

Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě
Univerzity Karlovy v Praze

- posudek vedoucího
 bakalářské práce
- posudek oponenta
 diplomové práce

Autor: Miroslav Tomášik
Název práce: Geodesics in helically symmetric spacetimes
Studijní program a obor: Fyzika
Rok odevzdání: 2012

Jméno a tituly vedoucího/opponenta: Mgr. Martin Scholtz, Ph.D.
Pracoviště: Ústav teoretické fyziky
Kontaktní e-mail: scholtz@fd.cvut.cz

Odborná úroveň práce:

- vynikající velmi dobrá průměrná podprůměrná nevyhovující

Věcné chyby:

- téměř žádné vzhledem k rozsahu přiměřený počet méně podstatné četné závažné

Výsledky:

- originální původní i převzaté netriviální kompilace citované z literatury opsané

Rozsah práce:

- veliký standardní dostatečný nedostatečný

Grafická, jazyková a formální úroveň:

- vynikající velmi dobrá průměrná podprůměrná nevyhovující

Tiskové chyby:

- téměř žádné vzhledem k rozsahu a tématu přiměřený počet četné

Celková úroveň práce:

- vynikající velmi dobrá průměrná podprůměrná nevyhovující

Slovní vyjádření, komentáře a připomínky vedoucího:

Student Miroslav Tomášik se zajímá o numerické modelování fyzikálních jevů na počítači a o studium vlastností chaotických systémů. Před zadáním bakalářské práce však neměl žádné zkušenosti ani s programováním, numerickými metodami ani teorií dynamických systémů.

Pro bakalářskou práci mu nakonec bylo vybráno studium aktuálního problému z oblasti obecné teorie relativity. Jedná se o problém tzv. *helikální symetrie*, která popisuje soubory částic periodicky se pohybujících po uzavřených trajektoriích. Pojem helikální symetrie je dobře definovaný v teoriích na plochem pozadí a v některých dalších případech, neexistuje však žádná univerzálně akceptovaná definice helikální symetrie v zakřiveném prostoročase. Tento problém je, mimo jiné, zajímavý z hlediska numerické relativity, protože hraje roli při simulacích počáteční fáze procesu sblížování komponent binárního systému (binary inspiral). V linearizované Einsteinově gravitaci lze pojem helikální symetrie bez obtíží definovat. Ve spolupráci s prof. Bičákem a dr. Martinem Bohatou jsme našli přesné helikálně symetrické řešení popisující dvojčásticový systém v rámci linearizované teorie a vyšetřili asymptotické vlastnosti gravitačního pole.

Úlohou pana Tomášika bylo vyšetřovat geodetiky testovacích částic pohybujících se na pozadí tohoto helikálně symetrického prostoročasu. Rovnice geodetiky jsou soustavou obyčejných diferenciálních rovnic a existují základní, dobře známé numerické metody k jejich řešení. Jednalo se tedy o přímočarou úlohu, jejíž celá složitost spočívala v tom, že pravá strana rovnic geodetiky (výraz s Christoffelovými symboly) je v uvažovaném případě značně netriviální (v jazyce C++ se jedná o přibližně čtyři stránky dlouhý výraz) a skládá se z funkcí zadaných pouze implicitně ve formě transcendentních algebraických rovnic. Bylo tedy nutno implementovat jak metody pro řešení algebraických rovnic nutných k výpočtu pravé strany rovnice geodetiky, tak metody pro řešení obyčejných diferenciálních rovnic. Cíle práce byly formulovány takto:

- implementovat standardní metody řešení algebraických rovnic
- implementovat standardní metody Runge-Kutta k řešení soustav obyčejných diferenciálních rovnic prvního řádu
- otestovat implementované metody na problému pohybu testovací částice v newtonovském gravitačním poli a „získat cit“ pro přesnost a vhodnost těchto metod
- numericky vyšetřit podmínky existence helikálně symetrického řešení pro dvojčásticový systém v relativistickém případě (podmínka existence odvozená školitelem)
- aplikovat získané numerické metody na problém pohybu testovací částice v poli helikálně symetrického binárního systému (příslušné rovnice odvozené školitelem)
- vyšetřit vlastnosti prostoročasu pomocí Lyapunovových exponentů a vyšetřit kauzální strukturu prostoročasu.

K řešení těchto úloh bylo využito jazyka C++, softwaru GNU plot a pro analytické zpracování náročných a rozsáhlých rovnic bylo použito softwaru Mathematica. V rámci „didaktické části“ bylo záměrem, aby se student naučil psát v systému LaTeX, naučil se samostatně pracovat s odbornou literaturou a psát v angličtině.

