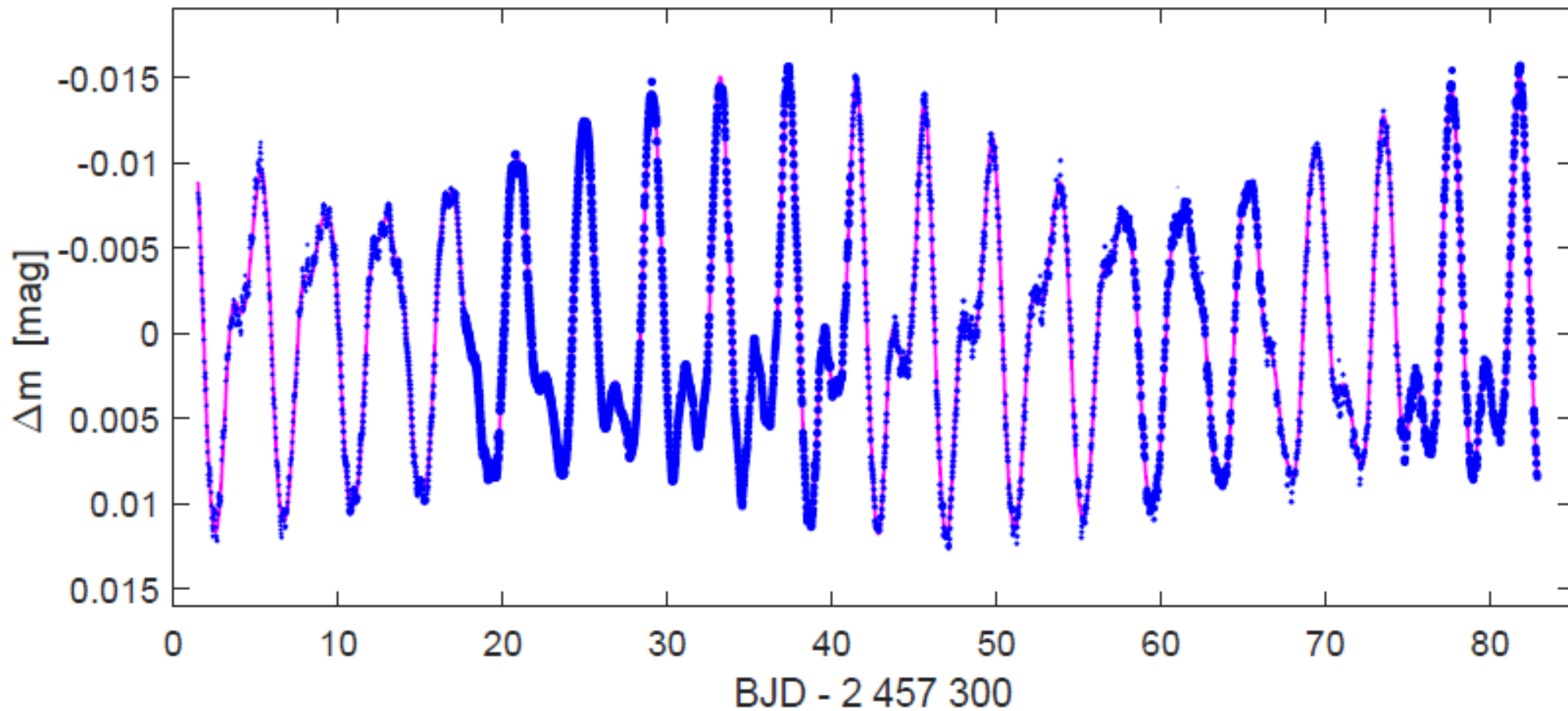
Měření jasnosti publikována, po zpracování přesnost pod 0,1 mmag. Lze studovat jemné **detaily sv. křivek**, i jejich změny. Vesměs jde o slabé hvězdy, které se ale nsnadno spektrálně charakterizují, LAMOST je řešení.

Po 3,5 letech služby už gyroskopy nedokázaly dalekohled udržet v jednom směru. Povedl se husarský kousek, Kepler funguje dál, i když v jiném módu – **K2**.

