

Posudok na habilitačnú prácu

Dr. Petr Kabáth:

"Efficient ground-based follow-up forexoplanetary space missions"

V habilitačnej práci je zhrnutý výskum Dr. Kabátha zameraný na exoplanéty. Hlavný dôraz bol kladený na podporné pozemské fotometrické a spektroskopické pozorovania. Dr. Kabáth sa okrem teoretického štúdia objektov venoval a naďalej venuje aj prístrojovej technike. Zameranie práce je veľmi aktuálne, keďže veľká väčšina kandidátov na exoplanéty vyžaduje potvrdenie pozemskými, najmä spektroskopickými pozorovaniami.

Dr. Kabáth sa venoval pozemskej podpore družicových misií už počas prípravy svojej dizertačnej práce. Výsledky boli publikované v prvej priloženej práci (Fruth et al., 2012, AJ, 143, 140), ktorá prezentuje prehliadku poľa družice CoRoT ďalekohľadom BEST II, ktorý bol umiestnený na observatóriu Cerro Armazones v Čile. Dlhodobé pozorovania poľa zo Zeme viedli k presnej fotometrii zhruba 100.000 hviezd, pričom bolo nájdených 426 nových periodických premenných hviezd. Významná je nová metodológia umožňujúca spoľahlivejšiu detekciu premenných hviezd a nájdenie väčšieho množstva objektov.

Veľmi dôležité je založenie skupiny zameranej na výskum exoplanét na Astronomickom ústave AV ČR v Ondřejove v spolupráci s významnými pracovníkmi v zahraničí. Dr. Kabáth ako prvý otestoval možnosti ondřejovského ešletového spektrografu (OES) umiestneného na 2-metrovom ďalekohľade v Ondřejove. Výsledky testov (Kabáth et al., 2020, PASP, 132) ukazujú relatívne dobrú stabilitu systému radiálnych rýchlostí. Rozptyl radiálnych rýchlostí zistený pozorovaním štandardnej hviezdy HD109358 je na úrovni 80 m/s ale pri dlhodobých meraniach je na úrovni až 350 m/s. Obrázok 9 ukazuje pomerne nízku optickú účinnosť spektrografu. V čase testov bol spektrograf v režime Coudé. Testy spektrografu využívajú overené avšak nie veľmi inovatívne metódy. Výsledky ukazujú, že spektrograf je použiteľný najmä na vylúčenie dvojhviezd, kde sú amplitúdy zmeny radiálnej rýchlosti na úrovni niekoľkých kilometrov za sekundu.

OES bol ďalej testovaný pozorovaním horúcich hviezd spektrálneho typu A pozorovaných misiou Kepler (Kabáth a kol., 2019, MNRAS, 489, 2069). Merania radiálnych rýchlostí šiestich horúcich hviezd dvoma spektrografmi (OES a Coudé spektrograf na 2m ďalekohľade v Tautenburgu), viedli k horným odhadom hmotnosti potenciálnych exoplanét a vylúčili možnosť, že niektorý z kandidátov je dvojhviezda. Analýza svetelných kriviek (Kepler) 166 objektov programom EXTRANS nevedla k fotometrickej detekcii tranzitu. Okrem testu spektrografu OES práca viedla k odhadu horného limitu výskytu blízkych a masívnych exoplanét okolo hviezd spektrálneho typu A na 0.75 percenta. To je značne menej, ako sa doteraz predpokladalo. Keďže sa jednalo o pomerne rýchlorotujúce hviezdy, stabilita systému radiálnych rýchlostí výrazne neovplyvnila presnosť meraní.

Nové pozorovania z OES prispeli k potvrdeniu troch tranzitujúcich exoplanét TOI-2046b, TOI-1181b a TOI-1516b. Práca (Kabáth et al., 2022, MNRAS, 513, 5955) prezentuje výsledky získané tromi spektrografmi. Medzi nimi je aj OES. Podľa kapitoly 2.4.1. sa zdá, že spektrograf už bol modernizovaný, ale je uvedený len odkaz na prácu z roku 2020, kde je spektrograf ešte pred modernizáciou. Práca dokumentuje význam 2-3 metrových ďalekohľadov pre nájdenie a charakterizovanie tranzitujúcich exoplanét najmä v prípade misie TESS, ktorá viedla k nájdeniu veľkého množstva relatívne jasných kandidátov v dosahu takýchto prístrojov. Vďaka vyššej presnosti radiálnych rýchlostí a možnosti pozorovať aj slabšie objekty, OES vo významnej miere prispieva v rámci konzorcia Kesprint, ktoré združuje významných astronómov (členom je aj Dr. Kabáth) a zameriava sa na výskum tranzitujúcich exoplanét, ktoré boli nájdené v rámci družicových fotometrických misií.

