



Institute of Experimental Physics

Slovak Academy of Sciences

Watsonova 47, 040 01 Košice, SLOVAKIA

Tel.: +421-55-7922201, Fax: +421-55-6336292, E-mail: sekr@saske.sk



RNDr. Peter Skyba, DrSc.

ÚEF SAV Košice

Watsonova 47

04001 Košice

Slovenská republika

Prof. RNDr. Ján Kratochvíl, CSc.

Dekan MFF KU Praha

Ke Karlovu 2027/3

121 16 Praha 2

Česká republika

Košice, 3.9.2017

Vážený pán dekan,

posielam Vám posudok na dizertačnú prácu RNDr. Daniela Dudy: Quantum turbulence in superfluid helium studied by particle tracking visualization technique.

Posudok

Dizertačnú prácu RNDr. Daniela Dudy s názvom: Quantum turbulence in superfluid helium studied by particle tracking visualization technique, spolu s priloženými preprintami publikovaných článkov som prečítal s veľkým záujmom. Hlavným cieľom predkladanej práce je pochopenie do akej miery sa dynamika prúdenia a vzniku turbulencie v klasickej viskóznej kvapaline reprezentovanej normálnou fázou kvapalného hélia-4 prekrýva, prípadne je rozdielna s dynamikou prúdenia a vzniku kvantovej turbulencie v supratekutom héliu-4. Na dosiahnutie cieľov práce autor zvolil metódu optického monitorovania pohybu mikroskopických častíc na báze deutéria respektíve vodíka. Ide o modernú (state-of-the-art) metódu merania dynamiky kvapalín a Laboratórium vizualizácie v Prahe je prvým európskym laboratóriom, ktoré touto metódou disponuje. Táto metóda, aplikovaním dvoch techník: meranie obrazovej rýchlosti častíc (particle image velocimetry) a meranie dráhovej rýchlosti častíc (particle tracking velocimetry) umožňuje v čase opticky sledovať pohyb kvapalným héliom-4 unášaných častíc deutéria (prípadne vodíka) a na základe analýzy dát fyzikálne interpretovať študované javy.

V práci sú prezentované výsledky troch experimentov v normálnom a supratekutom héliu-4: oscilačné prúdenie okolo kváziharmonicky a relatívne pomaly pohybujúcej sa makroskopickej prekážky s rozkmitom zrovnateľným s rozmerom prekážky, stacionárne prúdenie v okolí rýchle oscilujúcej kremennej ladičky s nízkou amplitúdou výchylky vzhľadom k veľkosti ladičky a pozorovanie efektu kavitácie na kremennej ladičke. Výsledkom prvých dvoch experimentov je zistenie, že dynamika prúdenia v normálnom a supratekutom héliu-4 na veľkých dĺžkových škálach t.j. na škálach väčších ako stredná medzivírová vzdialenosť, kedy jednotlivé kvantové víry v supratekutom héliu-4 možno považovať za kontinuum, je prakticky identická. Avšak na menších dĺžkových škálach sa v supratekutom heliu-4 prejavuje kvantová podstata vírov aj s nimi spojenou kvantovou turbulenciou bez ohľadu na spôsob ich/jej generovania. Výsledkom posledného, tretieho experimentu je prvé pozorovanie javu kavitácie v normálnom a supratekutom héliu-4 a zistenie, že kritická rýchlosť potrebná kvzniku kavitácie je v supratekutom héliu-4 vyššia než v normálnom héliu-4. Navyac,



Institute of Experimental Physics

Slovak Academy of Sciences

Watsonova 47, 040 01 Košice, SLOVAKIA

Tel.: +421-55-7922201, Fax: +421-55-6336292, E-mail: sekr@saske.sk



kavitácia vzniká heterogénne, pri ktorej vznikajúce bublinky v konečnom dôsledku tlmia pohyb ladičky v supratekutej fáze hélia-4 viac ako vo fáze normálnej.

Sumárne – výsledky prezentované v predkladanej práci sú nové, inovatívne a posúvajú naše poznanie o dynamike klasických a kvantových kvapalín: poznatkom je prítomnosť „kritickej dĺžkovej škály“, nad ktorou sú vlastnosti dynamiky prúdenia normálnej a supratekutej fázy podobné, zatiaľ čo na menších dĺžkových škálach sa prejavujú rozdielne štatistické vlastnosti (klasický/kvantový opis). Navyše, vzájomná interakcia monitorovacích častíc so supratekutou a normálnou zložkou v héliu-4 zostáva stále otvoreným problémom hodným ďalšieho štúdia.

