

Posudek vedoucího na diplomovou práci Bc. Marka Basovníka

Ačkoli o stacionárních černých dírách je „téměř vše známo“ a představují již několik desetiletí rutinní vysvětlení projevů řady galaktických jader a některých rentgenových dvojhvězd, geometrie prostoročasu v jejich blízkosti a nitru je velmi nezvyklá; například již v případě nepříliš rychlé rotace má jejich horizont (chápaný jako 2D plocha) zápornou křivost. Tím spíše lze očekávat pozoruhodnou geometrii u černých děr vystavených působení dalšího zdroje gravitace. V astrofyzikálních modelech se gravitační účinek látky a polí interagujících s černou dírou zanedbává, ale v oblasti druhých a vyšších derivací metriky může tento vliv být ve skutečnosti podstatný, a to i v blízkosti horizontu. Kromě toho je zcela jistě podstatný pro dlouhodobou dynamiku (testovacích) satelitů, které se v poli systému volně pohybují.

Cílem diplomové práce „Geometrie uvnitř deformovaných černých děr“ bylo prostudovat, v rámci třídy statických a axiálně symetrických (přesněji tzv. Weylových) prostoročasů, deformaci geometrie sféricky symetrické černé díry nejsilnějšími možnými dodatečnými zdroji, totiž (i) další černou dírou a (ii) tenkým kruhovým prstencem. Pro oba tyto případy existují v obecné relativitě přesná řešení Einsteinových rovnic, která jsou fyzikálně přijatelná, neboť neobsahují žádné singularity vně horizontů (samozřejmě s výjimkou samotného tenkého prstence). Prvním z nich jsou Majumdarovy-Papapetrouovy prostoročasy, obsahující soustavu souhlasně nabitých extrémních černých děr ve statické rovnováze, která je umožněna přesnou kompenzací vzájemného gravitačního přitahování elektrostatickou repulsi. V práci je konkrétně uvažován případ se dvěma černými dírami. Druhý vyšetřovaný prostoročas je generován (původně) Schwarzschildovou černou dírou obklopenou koncentrickým kruhovým tenkým prstencem popsáným metrikou Bacha & Weyla.

Geometrii jsme studovali na několika jednoduchých invariantech, daných samotnou metrikou (*lapse* funkce), jejím gradientem (skalár analogický newtonovskému gravitačnímu zrychlení) a křivostí (Kretschmannův skalár daný Riemannovým tenzorem, případně obdobný kvadratický skalár daný Ricciho tenzorem a skalární křivost).

Marek Basovník záměry práce splnil. Seznámil se se zmíněnými invarianty a naučil se je pro uvedené typy metrik počítat pomocí programu Mathematica. Porovnal jejich průběhy vně horizontů černých děr a posléze se zaměřil na vnitřní oblast pod horizonty. Za tímto účelem musel prodloužit obě metriky pod horizont; v případě Majumdarova-Papapetrouova prostoročasu je prodloužení známé (avšak nevím o tom, že by někde bylo provedeno explicitně a dále diskutováno), v případě Schwarzschildovy díry s Bachovým-Weylovým prstencem navrhl prodloužení diplomant sám. V důsledku extrémnosti černých děr přítomných v Majumdarově-Papapetrouově řešení jsme očekávali, že jejich horizonty nebudou ostatními dírami nijak ovlivněny. To se skutečně potvrdilo, v souhlasu s často diskutovaným „vypuzováním“ polí z extrémních děr; poznamenejme, že tento efekt je obvykle interpretován jako analogon Meissnerova jevu známého ze supravodičů, avšak ve skutečnosti se jedná vlastně o automatickou vlastnost, danou samotnou definicí extrémních černých děr, a s ní souvisejícím faktem, že vlastní vzdálenost měřená z jakéhokoliv místa k jejich horizontu je nekonečná.

Po několikrát se měnících „pracovních hypotézách“ jsme nakonec uzavřeli, že zatímco vlastnosti Majumdarových-Papapetrouových horizontů jsou nezávislé na interakci s okolím, jejich vnitřní oblasti ovlivněny *jsou*. Kdyby ovlivněny nebyly, musely by být sféricky symetrické, tedy musely by v nich existovat kromě časupodobné symetrie (stacionarity) ještě další tři prostorupodobné symetrie. Takové však diplomant našel právě jen na horizontech, nikde jinde. Druhá zajímavost, kterou bych rád zmínil, se týká Schwarzschildovy díry s Bachovým-Weylovým prstencem: diplomant zjistil, že při dostatečně velké hmotnosti disku se v určité oblasti pod horizontem (která se zevnitř horizontu dotýká) stává Kretschmannův skalár *záporným*. Možnost záporných hodnot je z literatury známá, avšak dosud byla interpretována jako projev „gravitomagnetismu“, tedy efektu *draggingu* v rotujících systémech (jako např. v Kerrově prostoročasu). Zde jsme však zjistili oblast záporných hodnot ve *statickém* prostoročasu, kde dragging přítomen není, takže bude vhodné se interpretaci tohoto výsledku v budoucnu věnovat.

Písemná podoba práce byla dokončována v časové tísně a vyžádala si dost korekcí (překlepy, pravopis, nekonzistence, nešikovné formulace, citace), ale v odevzdané verzi se již nedostatky vyskytují jen vzácně. Grafická stránka je standardní, obrázky zdařilé, jen na některých „vrstevnicích“ se vyskytují numerické nedokonalosti. Myslím, že některé pasáže mohly být vyloženy podrobněji, především by bylo bývalo vhodné podat v úvodu zevrubnější přehled vlastností Weylovy (pod)třídy statických a axiálně symetrických řešení Einsteinových rovnic, a speciálně pak elektro-vakuových řešení těchto symetrií, mezi která patří oba vyšetřované prostoročasy.

I přes tyto drobné připomínky závěrem konstatuji, že Marek Basovník na svém diplomovém úkolu pracoval solidně a se zájmem, naučil se provádět obecně relativistické výpočty na počítači a přišel i s několika vlastními myšlenkami (prodloužení metriky pod horizont, zejména ve druhém vyšetřovaném prostoročasu). O svých výsledcích již referoval v rámci Relativistického semináře UTF a právě minulý týden předvedl jejich část formou posteru na Španělské relativistické konferenci ERE2012 s mezinárodní účastí. Rád proto doporučuji, aby jím předložená práce byla uznána jako diplomová a navrhuji klasifikovat ji známkou *výborně*.

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