Okrem týchto výsledkov zameraných na pozemské pozorovania exoplanetárnych kandidátov, sa Dr. Kabáth venoval aj na tranzitnej spektroskopii, ktorá umožňuje študovať atmosféry exoplanét a

zistiť ich chemické zloženie. Porovnanie spektra objektu (exoplanéta spolu s materskou hviezdou) počas a mimo zákrytu umožňuje detegovať spektrálne čiary vznikajúce v atmosfére exoplanéty.

Zaujímavým príspevkom Dr. Kabátha (Cáceres et al., 2014, A&A 565, A14) je analýza transmisnej spektroskopie exoplanéty GJ1214b obiehajúcej chladného trpaslíka spektrálneho typu M. Spektroskopické pozorovania získané prístrojmi OSIRIS a SofI viedli k zisteniu, že exoplanéta má atmosféru bez výrazných spektrálnych čiar zloženú z mrakov s vysokou molekulovou hmotnosťou.

Tranzitnej spektroskopii sa Dr. Kabáth venoval aj v práci zameranej na známu tranzitujúcu exoplanétu WASP-18b (Kabáth a kol., 2019, PASP 131). Tu využil vysokodisperznú spektroskopiu zo spektrografu FEROS umiestnenom na 2,2 m ďalekohľade na LaSilla (Európske južné observatórium, ESO). Hoci pozorovania nevedli k detekcii sodíka, ukazujú možnosti stabilných spektrogrfov umiestnených na 2-metrových ďalekohľadoch. V prípade, že abundancia sodíka je rovnaká ako pri HD189733, bolo nájdených zhruba 10 vhodných kandidátov pre pozorovania s 2-metrovým ďalekohľadom.

Analýza archívnych pozorovaní zo spektrografu HARPS (3,6m ďalekohľad LaSilla, ESO) bola zameraná na detekciu čiar sodíka, horčíka, vodíka a lítia v atmosférach exoplanét (Žák et al., 2019, AJ, 158, 120). Významným výsledkom je nájdenie sodíka v atmosférach WASP-76b a WASP-127b, čo je pravdepodobne prvý podobný výsledok získaný ďalekohľadom stredného priemeru.

Dr. Kabáth je hlavným riešiteľom projektu PLATOSpec. Projekt je zameraný na modernizáciu 1,52-metrového ďalekohľadu na La Silla v Chile, ktorý prestal byť využívaný ESO. V rámci projektu bolo modernizované ovládanie ďalekohľadu a v súčasnosti sa dokončuje ešletový spektrograf, ktorý bude hlavným ohniskovým prístrojom ďalekohľadu. Spektrograf bol naprojektovaný na získavanie vysoko presných radiálnych rýchlostí a odhaduje sa, že umožní dosiahnuť presnosť 3-5 m/s pre hviezdy do 12. magnitúdy. Výhodou spektrografu je, okrem toho, široký spektrálny rozsah, ktorý zahŕňa aj čiary ionizovaného vápnika Ca II H a K v blízkej ultrafialovej oblasti. Hlavným cieľom projektu je hľadanie a charakterizovanie exoplanét nájdených kozmickou misiou PLATO plánovanej na rok 2026.

K práci mám nasledujúce pripomienky a komentáre:

V časti "2 Ground-based instrumentation supporting space missions" sú systémy adaptívnej optiky (AO) spomenuté len veľmi stručne. Pritom, pozorovania s vyšším uhlovým rozlíšením sú dôležité pre vylúčenie objektov, ktoré môžu ovplyvňovať pozorovania a viesť k nesprávnym záverom. Difrakčne-limitované uhlové rozlíšenie 2-metrového ďalekohľadu je vo vizuálnej oblasti zhruba 0,07 uhlovej sekundy. Okrem komplikovaných a drahých systémov AO by bolo možné na 2m ďalekohľade uvažovať aj škvvrnkovú interferometriu alebo tzv. „lucky-imaging“.

V časti „2.1 Photometric follow-up“, celkom chýba význam viacfarebnej pozemskej fotometrie pre štúdium exoplanét. Tú umožňuje získať spomínaný prístroj MuSCAT 2 simultánne v niekoľkých kanáloch. Viacfarebná fotometria je veľmi dôležitá aj preto, že prvou družicou, ktorá ju umožní pre väčšie množstvo objektov je ARIEL.

