



UNIVERZITA KARLOVA  
Matematicko-fyzikální  
fakulta

Posudek vedoucího doktorské disertační práce RNDr. Adama Vrátného

### Spacetimes with black holes

Tématem předložené disertační práce je systematické studium přesných čtyřrozměrných prostoročasů Einsteinovy obecné relativity, jež představují černé díry. Konkrétně jde o důkladnou analýzu Plebaňského–Demiaňského třídy řešení z roku 1976, jež obsahuje všechny nabitě, rotující a zrychlují černé díry algebraického typu D s kosmologickou konstantou a (nenulovým alignovaným) elektromagnetickým polem. Tyto prostoročasy obsahují celkem sedm nezávislých integračních konstant. V roce 2006 Griffiths a Podolský našli vhodnou souřadnicovou reprezentaci celé třídy, jež v obecném případě jednoznačně určila fyzikální význam integračních parametrů. Doktorandovi se tuto souřadnicovou reprezentaci podařilo *dále vylepšit* do asi nejlepší možné podoby. Ta umožňuje snadněji studovat geometrické a fyzikální vlastnosti kompletní třídy černých děr typu D, včetně vzájemné souvislosti různých podtříd, mezi něž patří Kerrový–Newmanovy–(anti-)de Sitterovy černé díry, nabitě NUT–(anti-)de Sitterovy černé díry, jejich zrychlené verze (tedy zobecnění C-metriky) a tak dále.

Doktorandovy původní výsledky byly publikovány v sérii *tří rozsáhlých publikací* v prestižním časopise *Physical Review D*. Obsah článků tvoří i přirozenou strukturu disertační práce, která po obecném úvodu obsahuje ve třech kapitolách vždy shrnutí hlavních výsledků příslušného článku, prezentuje jeho originální verzi, následovanou užitečnými komentáři.

V pořadí druhý článek z roku 2021 (Phys. Rev. D **104**, 084078) obsahuje nový vylepšený tvar zmíněných černých děr v případě nulové kosmologické konstanty. Ve třetím článku z letošního roku byl pak odvozen nový tvar prostoročasů včetně kosmologické konstanty, tedy *kompletní třídy* černých děr typu D. V době podání disertace byl již přijat k publikaci a probíhaly korektury, publikován byl 20. dubna 2023 (Phys. Rev. D **107**, 084034). Tyto dva články osobně považuji za velmi významné. Lze očekávat, že nový explicitní tvar celé třídy prostoročasů nyní umožní zjednodušit řadu předchozích analýz a zkoumat i další vlastnosti. Nepřekvapilo by mne, kdyby tyto práce záhy získaly solidní citační ohlas.

Překvapivým faktem, který nový vylepšený tvar obecné metriky explicitně potvrdil, je skutečnost, že pro nulovou hodnotu Kerrova rotačního parametru černé díry nutně vymizí

také zrychlení. Jinými slovy, v celé rozsáhlé (sedmiparametrické) třídě řešení typu D *neexistují zrychlující černé díry výhradně s NUT* parametrem. Takové řešení přesto bylo v roce 2006 nalezeno a vyvstala tudíž závažná otázka, v jaké vztahu je k obecně Plebaňského–Demiaňského třídě řešení. Právě to je předmětem první publikace Adama Vrátného z roku 2020 (Phys. Rev. D **102**, 084024). V práci bylo (mimo jiné) dokázáno, že toto řešení je zcela jiného algebraického typu, konkrétně obecného typu I. Proto *nemůže* být součástí třídy černoděrových řešení typu D.

Není účelem mého posudku podrobně popisovat jednotlivé výsledky. Je jich opravdu hodně a jsou, dle mého soudu, *hodnotné a zajímavé*. Všechny tři články (které vznikaly v obtížné době covidových uzávěr „naší vzájemnou interakcí na dálku“) jsou *rozsáhlé a dlouhé* (vždy téměř 30 stran) a vyšly v *prestižním mezinárodním časopise*. Po obsahové stránce je tedy doktorská disertační práce RNDr. Adama Vrátného nesporně významným a originálním přínosem ke studiu přesných prostoročasů v Einsteinově obecné teorii relativity. Práce je také dobře a přehledně organizovaná, má i výtečnou grafickou podobu.

Adama znám již 8 let. Byl jsem vedoucím jeho bakalářské práce (2015-16), diplomové práce (2016-18) a nakonec jeho školitelem a vedoucím doktorské disertace (od roku 2018). Mohu dosvědčit jeho zájem o studovanou problematiku i pečlivost v provádění různých výpočtů (včetně algebraických manipulací a generování grafických výstupů). Rád bych také zdůraznil, že *tři hlavní nápady*, které vedly k odvození nového vylepšeného tvaru černoděrových prostoročasů typu D (konkrétně odvážné redefinice parametrů hmotnosti a náboje černé díry, konformní přeškálování obvyklé metriky speciálním konstantním faktorem, a konečně i unikátní kalibrační volba twistového parametru) jsou *Adamovy vlastní příspěvky*.

Na závěr bych rád uvedl, že *ve všech ohledech má disertační práce předložená Adamem Vrátným velmi vysokou kvalitu a jasně demonstruje jeho schopnost provádět tvůrčí výzkum v oboru Einsteinovy teorie gravitace*. Práce dle mého soudu splňuje všechna požadovaná kritéria, a proto ji rád doporučuji přijmout jako doktorskou disertaci na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy.

AEI Golm, 28. 5. 2023

prof. RNDr. Jiří Podolský, CSc., DSc.

Ústav teoretické fyziky  
Matematicko-fyzikální fakulta  
Univerzita Karlova

V Holešovičkách 2  
18200 Praha 8, Czech Republic  
tel.: +420 221 912 505  
e-mail: podolsky@mbox.troja.mff.cuni.cz