

Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě
Univerzity Karlovy

posudek vedoucího
 bakalářské práce

posudek oponenta
 diplomové práce

Autor/ka: Michal Stratený

Název práce: Orbital dynamics around a black hole surrounded by matter

Studijní program a obor: Fyzika

Rok odevzdání: 2023

Jméno a tituly vedoucího/opponenta: Mgr. Vojtěch Witzany, Dr. rer. nat.

Pracoviště: Ústav teoretické fyziky

Kontaktní e-mail: vojtech.witzany@matfyz.cuni.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/oponenta:

Bakalářská práce Michala Strateného se zabývá orbitální dynamikou testovacích částic v gravitačním poli černých děr obklopených vzdálenou hmotou. Konkrétně se práce zabývá kvantifikací neintegrability, kterou způsobuje vedoucí (kvadrupólový) řád slapového gravitačního pole vzdálené hmoty při pohybu testovací částice v poli Schwarzschildovy černé díry.

These je rozdělena do dvou kapitol. První představuje kompilaci základního teoretického pozadí v teorii pohybu testovacích částic v neporušených polích černých děr, klasické mechaniky, a teorie dynamických systémů, včetně problematiky chaosu. Druhá kapitola pak prezentuje originální výsledky práce, které sestávají z detailního rozboru pohybu v porušeném poli černé díry metodou Poincarého řezů a struktur, které na nich lze pozorovat a kvantifikovat.

Po formální stránce je práce vypracována velmi precizně a na vysoké úrovni, s jen velmi drobnými nedostatky ve formulacích či tiskových konvencích. Tvzení jsou korektně dokládána citacemi, a seznam literatury je pro bakalářskou thési adekvátní až nadprůměrný; lze v něm najít pouze drobnou chybu v citacích preprintů (kromě názvu článku, roku vydání, a autorů by měl být zmíněn odkaz na preprint či ArXiv identifikátor). Jako nadstandardní je třeba vypíchnout fakt, že práce je doprovázena řadou grafů a ilustrací, které byly s obdivuhodnou péčí a konzistencí připraveny přímo autorem práce. Obrázky zahrnují adaptace standardních ilustrací v literatuře, ale i originálně zorganizované grafy, které poskytují detailní vhled do numerických výsledků a zkoumaného dynamického systému.

Co se týče samotného obsahu práce, je zjevně sepsána ve snaze o kompletní a transparentní dokumentaci veškerých výsledků, což je pro bakalářskou práci naprosto adekvátní. Jediná drobná výtka může směřovat k příliš rozvláknutému úvodu, student by se měl naučit uzpůsobovat detailnost popisu danému publiku. V bakalářské práci není potřeba do detailu popisovat témata, která jsou součástí standardního bakalářského kurzu. Rovnice geodetiky například nemusí být odvozená, je součástí bakalářského kurzu teorie relativity. Stejně tak není nutné takto podrobně uvádět lagrangeovský a hamiltonovský formalismus, který je vyučován na začátku druhého ročníku. O to méně prostoru je pak na expozici pokročilejších, ale pro thési velmi důležitých témat. Například kanonická perturbační teorie a Kolmogorova-Arnoldova-Moserova teorie je shrnuta do pár odstavců v sekci 1.12, i když je ústřední pro pochopení numerických výsledků práce.

Samotné numerické výsledky jsou velmi zajímavé a jejich rozsah a dokumentace řadí práci spíše na úroveň některých diplomových prací. Pan Stratený studuje výskyt rezonancí na Poincarého řezech odpovídající pohybu v poli porušené černé díry, a přesvědčivě dokládá jejich kvantitativní škálování s velikostí vnější perturbace. Zejména škálování rezonance 2:3 implikuje silné narušení integrability ve vedoucím řádu při vnější perturbaci černé díry a po rozpracování by měla potenciálně vést i k vědecké publikaci.

Výše zmíněné drobné výtky jsou na bakalářské úrovni zcela pochopitelné a představují spíše náměty pro budoucí práci. Práce je každopádně výborná a navrhuji ji známku 1.

Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuze:

Obrázek 2.6: Jak si lze vykládat skutečnost, že rezonanční trajektorie (c) nemá tak jasný vrchol ve spektru rotačních čísel jako chaotická trajektorie (a)? Například v článku Sukové a Semeráka (2018) „Free motion around black holes with discs or rings: between integrability and chaos — II“ (arXiv:1211.4107) jsou vypočtena Fourierovská spektra trajektorií, z jejichž charakteru od sebe lze poměrně jednoznačně rozeznat regulární a chaotické trajektorie. Bylo by možné takovouto typologii ustanovit i na základě spekter rotačních čísel?

V bakalářské práci byly studovány rezonance různých multiplicit, a byla pro ně nalezena různá škálování s velikostí perturbace vnějším kvadrupólem Q . Toto škálování by nám mělo naznačit, do jakého perturbativního řádu v Q bychom byli v principu schopni zkonstruovat (nesingulární) souřadnice akce-úhel

pro daný systém. Jak souvisí škálování rezonancí (parametr „A“ v thesi) s řádem, do kterého lze v systému konstruovat hladké souřadnice akce-úhel?

Práci

doporučuji

nedoporučuji

uznat jako diplomovou/bakalářskou.

Navrhuji hodnocení stupněm:

výborně velmi dobře dobře neprospěl/a

Místo, datum a podpis vedoucího/oponenta:

16.8. 2023, Vojtěch Witzany