

## Oponentský posudok na dizertačnú prácu

**Autor:** Mgr. Jiří Pešek

**Názov práce:** Heat processes in non-equilibrium stochastic systems

Predkladaná práca je venovaná štúdiu pomalých termodynamických procesov v nerovnovážnych systémoch. Táto téma je mimoriadne aktuálna. Stačí spomenúť prebiehajúcu živú diskusiu v literatúre o štatisticko-mechanickom popise nehomogénnych suspenzií, po troch desaťročiach znovu otvorené spory o koncepcii stochastického integrovania a dilemy Itô-Stratonovicha, o vplyve tepelného šumu na určovanie síl pri mikro- a nanoškálach, o platnosti fluktuálnych teorém a korektnosti ich experimentálneho potvrdenia, súvislosti s 2. zákonom termodynamiky a iné, spojené so vzrastajúcou potrebou opisu systémov ďaleko od tepelnej rovnováhy pre nanotechnológie, keď tepelné fluktuácie zohrávajú významnú, niekedy až rozhodujúcu úlohu. Hoci ide o oblasť štatistickej fyziky, spomínané problémy sú preto intenzívne sledované aj vedcami z iných oblastí. Ako príklad sa dá uviesť aj biofyzika - v príslušnej literatúre nájdeme silnú odozvu napr. na fluktučné teorémy. Tie sú však väčšinou prijímané nekriticky, kým v samotnej teoretickej fyzike rad otázok zostáva otvorených. Príspevky k ich riešeniu preto považujem za významné a k takýmto radím aj prácu Mgr. Jiřího Peška.

Jeho rozsiahla dizertačná práca v anglickom jazyku (pozostávajúca zo 7 hláv vrátane úvodu a záveru, 3 príloh, zoznamu použitej literatúry s plnými názvami a linkami, zoznamom obrázkov a tabuliek a užitočným indexom dôležitých pojmov) spočiatku odradzuje, ale číta sa dobre (samozrejme, okrem náročných matematických postupov) a z formálnej stránky jej ťažko niečo podstatné vytknúť. Na začiatku autor krátko opisuje obsah dizertácie, od zavedenia matematického formalizmu v 2. hlave k vysvetleniu pojmu kvázistatickej limity v rovnovážnej stochastickej termodynamike v 3. hlave. Vo 4. hlave sú už prezentované vlastné výsledky pre kvázistatický proces pod vplyvom nepotenciálnych síl. V ďalších hlavách nájdeme úplne nové štúdium vplyvu periodických síl a ďalej analýzu problémov separácie časových škál. Nakoniec sú sumarizované výsledky a diskutované otvorené problémy.

Na tomto priestore nie je možné čo i len v krátkosti ocharakterizovať obsah celej práce. Zastavím sa preto len na hlavných výsledkoch, ktoré sa mi zdajú obzvlášť zaujímavé. Pri ich získaní autor používa jednotný prístup ku kvázistatickým procesom v malých systémoch. Tieto procesy považuje za markovovské a ich časovú evolúciu popisuje Kolmogorovými generátormi. Pre systémy odklonené od rovnováhy nepotenciálnymi silami zo stredných hodnôt pre teplo a prácu v klasickej limite vyčleňuje reverzibilné zložky a komponenty, ktoré nazýva „housekeeping“. Fyzikálne ich interpretuje a získava pre ne explicitné vzťahy. Nachádza rovnicu pre bilanciu energie systému, do ktorej prispieva len reverzibilná časť tepla a práce, ako prirodzené zovšeobecnenie týchto veličín v rovnováhe. Inšpiratívnym je zovšeobecnenie tepelnej kapacity, ktorá ako reverzibilná časť tepla produkovaného pri kvázistatickej zmene teploty termostatu môže nadobúdať aj záporné hodnoty. Tento výsledok ešte vyžaduje ďalšie štúdium, ale mohol by vyzvať záujem zo strany iných vedcov. V 5. hlave je použitý formalizmus zovšeobecný na periodické sily, čo predstavuje problém, zatiaľ v literatúre

neriešený. Aj tu boli vyčlenené spomínané dve zložky stredných hodnôt, čo však zatiaľ vedie k interpretačným problémom. Na konci práce je sformulovaný autorov pohľad na niekoľko ďalších problémov. Istotne by boli zaujímavé zovšeobecnenia (podobné tomu pre tepelnú kapacitu) aj pre iné veličiny popisujúce kvázistatické procesy.

K práci nemám žiadne výhrady. Niekoľko otázok uvádzam osobitne. Autor dosiahol rad nových vedeckých výsledkov a otvoril možnosti ďalších výskumov. Zvládnuté boli vysoko náročné metódy teoretickej fyziky. Formálne spracovanie je veľmi kvalitné. Časť práce už bola opublikovaná v indexovaných časopisoch EPL, Central Eur. J. Phys. a v AIP Conference Proceedings. Na prvé dve práce sú zaznamenané aj citácie vo WoS a Scopus. Na základe všetkých uvedených skutočností môžem konštatovať, že predložená práca jednoznačne preukazuje autorove schopnosti samostatne tvorivo vedecky pracovať a spĺňa všetky podmienky kladené na dizertačné práce. Preto odporúčam, aby bol Mgr. Jiřímu Peškovi po úspešnej obhajobe udelený akademický titul „philosophiae doctor“ – PhD. v odbore 4f1 Teoretická fyzika, astronomie a astrofyzika.

V Košiciach 30.10.2013

Prof. RNDr. Vladimír Lisý, DrSc.  
Katedra fyziky  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Technická univerzita v Košiciach

### **Otázky:**

K práci mám viacero otázok, ktoré nijak nespochybňujú jej celkovú vysokú úroveň a sú spojené len s jej parciálnymi časťami, ktoré ma osobne najviac zaujímajú najmä z hľadiska ich možného využitia v oblastiach aplikovanej fyziky a biofyziky. Uvediem niektoré z nich:

- V hlave 3 sa spomína experimentálne potvrdenie Crooksovej a Jarzynského relácií [CRJ+05]. Niektorí autori však interpretáciu týchto a podobných experimentov odmietajú a sponchybňujú aj samotné uvádzané fluktuačné teorémy ako platné len pre reverzibilné procesy (viď napr. krátky komentár E.G.D. Cohen: arXiv: cond-mat/1309.6892, Sep. 27 (2013) a citované tam jeho predošlé práce). Aký je autorov názor na túto kritiku?
- V 2. hlave sa opisuje difúzia a v tejto súvislosti aj stochastické integrovanie podľa Itô-a a Stratonovicha. Nedávno sa objavilo viacero prác, v ktorých sa opäť diskutuje dilemma výberu stochastického integrovania. Považuje autor tento problém za vyriešený? Aký má názor na iný spôsob, prezentovaný napr. v práci [G. Volpe et al., Phys. Rev. Lett. 104, 170602 (2010)] pri interpretácii experimentov na Brownových časticiach v nehomogénnych podmienkach a určovaní síl z ich driftovej rýchlosti?
- Markovove procesy sú idealizáciou predpokladajúcou, že charakteristické časy pohybov v tepelnom kúpeli sú oveľa kratšie než časové škály v skúmanom systéme, ktorý je s ním v kontakte. Je to v súlade s postupmi v práci, často sa však tepelný šum nedá považovať za delta-korelovaný v čase (biely). Neuvažoval autor o možných zovšeobecneniach na takéto systémy s „pamäťou“?