



**ÚSTAV PRO HYDRODYNAMIKU**

**Akademie věd České republiky, v. v. i.**

Pod Pařankou 30/5, 166 12 Praha 6

TEL: 233 109 011\*TEL/FAX: 233 324 361\*E-mail: ih@ih.cas.cz

Oponentský posudek disertační práce RNDr. Daniela Dudy,  
doktoranda Katedry fyziky nízkých teplot, MFF, UK Praha

**Quantum turbulence in superfluid helium studied by particle tracking velocimetry  
visualization technique**

Práce je zaměřena na studium oscilačního proudění v normálním i supratekutém heliu pomocí analýzy pohybu jednotlivých trasovacích částic s cílem určit míru podobnosti či rozdílnosti mezi klasickou viskózní tekutinou (He I) a supratekutou tekutinou s kvantovou cirkulací (He II). Disertační práce byla mimo jiné podporována i tříletým interním grantem doktoranda (Grantová Agentura Univerzity Karlovy) s názvem "Studium oscilačního proudění a kavitace v kapalném heliu vizualizačními metodami".

Práce je rozdělena do osmi kapitol, na které navazuje seznam publikací, a to jak publikace autora disertace, tak také seznam použité literatury, který činí 141 položek. Práce je doplněna kopiemi šesti publikací autora. V první kapitole je proveden stručný úvod do řešené problematiky, ve druhé je uveden popis experimentálního zařízení včetně způsobu analýzy jednotlivých snímků získaných rychlou kamerou. Je zde také uvedena metodika výpočtu tzv. pseudovířivosti, která vychází z Lagrangeového popisu pohybu jednotlivých trasovacích částic. Ve třetí kapitole je uveden souhrn určujících parametrů jednotlivých experimentů. Ve čtvrté kapitole jsou prezentovány výsledky měření v úplavu za pomalu se pohybujícím hranolem s amplitudou srovnatelnou s velikostí hranolu. Frekvence snímkování byla v tomto případě rovna 100 Hz, což se pro vyšší frekvence kmitání ukázalo jako podhodnocené. Vzhledem k relativně nízké koncentraci trasovacích částic je zvolená metoda Particle Tracking Velocimetry (PTV) jedinou možnou pro určení rychlostního pole. Použití běžně používané metody Particle Image Velocimetry (PIV) je v tomto případě zcela nevhodné. V páté kapitole jsou ukázány výsledky stacionárního proudění v okolí kmitající křemenné ladičky. Ladička kmitala s frekvencí 8300 Hz, frekvence snímkování byla 800 Hz. Vedle

klasické viskózní tekutiny (He I) byla studována supratekutá tekutina (He II) s různým obsahem viskózní složky, čehož bylo dosaženo změnou teploty. Při tomto typu experimentu je otázkou, do jaké míry reprezentuje pohyb jednotlivých částic rychlostní pole v celé sledované oblasti. Šestá kapitola se zabývá kavitačními jevy vznikajícími na křemenné ladičce kmitající s frekvencí 4200 Hz. Velikost ladičky byla větší než v předcházejícím případě a frekvence snímání byla 400 Hz. Vzhledem k omezeným možnostem měření vyšších rychlostí byl měřený rozsah teplot pouze v rozmezí 2,15-2,24 K. V sedmé kapitole jsou data získaná z předcházejících experimentů použita pro analýzu podobnosti na malých měřítcích v kvantové turbulenci. Osmá kapitola rekapituluje výsledky získané v disertační práci.

K disertační práci mám několik námětů do diskuze:

- Použitá metodika umožňovala určit jednotlivé trajektorie ve 2D. Do jaké míry to limitovalo prováděné experimenty?
- Je možné v práci definovanou pseudovířivost použít k určení dalších veličin (např. k určení úhlové rychlosti)?
- Průměrná velikost stopovacích částic byla cca 7  $\mu\text{m}$  (obr. 2.4). Rozlišení video snímků bylo v závislosti na prováděném experimentu 27 resp. 10  $\mu\text{m}/\text{px}$ . Z video sekvencí přiložených k disertační práci se ukazuje, že velikost jednotlivých trasovacích částic nebyla konstantní, ale pohybovala se až do velikosti několika pixelů (patrně se jednalo o shluk částic). Mělo toto rozdělení velikosti částic vliv na měření?
- Při stacionárním proudění v okolí křemenné ladičky dochází při dopadu částice na ladičku k výraznému urychlení částice (viz video "Streaming-D2\_1p23K\_340mms\_800fps.avi"). Můžete toto objasnit?

## **Závěr**

Práce obsahuje velmi cenné a původní poznatky z oblasti oscilačního proudění ve viskózní i supratekuté tekutině. Získané výsledky byly již publikovány v řadě recenzovaných publikací. Závěrem lze shrnout, že RNDr. Daniel Duda prokázal schopnost samostatné tvůrčí

vědecké práce, a že vytvořil dílo, které svým rozsahem, výsledky a kvalitou zpracování splňuje podmínky kladené na doktorskou disertační práci.

Doporučují proto, aby byl RNDr. Danielu Dudovi, na základě úspěšné obhajoby a ve smyslu platných předpisů, udělen titul Ph.D.

V Praze dne 30.8. 2017

doc. Ing. Zdeněk Chára, CSc.