

Oponentský posudek na bakalářskou práci Jana Hrubeše

Rovnice struktury tenkých akrečních disků v obecné metrice

Bakalářská práce Jana Hrubeše se zabývá hydrodynamickými rovnicemi, které popisují tenké relativistické akreční disky a jejich řešením v obecném axiálně symetrickém prostoročase. Domnívám se, že jde o velmi aktuální téma. Doposud se k porovnávání pozorovaných spekter tenkých akrečních disků v okolí kompaktních objektů používá převážně model Novikova a Thorna, který je zobecněním původního modelu Shakury a Sunyaeva, a který je založen na Kerrově metrice. Potřeba formulovat teorii akrečních disků i v dalších stacionárních prostoročasech s osovou symetrií vyvstává jednak z (v současné době poměrně populární) představy, že bychom mohli využít pozorování reálných akrečních systémů k testování obecné teorie relativity, může být však motivována i tím, že ne všechny kompaktní objekty s akrečním diskem jsou černé díry a geometrie prostoročasu neutronových hvězd se, zvláště pro některé stavové rovnice, značně liší od Kerrova prostoročasu. Formulovat teorii akrečních disků v obecném stacionárním axiálně symetrickém prostoročase je tedy velice užitečné.

Autor tuto teorii rozvíjí v první kapitole své bakalářské práce. Vychází z obecných zákonů zachování klidové hmoty, energie a momentu hybnosti a poměrně rychle dospěje ke stěžejnímu výsledku, kterým je obecný vztah (1.58) pro zářivý tok na daném poloměru v disku. Druhá kapitola je věnována Kerrově prostoročasu. V tomto případě je možné integrál ve vztahu pro zářivý tok explicitně vypočítat, jak již ukázali Page a Thorne v roce 1974. Autor prokázal nesporné kompetence v oboru matematické analýzy, když po několika stranách poměrně komplikovaných výpočtů dospěl ke stejnému výsledku. Myslím, že tato pasáž bakalářské práce, pokud by se ji autor rozhodl publikovat, by byla velice užitečná pro mnohé studenty, kteří se začínají zabývat akreční fyzikou po celém světě. Třetí kapitola je pak zaměřena na hlavní cíl práce, kterým je odvození analogických vztahů pro obecnější geometrii prostoročasu než je Kerrova. Autor a jeho školitel si vhodně vybrali Kerrovu-Newmanovu metriku, která popisuje prostoročas nabitě černé díry, uvažují však i záporné hodnoty q^2 („imaginární náboj“), který předpovídají některé obdoby obecné relativity s více prostorovými rozměry. Jednak takto naplňují hlavní motivaci práce, kterou je testování gravitačních teorií, jednak uznávám, že použití astrofyzikálně motivovanějších metrik jako je např. Hartleova-Thornova metrika pro prostoročasy v okolí pomalu rotujících neutronových hvězd by vedlo k neúnosně komplikovaným výpočtům. Ani v případě Kerrova-Newmanova prostoročasu autorovo sympatické úsilí najít analytické řešení nevedlo k cíli a musel se nakonec uchýlit k numerickému řešení.

Po formální stránce práce jasně splňuje veškeré nároky. Je sepsána velice pečlivě se sympatickou stručností, nevyskytují se v ní téměř žádné překlepy. Výsledky třetí kapitoly jsou ilustrovány graficky pro vhodné hodnoty různých parametrů. Osobně bych ocelnil trochu obsírnější úvod i závěr. Myslím si také, že by na začátku první kapitoly bylo vhodné uvést obecný tvar metriky, kterou autor uvažuje. Čtenáře tak například překvapí, že se vertikální souřadnice značí písmenem z , zatímco z Kerrova prostoročasu je zvyklý na polární úhel θ . Některé veličiny se také vyskytují dříve, než jsou zavedeny, například úhlová rychlost tekutiny vzhledem k pozorovateli v nekonečnu se bez komentáře objeví ve větě nad rovnicí (1.24), větší pozornosti se však dočká až v odstavci, který následuje po rovnici (1.29). I zde by mi pomohlo, kdyby se uvažovaný tvar čtyřrychlostí objevil už někde na začátku práce. Ve třetím odstavci třetí kapitoly je uvedeno, že „první dva členy ve vztahu (1.9) odpovídají tenzoru energie a hybnosti pro nestlačitelnou tekutinu“. To jistě ano, ale stejně dobře popisují i tekutinu, která je stlačitelná, nestlačitelnost navíc ani není uvedena mezi autorovými předpoklady. V přehledu autorových různých předpokladů také chybí ten nejkritičtější (a v současné době i nejdiskutovanější), předpoklad nulového silového momentu na poslední stabilní orbitě.

To jsou však jen drobné připomínky, které rozhodně nijak nesnižují celkově vysokou úroveň bakalářské práce, kterou s radostí hodnotím jako **vyňikající**.

Případné otázky k obhajobě práce:

- Odkud plyne, že je na poslední stabilní zanedbatelná složka viskozního tenzoru napětí jak je uvedeno za rovnicí (1.56)?
- Bylo by možné explicitně uvést vztahy pro Novikovovy-Thornovy bezrozměrné funkce $\mathcal{A}, \mathcal{B}, \mathcal{C}, \mathcal{D}, \dots$ pomocí metrických koeficientů $g_{\mu\nu}$? To by byl další velice užitečný výstup práce, který by umožnil přímočaré využití Novikovova-Thornova modelu i pro jiné než Kerrovy prostoročasy.



V Praze dne 26. 8. 2022,
Jiří Horák