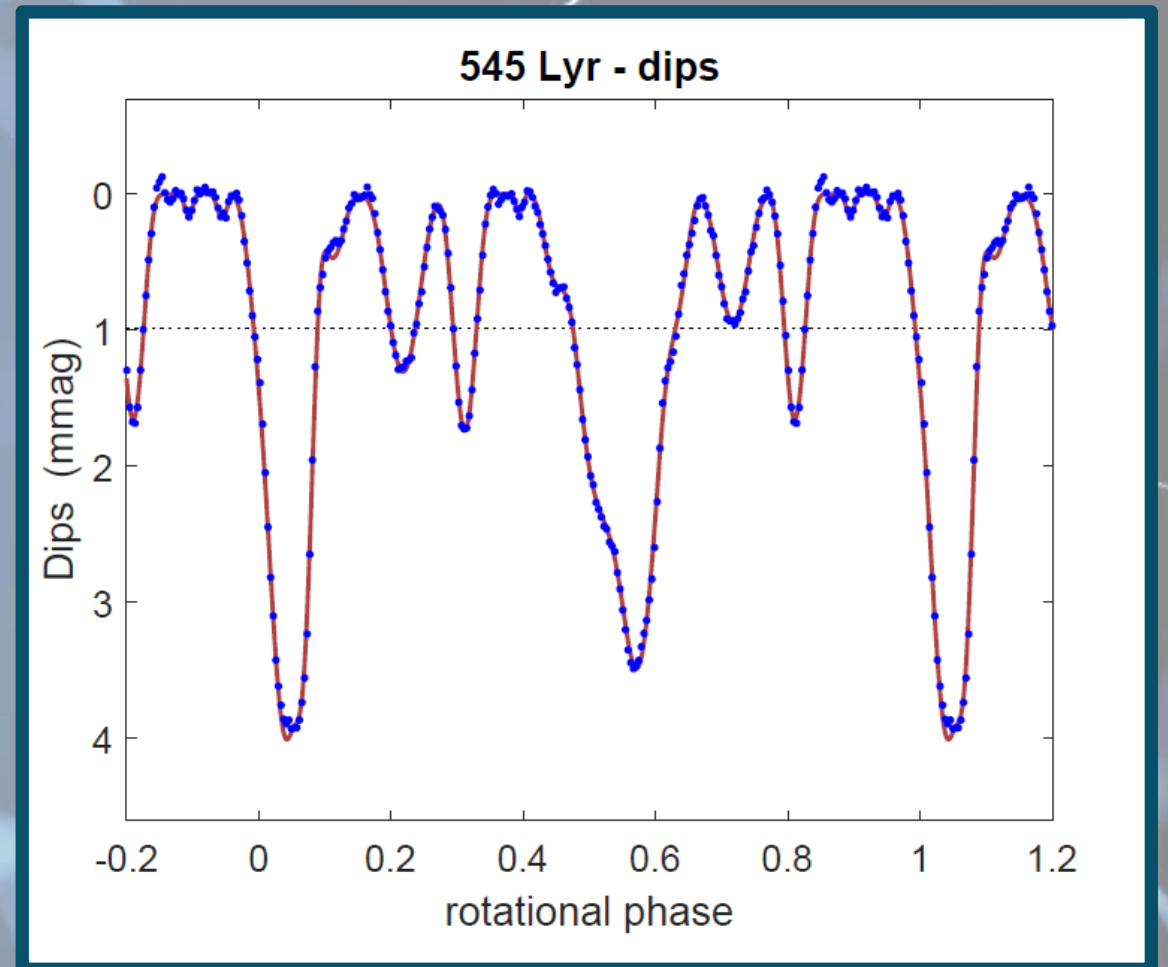
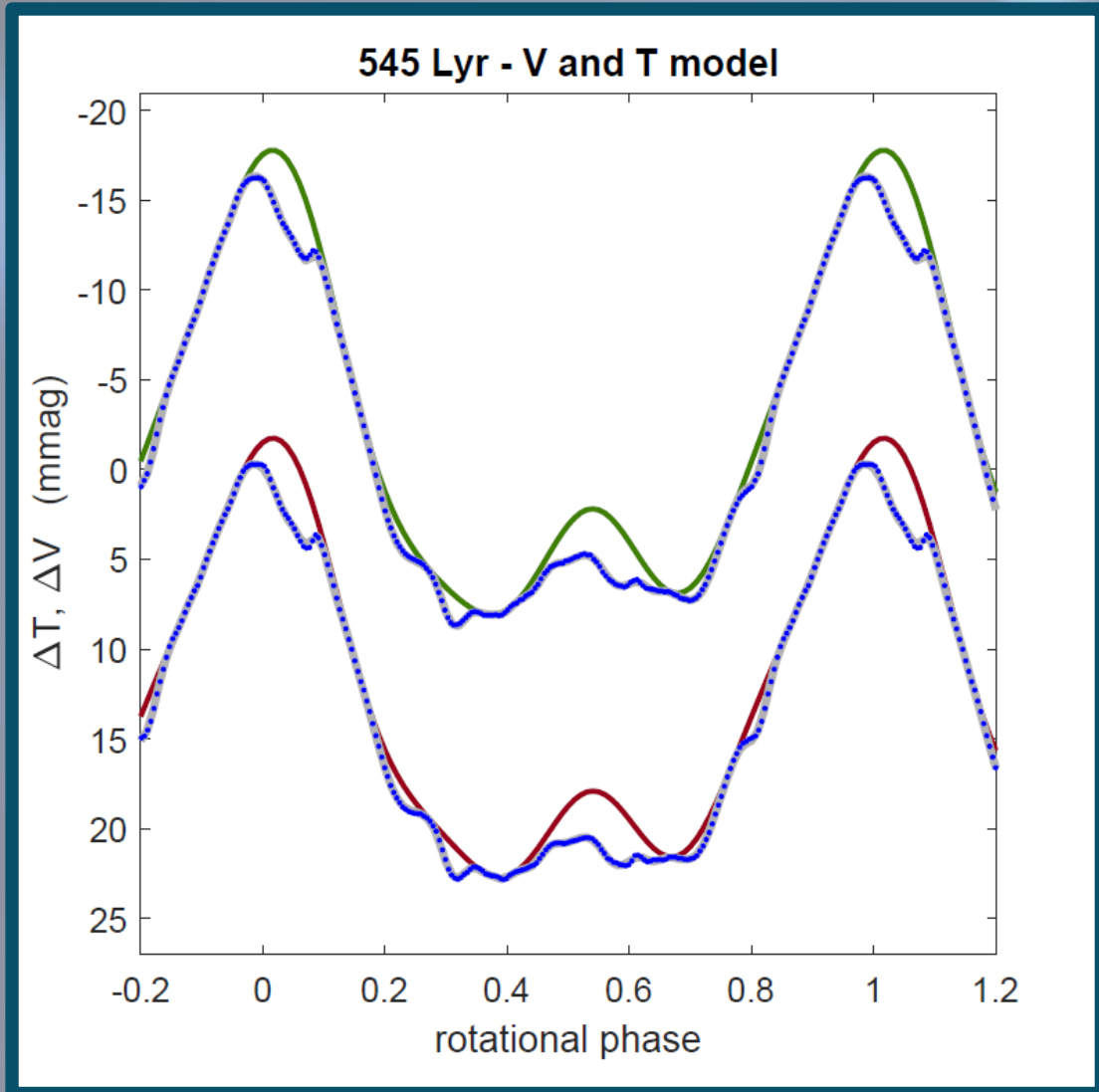
Nyní postupně prohlíží pole poblíž ekliptiky, ale jen tři měsíce. Proměřil tak 500 tisíc dalších hvězd a opět slouží hvězdné astronomii ve vyhledání jak standardních, tak i atypických proměnných hvězd.

