

## Posudek vedoucího na diplomovou práci Bc. Vojtěcha Witzanyho

Astrofyzikální představy o černých dírách pravděpodobně přítomných v galaktických jádrech a v některých rentgenových dvojhvězdách jsou obvykle založeny na modelování fyzikálních procesů v Kerrově prostoročasu. Kerrova metrika však popisuje pole *izolované stacionární černé díry v asymptoticky plochém prostoročasu*, zatímco zmíněné reálné situace mají tyto vlastnosti nanejvýš přibližně. Nabízí se tedy otázka, v čem se pole *interagující* černé díry v *reálném* vesmíru liší od Kerrova ideálu a jaké by to mohlo mít důsledky.

Kerrův prostoročas je skutečně velmi speciální. Je výjimečný např. v tom, že ačkoli je jen osově (nikoli sféricky) symetrický, rovnice geodetiky, popisující pohyb volných testovacích částic, je v něm úplně integrabilní. Integrabilita se ztrácí prakticky při jakémkoliv, byť i velmi symetrickém poruše. Toto platí i pro pole nejjednodušší, Schwarzschildovy černé díry, pokud porucha není sféricky symetrická.

Ve zmíněných astrofyzikálních zdrojích patrně interaguje látka s centrální černou dírou prostřednictvím diskové akrece, jejíž konfiguraci lze v první aproximaci považovat za stacionární (nebo dokonce statickou) a osově symetrickou. V minulých letech jsme proto s Petrou Sukovou studovali dlouhodobou dynamiku časupodobných geodetik ve Schwarzschildově poli pozměněném přítomností koncentrického tenkého disku či prstence, přičemž gravitační pole takovýchto složených systémů jsme popisovali přesnými statickými a axiálně symetrickými řešeními Einsteinových rovnic. Zjistili jsme, že pro dostatečně hmotný dodatečný zdroj (disk či prsteneček) přestává být geodetický pohyb regulární a objevuje se v něm chaos. Ten jsme potom kvantifikovali a klasifikovali pomocí různých metod.

Úkolem diplomové práce *Chaos in deformed black-hole fields* bylo zopakovat podobnou analýzu pro systémy, v nichž je pohyb – místo rovnice geodetiky v přesném relativistickém prostoročasu – popsán Newtonovou pohybovou rovnicí a pole černé díry simulováno vhodným "pseudo-newtonovským" potenciálem. Hlavními cíli analýzy bylo

- i) porovnat výsledky získané pro několik často užívaných potenciálů navzájem a proti přesným výsledkům, a z toho usoudit, zda je pseudo-newtonovský přístup použitelný a které z potenciálů jsou pro dané účely vhodnější
- ii) tím zároveň zjistit, do jaké míry jsou vlastnosti uvažovaného dynamického systému a jejich závislost na parametrech "robustní".

Vojtěch Witzany záměry práce splnil. Samostatně pronikl do literatury, sepsal kód pro dlouhodobou integraci příslušných pohybových rovnic a pomocí něj prozkoumal fázový portrét systémů založených na několika různých pseudo-newtonovských potenciálech. Uspokojivou shodu s přesnými výsledky zjistil u Paczyňského-Wiitova potenciálu a rovněž u "logaritmického" potenciálu, který sám navrhl. Další potenciály (speciálně pak často používaný potenciál Nowaka a Wagonera) vedly k dynamice značně odlišného charakteru. Tyto závěry jsme již publikovali v časopise *Monthly Notices of the RAS* jako 4. díl série zahájené s Petrou Sukovou a Vojtą o nich kromě toho referoval na Relativistickém semináři UTF a předběžně též v rámci studentské části konference *Prague Synergy 2013*. K článku nepřispěl zdaleka jen "vykonáním" mých návrhů – kromě pečlivé konkrétní práce přišel i s řadou koncepčních nápadů, proto je také uveden jako hlavní autor.

Diplomová práce kromě toho obsahuje několik dalších předběžných výsledků, které Vojta dosáhl zcela samostatně a které jsme spolu zatím diskutovali jen zběžně. Jednak navrhl numericky výhodnou formulaci/aproximaci geodetického pohybu a demonstroval ji na výpočtu světelných drah provedeném za účelem zobrazení vzhledu svítícího tenkého prstence. Dále rozšířil studium pseudo-newtonovského popisu i na rotující (Kerrovu) černou díru a porovnal na základních parametrech několik potenciálů z nedávných článků, jakož i jeden, který navrhl sám. Konečně v práci je zařazen též jednoduchý návod, jak z tenkého prstence (popsaného historickým řešením Bacha a Weyla) "rozmazáním" vytvořit nesingulární zdroj. Tyto části zatím nebyly zpracovány do podoby publikace, ale zejména první dvě zmíněná témata by si v budoucnu zařazení do publikace zasloužila.

Jestliže jsem několikrát zmínil samostatnost diplomanta, měl bych ji zvláště zdůraznit u samotného sepsání práce. Vojta byl po semestru "na Erasmu" v Bonnu ve skluzu se zkouškami, zároveň měl již od srpna nastoupit na doktorandské místo v Brémách, takže práci psal na poslední chvíli a já ji prohlédl jen velmi zběžně. Je nicméně napsána pěkně, přehledně a v rozumné struktuře, navíc velmi dobrou angličtinou. Obsahuje i řadu odkazů na literaturu, z nichž většinu si Vojta iniciativně sám vyhledal.

Vojtěch Witzany je jedním z nejlepších studentů, které jsem měl možnost vést. Prokázal již v magisterském věku samostatnost a originalitu, která není zdaleka samozřejmostí ani mezi pokročilými doktorandy. Kromě vlastní hlavy však bral tvořivě v úvahu i mé návrhy, takže spolupráce byla pro mě i potěšením.

Rád proto doporučuji, aby předložená práce byla uznána jako diplomová a navrhuji klasifikovat ji známkou *v ý b o r n ě*.

doc. RNDr. Oldřich Semerák, DSc.  
Ústav teoretické fyziky MFF UK  
vedoucí práce