

# Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě  
Univerzity Karlovy

- posudek vedoucího  posudek oponenta  
 bakalářské práce  diplomové práce

Autorka: Eliška Korcová  
Název práce: Pád částic do Kerrovy černé díry  
Studijní program a obor: Fyzika  
Rok odevzdání: 2024

Jméno a tituly oponenta: Mgr. Viktor Skoupy, Ph.D.  
Pracoviště: Ústav teoretické fyziky, MFF UK  
Kontaktní e-mail: viktor.skoupy@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 oponenta:

Bakalářská práce se zabývá trajektoriemi částic v Kerrově prostoročase, které zasahují pod horizont. Nejdříve je uvedena Kerrova metrika v Kerrových-Schildových a Boyerových-Lindquistových souřadnicích a jsou diskutovány její vlastnosti a struktura pod horizonty včetně diskuse fyzikality pod vnitřním horizontem. Dále jsou uvedeny Carterovy pohybové rovnice, se kterými je dále pracováno.

V následující kapitole jsou diskutovány povolené oblasti, ve kterých se může částice pohybovat v závislosti na konstantách pohybu. V této kapitole jsou výsledky převzaty z literatury a shrnuty pro pohyb pod horizontem.

Dále je popsán numerický výpočet rovnic pohybu pomocí metody Runge-Kutta 4, který autorka implementovala v Pythonu. Při řešení jsou ošetřeny případy, kdy částice prochází body obratu, horizontem a singularitou. Numerické výsledky jsou porovnány s analytickými výsledky z literatury a je určena optimální numerická metoda.

Následující kapitola obsahuje hlavní výsledky ve formě grafů a pozorování chování trajektorií pro různé konstanty pohybu. Pro tento účel jsou trajektorie vykresleny v souřadnicích odvozených z Kerrových-Schildových a to buď v ekvatoriální rovině, korotující rovině  $\rho_z$ , nebo ve 3D prostoru. Nakonec je zformulován závěr shrnující vliv jednotlivých konstant na pohyb částic.

Tato práce je zajímavá tím, že se zabývá pohybem částic pod horizontem, který nebyl v literatuře příliš zkoumán, kvůli nesouladu Kerrova řešení pod horizontem s fyzikálními černými dírami, což je v práci okomentováno. Zvláště je potřeba vyzdvihnout autorčinu práci na implementaci numerického výpočtu trajektorií Rungeho-Kuttovou metodou a analýzu numerických chyb.

## Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuze:

- Proč se na Obrázku 4.2 chyba radiální souřadnice zmenší po průchodu horizontem, když by se intuitivně měla zvětšit kvůli změně znaménka a nenulové toleranci  $ur\_eps$ ?
- Kde lze na Obrázku 4.3 vyčíst, že chyba nezávisí na kroku? Nejsou obrázky 4.3 a 4.4 prohozené?
- Vzhledem k tomu, že na horizontech není fyzikální singularita, v jakých souřadnicích by byl pohyb přes horizonty pro souřadnice  $t$  a  $\phi$  regulární?
- Na straně 24 je zmíněno, že částice s  $E > m$ ,  $Q = 0$  se zastaví na centrálním disku. Jak takový pohyb probíhá? Zůstane tam částice stát, nebo tam má bod obratu?
- Jak vypadá radiální a polární pohyb částice pro mezní případ  $Q = -(|L| - a\mathcal{E})^2$  podle rovnice (3.6)?

## Práci:

- doporučuji  
 nedoporučuji  
uznat jako bakalářskou.

## Navrhuji hodnocení stupněm:

- výborně  velmi dobře  dobře  neprospěla

Místo, datum a podpis oponenta:

Praha, 23. srpna 2024