Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě
Univerzity Karlovy

☒ posudek vedoucího ☐ posudek oponenta
☐ bakalářské práce ☒ diplomové práce

Autor/ka:	Bc. Jakub Podgorný
Název práce:	Polarizace rentgenového záření akrečních disků v aktivních galaktických jádrech
Studijní program a obor:	Fyzika, Astronomie a astrofyzika
Rok odevzdání:	2020

Jméno a tituly vedoucího/oponenta:	RNDr. Michal Dovčiak, Ph.D.
Pracoviště:	Astronomický ústav AV ČR, v.v.i.
Kontaktní e-mail:	dovciak@asu.cas.cz

Odborná úroveň práce:
☒ vynikající ☐ velmi dobrá ☐ průměrná ☐ podprůměrná ☐ nevyhovující

Věcné chyby:
☒ téměř žádné ☐ vzhledem k rozsahu přiměřený počet ☐ méně podstatné četné ☐ závažné

Výsledky:
☒ originální ☐ původní i převzaté ☐ netriviální kompilace ☐ citované z literatury ☐ opsané

Rozsah práce:
☒ veliký ☐ standardní ☐ dostatečný ☐ nedostatečný

Grafická, jazyková a formální úroveň:
☐ vynikající ☒ velmi dobrá ☐ průměrná ☐ podprůměrná ☐ nevyhovující

Tiskové chyby:
☒ téměř žádné ☐ vzhledem k rozsahu a tématu přiměřený počet ☐ četné

Celková úroveň práce:
☒ vynikající ☐ velmi dobrá ☐ průměrná ☐ podprůměrná ☐ nevyhovující

Slovní vyjádření, komentáře a připomínky vedoucího:

Diplomová práce má čtyři kapitoly. V úvodní kapitole je širší shrnutí celého tématu diplomové práce. Začíná definicí polarizace záření a popisem procesů, které ji generují zejména v rentgenovém oboru záření, a základních principů jejího měření pomocí rentgenových detektorů, kde se zaměřuje na „gas pixel detectors“ (GPDs), které ponese americká družice „Imaging X-ray Polarimetry Explorer“ (IXPE). Pokračuje popisem studovaných objektů, aktivních galaktických jader, jejich observačních vlastností a fyzikálních modelů rádiovo tichých typů těchto zdrojů rentgenového záření. Dále shrnuje obecně relativistické efekty ovlivňující trajektorii fotonů vyzářených či procházejících v blízkosti zdroje se silnou gravitací a účinky této gravitace na výsledný pozorovaný tok fotonů a jejich polarizaci. Úvodní kapitola končí stručným popisem jednotlivých kódů, pomocí kterých se v současnosti modelují vlastnosti záření rádiovo tichých aktivních galaktických jader, a které byly použity pro výzkum v rámci této diplomové práce. Tato kapitola se daných témat dotýká v dostatečném rozsahu potřebném pro pochopení tématu diplomové práce a svědčí o pečlivé přípravě a velmi dobrou orientaci studenta v dané problematice. Protože se v mnohých aspektech nejedná o materiály zařazeny do obsahu standardní výuky, znamenalo to prostudování mnoha odborných článků (některé hlouběji, jiné jen zevrubně) a učebnicového textu. V této i dalších kapitolách se práce odkazuje na mnoho referencí, kterých citace jsou adekvátní, a které si Jakub dohledal většinou samostatně.

Druhá kapitola již obsahuje původní výsledky Jakubovi vědecké práce. Ta navazovala na předchozí odborný projekt, kde bylo úkolem zpracovat výsledky výpočtů Monte Carlo kódem STOKES, který je vyvíjen francouzskými kolegy. V průběhu projektu jsme zjistili, že výsledky výpočtů jsou nesprávné kvůli chybě v kódu STOKES. Po opravě kódu bylo tedy nutno provést nové výpočty. V rámci předchozího projektu a také vědecké práce pro tuto kapitolu se Jakub blíže seznámil s tímto kódem a prací s ním, upravil skripty pro jeho efektivní spouštění na klastru Virgo na našem ústavu a vytvořil skripty v jazyce Python pro uložení výsledků do standardního formátu OGIP FITS. V rámci této kapitoly výsledky výpočtů porovnal s jinými publikovanými v literatuře, kde také kontaktoval autora pro bližší informace a také vyjednal s vydavatelem i autorem použití obrázku z odborného článku ve své práci. V této části se také obeznámil s celou procedurou pro výpočet lokálních spekter a polarizace odraženého záření z disku, včetně výpočtu struktury disku pomocí kódu přenosu záření TITAN. Část týkající se polarizace bylo možno porovnat jen s aproximativními výpočty, protože se jedná o vůbec první numerické výpočty přenosu záření v akrečním disku, které polarizaci zahrnují.