Formulovaných cílů bylo dosaženo téměř v plném rozsahu, ačkoli někdy ne příliš korektním postupem, některé výsledky by vyžadovaly podrobnější analýzu. Lze však shrnout, že všechny body zadání byly naplněny a předkládaná teze překračuje rozsah obvyklých bakalářských prací. Bylo dosaženo netriviálních fyzikálních výsledků, zejména neočekávané zjištění, že helikálně symetrické konfigurace existují pouze pro úzkou množinu parametrů. Součástí výsledků práce jsou i esteticky přitažlivé fázové portréty naznačující chaotické chování geodetik pro určité hodnoty parametrů. Poněkud „nedotažená“ je analýza kauzální struktury prostoročasu, ale lze očekávat, že světelné kužely v práci nalezené již odrážejí podstatné vlastnosti prostoročasu. Práce je též srozumitelně napsaná, s minimem chyb, na dobré jazykové i grafické úrovni.

Bohužel, ačkoli jsem jako školitel spokojený s finální verzí práce, nemohu totéž říci o spolupráci s panem Tomášikem. Na jedné straně si uvědomuji, že pro něj bylo obtížné vstřebat v poměrně krátkém čase (necelý rok od zadání) množství vědomostí z teorie relativity, naučit se od základů programovat v jazyce C++, naučit se programátorsky „myslet“, uchopit a implementovat numerické metody, etc. To, že se v tom všem neztratil a byl schopen dovést práci do konce, svědčí o jeho dobrých schopnostech a kvalitách. Rozumím také tomu, že vedle bakalářské práce měl i jiné školní povinnosti.

Na straně druhé, zadaná úloha, přes svoji fyzikální aktuálnost a zajímavost, nebyla nijak složitá ani náročná a za tentýž čas šlo získat podstatně více výsledků a zdokonalit i použité algoritmy a metody. Studentovi vyčítám naprostý nezájem o samostatnou práci či dokonce nadpráci, nezájem o samostatné studium, jeho častou nepřipravenost na společných sezeních. Pan Tomášik byl schopen či ochoten pracovat pouze pod enormním (ná)tlakem z mé strany, k celému problému se stavěl vlažně až laxe. Nebýt mojí neustálé intervence a pomoci slovem i činem, práce by nikdy nebyla dokončena. Student tedy nenaplnil základní poslání bakalářské práce, naučit se samostatně myslet, pracovat a studovat.

Vzhledem k těmto výhradám **doporučuji** bakalářskou práci k přijetí a panu Tomášikovi navrhuji známku 2 neboli **velmi dobře**.

Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuze:

- V kapitole 5. na stránkách 65—68 jsou znázorněny fázové portréty. Ačkoliv se to v práci přímo neuvádí, některé z nich poukazují na fraktální strukturu. Je tomu skutečně tak? Je to fyzikální výsledek či důsledek použitých numerických metod? Objevují se podobné vzory i pro jiné hodnoty integračních kroků, případně pro jinou volbu maximálního času? Jak tyto výsledky závisejí od počáteční vzdálenosti blízkých geodetik?
- Světelný kužel na obrázcích 5.14, 5.16, 5.17 vypadá sice správně, ale není zvykem kužely vykreslovat tímto způsobem. Tento nedostatek je zčásti odstraněn na obrázku 5.15, kde je vynesena závislost t , x a t , y místo t, r . Na tomto obrázku je též vidět twistující charakter nulových geodetik, což je pro studium helikální symetrie podstatný výsledek, který však není v práci nijak rozebrán ani komentován. Nešlo by, pro větší názornost, vykreslit ony geodetiky v 3D-obrázku, kde by, asi, tvořily kongruenci twistující po plášti dvojrozměrného kužele? Jakou má autor intuici pro charakter těchto geodetik?
- Ačkoli se v práci zmiňuje adaptivní metoda RK4, není implementována a ani v pozdějším textu není uveden výsledek této metody pro, například, Newtonovskou simulaci pro vysoce excentrické eliptické trajektorie. Jaké metody tedy bylo nakonec v práci použito? Jaký je vliv volby metody na přesnost získaných simulací?

Práci

doporučuji

nedoporučuji

uznat jako diplomovou/bakalářskou.

Navrhuji hodnocení stupněm:

výborně velmi dobře dobře neprospěl/a

V Praze dne 3. září 2012


Mgr. Martin Scholtz, Ph.D.