Z textu a obrázkov v časti 2.2 „Precise spectroscopic instrumentation for 2-m class telescopes“ nie je zrejmé či stabilita radiálnych rýchlostí meraná v roku 2018 je aktuálna. Rozptyl radiálnej rýchlosti hviezdy na úrovni 83 m/s je dosť veľký. Takého pozorovania sú len ťažko použiteľné pre výskum exoplanét. Nie je celkom jasné, kedy bola modernizácia OES vykonaná a aký je príspevok Dr. Kabátha.

V častiach „2.2 a 2.3“ chýbajú detaily ku postupu pri vylúčení spektroskopických dvojhviezd. Celkovo v práci chýba aspoň stručná zmienka o faktoroch limitujúcich presnosť určenia radiálnych rýchlostí a to nielen z pohľadu prístrojovej techniky ale aj z pohľadu samotného objektu (premennosť, spektrálny typ, rotácia a podobne).

V popise projektu PLATOSpec (časť 2.4, „The PLATOSpec project - future ground-based follow-up facility“) sa spomínajú 2-4m ďalekohľady. Ďalekohľad E152 má pritom priemer hlavného zrkadla 1,5 metra. Môže takýto prístroj poskytovať použiteľné dáta a konkurovať 2-4m ďalekohľadom? Aké sú hlavné výhody ďalekohľadu v porovnaní s väčším ďalekohľadom v Ondřejove?

Porovnanie pomeru signálu k šumu (SNR) v prípade spektrografu PUCHEROS+ a OES nie je celkom korektné, keďže spektrograf PUCHEROS má značne nižšie spektrálne rozlíšenie ako OES (20k versus 50k).

V časti „3. Exoatmospheres with 2-4-m class telescopes“ by bolo zaujímavé vykresliť hmotnosť objavených exoplanét (obdobne, ako je to v obrázku 3.1 pre polomer exoplanéty), keďže je to práve hmotnosť exoplanéty, ktorá súvisí s amplitúdou radiálnych rýchlostí a teda aj s presnosťou pozorovaní.

Popis transmisnej spektroskopie na základe fotometrických pozorovaní je nepresný (časť „3.2 Combining spectroscopy and photometry“). V texte chýba vysvetlenie princípu transmisnej spektroskopie využitím fotometrie, ktorá je založená na určení relatívneho polomeru exoplanéty v rôznych spektrálnych oblastiach. Prítom absorpcia svetla v atmosfére exoplanéty ovplyvňuje nameraný polomer exoplanéty.

V časti „3.3 Sodium in the transmission spectra of hot Jupiters“ je spomenutý Rossiter-McLaughlinov efekt. Nie je vysvetlené, čo nám umožňuje tento efekt zistiť pri exoplanétach. V texte je uvedené len „R-M effect offers a description of the planetary orbit (Triaud, 2018)“.

K práci o TOI-2046b, TOI-1181b a TOI-1516 publikovanej v MNRAS nie je uvedená finálna citácia a priložená práca (od strany 74) je z astro-ph.

Úvodná časť práce je napísaná kvalitne a je tam len málo preklepov a drobných gramatických chýb („Rayleigh scattering“, „The min-Neptune GJ124 b“, „spectrophotometric“, „HD189739 b“ namiesto „HD189733b“, „TOI-204“ namiesto „TOI-2046“, „Wasp-18 b“ namiesto „WASP-18b“, „Baker-Ritchie-Chrétien“, „in opposite phases“, „millimagnitude“, „with a few Gyr age“, „giants might be most likely extremely“).

Kontrola originality prác prostriedkami systému Turnitin ukazuje, že habilitačná práca je originálna. Podobnosti s inými publikáciami sú minimálne a zanedbateľné.

Drobné nedostatky a nepresnosti neznižujú veľmi dobrú úroveň habilitačnej práce. Súbor priložených prác predstavuje výsledky uceleného výskumu a znamená významný príspevok k problematike exoplanét. Preto doporučujem Vedeckej rade Karlovej Univerzity po úspešnej obhajobe habilitačnej práce udeliť Dr. Kabáthovi titul "Docent".

V Tatranskej Lomnici, 1.VIII.2023

RNDr. Theodor Pribulla, CSc.
Astronomický ústav SAV, v. v. i.
059 60 Tatranská Lomnica
Slovenská Republika