Zatímco druhá kapitola se věnuje lokálnímu záření z disku v lokální soustavě pohybující se s diskem, ve třetí kapitole se pomocí numerického kódu KYNSTOKES počítají spektra a polarizace záření přicházejícího z celého disku, jak by je zachytily detektory družice. K tomu bylo třeba upravit kód (v jazyku C) tak, aby načetl vytvořené FITS tabulky lokální emise. Student upravil původní kód KYNLPCR využívající pro výpočet polarizace při rozptylu fotonu na elektronu Chandrasekharovu aproximaci jedného rozptylu. Pak byl tento kód použit pro výpočet několik modelových případů, které byly porovnány se spektrem a polarizací disku vypočítanými podobnými kódy (KYNXILLVER a původním KYNLPCR). V této kapitole Jakub vytvořil mnoho porovnání i podle článku Dovčiak et al. (2011), které ale nebyly již do práce zahrnuty, protože již nebyl dostatek času na jejich prokonzultování.

V poslední kapitole Jakub využil kód KYNSTOKES pro simulaci pozorování s družicí IXPE. K tomu bylo nutné obeznámit se s dokumentací simulačního nástroje IXPEOBSSIM speciálně vyvinutého pro družici IXPE. Protože se jedná o uzavřený kód přístupný pouze pro vědecký tím družice IXPE, byl Jakub přijat mezi vědecké spolupracovníky této mise. Pro simulaci dat byly vybrány tři aktivní galaktické jádra, ke kterým si Jakub v literatuře našel všechny potřebné informace (hmotnost centrální superhmotné černé díry, jejich rentgenovou luminozitu v oboru energií 2-10 keV, inklinaci systému apod.). Poté vytvořil několik modelových spekter a polarizací pro různé spiny černé díry a vzdálenosti korony od akrečního disku pomocí kódu KYNSTOKES. Tyto pak použil v IXPEOBSSIM. K tomu si Jakub IXPEOBSSIM nainstaloval a upravil skrypty pro generování

simulovaných dat pro aktivní galaktické jádra na nejnovější verzi programu (jinak byly nefunkční). Výsledky těchto simulací jsou završením diplomové práce.

Závěrem bych chtěl upozornit ještě na několik aspektů. Téma této diplomové práce bylo zvoleno záměrně dost široké, aby si student prošel celým spektrem vědecké práce – od rozsáhlé četby vědeckých článků a nastudování celé problematiky, přes pochopení funkčnosti kódů, jejich úpravu a použití, vytvoření vlastních skriptů, porovnání výsledků vlastní práce s výsledky dostupnými v literatuře až k samotné práci s daty, v tomto případě jejich simulace podle výsledků numerických výpočtů pro družici s plánovaným startem na podzim budoucího roku. Jakub se s tak rozsáhlým projektem popral se vší ctí. Oceňuji zejména Jakubovu usilovnost a velice aktivní přístup při studiu dostupné literatury i k samotné vědecké práci a samostatnost při řešení problémů i psaní finálního textu. Prací na tomto projektu si Jakub vytvořil výborné předpoklady k dalšímu pokračování formou doktorského studia, kde by se jednotlivým tématům mohl věnovat hlouběji a kde bude mít možnost sáhnout si i na skutečná data – první rentgenové polarizační data v daném rozsahu energií jak pro akreční disky černých děr v aktivních galaktických jádrech, tak i v rentgenových binárních soustavách. K hodnocení diplomové práce z úvodního dotazníku bych chtěl ještě vyzdvihnout fakt, že diplomová práce byla napsána anglicky, což umožnilo dát práci k recenzi zahraničnímu oponentovi.

Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuze:

Pro ověření správnosti modelu pro polarizaci záření akrečního disku ozářeného rentgenovou koronou nad ním i pro případné určení parametrů systémů (geometrie korony, struktury akrečního disku, spinu černé díry) jsou potřebné dostatečně kvalitní data. Podle výsledků diplomové práce jsou na jejich pořízení s misí IXPE potřebné velmi dlouhé, nereálné, pozorovací časy. Diskutujte význam výsledků z různých úhlů pohledu (např. pro následující misi eXTP, pro použití jako vstup pro výpočet očekávané polarizace vzdálenějších komponent aktivních galaktických jader – jaké to jsou?, v jakém stavu rentgenových binárních soustav by bylo pravděpodobně možné použití výsledků a proč?).

Práci
☒ doporučuji
☐ nedoporučuji
uznat jako diplomovou.

Navrhuji hodnocení stupněm:
☒ výborně ☐ velmi dobře ☐ dobře ☐ neprospěl/a

Místo, datum a podpis vedoucího:

Praha, 16. 06. 2020 Michal Dovčiak