Predkladaná dizertačná práca je napísaná v anglickom jazyku. Z formálneho hľadiska je práca napísaná veľmi prehľadne, s minimálnymi formálnymi chybami. Oceňujem bohatú grafickú a fotografickú dokumentáciu, ako aj množstvo nameraných fyzikálnych závislostí, na základe ktorých bola urobené fyzikálne závery. Ďalej chcem vyzdvihnúť vklad autora predkladanej dizertácie k experimentu a analýze dát. Z experimentálneho hľadiska ide o použitie techniky fázového spriemerovania, ktorá umožňuje merať viac-menej rovnovážny stav distribúcie detekčných častíc pri oscilačnom prúdení v kvapalnom héliu-4. Z hľadiska analýzy dát je to jeho príspevok k programovému vybaveniu pre zber a analýzu dát.

Súčasťou práce sú aj pre-printy publikovaných CC prác (3x Physical Review B, 2x JLTP) plus práce, ktoré vyšli v CC časopisoch (Jour. Fluid Mech.) a zborníkoch konferencií, na ktorých boli predkladané výsledky prezentované. Konštatujem, že doktorand zvolil adekvátne fyzikálne metódy a postupy pre splnenie cieľov dizertačnej práce a ciele dizertačnej práce boli splnené.

Aj keď väčšina výsledkov v predkladanej dizertačnej práci bola publikovaná v renomovaných časopisoch a tak prešla recenziou, mám k predkladateľovi dizertačnej práce niekoľko otázok, či skôr námietok na vedeckú diskusiu:

Aké sú prednosti a aké sú nevýhody, prípadne limity Vami použitých vizualizačných techník (PIV a PTV), ktoré ste používali pri Vašich experimentoch. Konkrétne mám na mysli – v experimente je meraná rýchlosť častice a nie rýchlosť toku kvapaliny (str.42). Aká je teda súvislosť medzi týmito rýchlosťami? Ďalej, existuje akási optimálna koncentrácia detekčných častíc (napr. deutéria) pre daný typ experimentu, a ak áno, čo ju určuje?

Hlavné výsledky 4. kapitoly sú zobrazené na obrázkoch 4.9, 4.10 a 4.11. Na prvých dvoch je prezentovaný rozdiel vo „vírovej odozve“ v normálnom a supratekutom héliu-4 pre menšie hodnoty Reynoldsovo čísla (menej ako 10^4). Jedným z predkladaných vysvetlení je porovnanie individuálnych dĺžkových škál (obrázok 4.11): meracej škály, vzdialenosti medzi vírmi a Kolmogorovej disipatívnej škály, pričom meracia škála je závislá napríklad od frekvencie snímania obrázkov digitálnou kamerou. Z textu dizertačnej práce nie je zrejmé, či ste menili aj rýchlosť snímkovania digitálnej kamery (100 snímkov za sekundu). Ako by sa zmenila závislosť prezentovaná na obr. 4.9 (respektíve 4.10) pri snímkovaní 10 krát rýchlejšou kamerou?

Z obrázkov v kapitole o kavitácii vyplýva, že kavitačné bubliny sú generované medzi ramenami ladičky, keďže ramená vykonávajú oscilačný pohyb s opačnou fázou. Aký je podľa Vášho názoru mechanizmus vzniku kavitačných bublín v kvapalnom héliu-4 a akú úlohu pri ňom zohráva povrch ladičky a jej zrýchlenie namiesto uvádzanej rýchlosti ladičky?



Institute of Experimental Physics

Slovak Academy of Sciences

Watsonova 47, 040 01 Košice, SLOVAKIA

Tel.: +421-55-7922201, Fax: +421-55-6336292, E-mail: sekr@saske.sk



Záverom konštatujem, že predkladaná dizertačná práca RNDr. Daniela Dudy spĺňa všetky zákonom stanovené požiadavky kladené na dizertačnú prácu a odporúčam, aby bola prijatá k obhajobe a po jej úspešnom obhájení bola RNDr. Danielovi Dudovi udelená vedecko-akademická hodnosť „philosophiae doctor – PhD“.

RNDr. Peter Skyba, DrSc.
recenzent