Specialista na exoty, kde světelnou křivku určuje více mechanismů proměnnosti.

# HD 174 356



# 545 Lyrae





# Transiting Exoplanet Survey Satellite



**Anti-Kepler** – liší se od něj ve všech ohledech. Proměřuje **jasné hvězdy** do 12 mag na 85% oblohy čtyřmi kamerami  $24^\circ \times 96^\circ$ . Eliptická, vysoká dráha s periodou 13,7 d v rezonanci 2:1 s Měsícem, přenos dat v perigeu.

Promyšlený projekt, 2018 – 25: 7 ročních cyklů, včera začal ten poslední. 4 malé dalekohledy o průměru 10,5 cm, 600-10000 nm, 350 kg. **96** 28-denních **sektorů**.

Postupně se zlepšuje kvalita pozorování, nejlepší kadence dvě minuty. Výtečně pokryty oblasti pólů ekliptiky, Drak apod.

**Přesnost** po dobrém detrendování 0,4 mmag, k dispozici nejčastěji 2-4 sektory, takže periody dobře určené. Úžasné, nečekané **objevy** – třeba dipy v LC.

V současnosti každá třetí práce z hvězdné astronomie využívá TESS. Všem dostupný odpad po lovcích planet mnohokrát recyklován, **hvězdná astronomie** zkrásněla, stala se **znovu atraktivní**. Další speciální kosmické mise jsou již v běhu.