

Oponentský posudok na prácu Petra Slaného:
Relativistické disky v prostoročasech s kozmologickou konstantou

V práci sa skúmajú disky okolo statickej alebo rotujúcej čiernej diery v teórii s nenulovou kozmologickou konštantou. Predmetom štúdia sú jednak tenké disky zložené z častíc na keplerovských orbitách, jednak hrubé disky zložené z barotropnej kvapaliny. Autor ich skúma v deviatich článkoch, ktoré vznikli v spoluautorstve s prof. Stuchlíkom a ďalšími členmi jeho tímu, začínajúc článkom z r. 2000, kde sa rozoberá vplyv kozmologickej konštanty na akrečné disky okolo statických čiernych dier a výtrysky (jety), ktoré vznikajú v ich blízkosti. Články sú rozdelené pol na pol medzi dynamiku častíc a dynamiku kvapalín: v štyroch sa skúma prvá téma, v štyroch druhá, a jeden sa venuje sčasti prvej a sčasti druhej. Pokiaľ ide o zdroje gravitačného poľa, prevládajú rotujúce čierne diery, len v dvoch článkoch sa vyšetroje, ako vplýva na testovaciu látku statická čierna diera. Tá je v jednom prípade elektricky neutrálna – reč je o článku z r. 2000 – a v druhom nabitá.

Medzi dvoma hlavnými témami práce, dynamikou častíc a dynamikou kvapalín v blízkosti čiernych dier, existuje zaujímavé prepojenie: niektoré črty správania sa kvapaliny v ekvatoriálnej rovine alebo jej blízkosti sa dajú vyčítať z toho, ako sa tam pohybujú častice a svetelné signály. Preto sa dá štúdium dynamiky častíc chápať ako príprava na štúdium dynamiky kvapalín. Predovšetkým, oblasti neprístupné pre kvapalinu sa zhodujú s oblasťami neprístupnými pre fotóny s rovnakým momentom hybnosti prepočítaným na jednotkovú energiu (čo je pri fotónoch zámerne parameter). To vidno, ak zapíšeme štvorec 4-rýchlosti fotónu u_f cez štvorec normovanej 4-rýchlosti objemového elementu kvapaliny \tilde{u}_{kv} (4-rýchlosti prepočítanej na jednotkovú energiu): platí $u_f^2 = \omega^2 \tilde{u}_{kv}^2 + g_{rr} \dot{r}^2$, kde ω je frekvencia fotónu, takže kvapalina sa dostane všade, kam sa dostane fotón, s výnimkou bodov obratu ($\tilde{u}_{kv}^2 < 0$ platí všade, kde platí $\dot{r}^2 > 0$). Ďalšie tvrdenie je obmedzené na kvapalinu s rovnomerným rozdelením momentu hybnosti: plochy konštantného tlaku sú v takej kvapaline zhodné s plochami konštantnej energie objemových elementov. V nere-relativistickej limite je to zrejmé z toho, že pre rotujúcu kvapalinu platí $\mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} = \nabla(\frac{1}{2}v^2) - \Omega \nabla(rv)$, takže pri $rv = \text{konšt}$ Eulerova rovnica prejde na $\rho \nabla(\frac{1}{2}v^2 + \Phi) = -\nabla p$. Ale ak je moment hybnosti ℓ prepočítaný na jednotkovú energiu konštantný, energia v ekvatoriálnej rovine má ako funkcia radiálnej súradnice extrémny na keplerovských kruhových orbitách. To znamená, že cez každú keplerovskú kruhovú orbitu s momentom hybnosti, aký má príslušný objemový element, prechádzajú dve plochy konštantnej energie s hrotmi orientovanými proti sebe; a pri rovnomerne rozdelenom ℓ to isté platí o plochách konštantného tlaku. V prípade, že je hrot na okraji disku (tlak na ploche

s hrotom je nulový), môže ním pritekať na čiernu dieru látka zo susednej hviezdy. Keplerovské orbity sú teda možné „prístupové cesty“ pre akreciu.

Vzhľadom na to, aká malá je kozmologická konštanta, pri práci, kde sa skúma jej vplyv na pohyb látky okolo čiernych dier, je prirodzené pýtať sa, aký veľký je tento vplyv v typických astrofyzikálnych situáciách. Napríklad jedným z výsledkov článku z r. 2000 je predpoveď kolimácie jetov v dôsledku odpudivého pôsobenia kozmologickej konštanty. V teórii rádiových galaxií je nerozriešenou záhadou vysoká kolimácia jetov po celej dráhe od aktívneho jadra galaxie k hot-spotu, a hoci látka v tomto prípade postupuje (rýchlosťou blízkou k rýchlosti svetla) v smere jetu a neotáča sa okolo osi jetu, predpoveď v článku by mohla byť pre daný problém relevantná – keby bol nájdený efekt nezanedbateľný. Čierna diera v centre galaxie Cygnus A má hmotnosť asi $2,5 \cdot 10^9 M_{\odot}$, takže podľa tabuľky v úvodnej časti práce je charakteristická vzdialenosť, na ktorej sa prejavuje prítomnosť kozmologickej konštanty, $2,5^{1/3} \cdot 1,1 \cdot 10^5 \text{ pc} = 150 \text{ kpc}$. Jety však majú dĺžku len asi 60 kpc. Zdá sa teda, že naše vyhliadky na pochopenie, prečo jety v galaxii Cygnus A ostávajú sústredené po celej svojej dĺžke, sa pribatím kozmologickej konštanty do hry, žiaľ, nezlepšia.

Odporúčam prácu prijať za habilitačnú a autorovi po úspešnej habilitačnej prednáške udeliť titul „docent“.

Bratislava 17. 10. 2017



Vladimír Balek

Katedra teoretickej fyziky

a didaktiky fyziky

FMFI UK, Bratislava