

Title	超流動ヘリウム中の常流体の数値シミュレーション
Sub Title	Numerical simulation of normal fluid in superfluid helium
Author	小林, 宏充(Kobayashi, Hiromichi)
Publisher	慶應義塾大学
Publication year	2018
Jtitle	学事振興資金研究成果実績報告書 (2017.)
JaLC DOI	
Abstract	<p>ヘリウムは極低温では、粘性がゼロの超流体と粘性を担う常流体の2流体からなる超流動ヘリウムとしてモデル化されることが実験的に示されている。矩形ダクトに超流動ヘリウムを満たし、一方を熱すると、常流体は熱した方から他方へ流れ、超流体は逆方向へ流れる熱力カウンター流が1940年代から実験されてきた。最近、常流体の速度分布の可視化が可能になり、遅い流速で通常見られる放物形のポアズイユ流から中央は盛り上がるが壁近くは平坦なtail-flattened流と呼ばれる流れに変化することが明らかになった。その現象を数値計算で解明するために、これまで、常流体の速度分布はポアズイユ流分布や一様な分布と固定した状態で、超流体中の渦糸が毛玉のような状態になる量子タングル状態、すなわち量子乱流現象のみが検討されてきていた。しかしながら、最近の可視化実験で明らかになったように、常流体の速度分布が通常では見られないtail-flattened分布になることがわかった。そこで、常流体の運動も固定することなく、相互摩擦力を介して流れ場が変化する2流体カップリングの計算が必要であることが明らかになった。本研究の目的は、極低温で実現する超流動ヘリウム中の量子乱流と相互作用する常流体の速度分布を数値シミュレーションによって明らかにすることである。</p> <p>本研究では、点渦の動きを計算する量子乱流の計算と固定された座標系で流体の変化を計算する常流体の計算の同時カップリング解法を開発した。その結果、超流体の速度が増加し、量子乱流の状態になると、強い相互作用力によって常流体の速度分布が平坦化することが初めて明らかにできた。その結果は、可視化実験でみられる現象を良く再現していることがわかった。</p> <p>It has been experimentally shown that helium is modeled as superfluid helium consisting of two fluids, namely, a superfluid with zero viscosity and a normal fluid with viscosity, at cryogenic temperatures. When a rectangular duct is filled with superfluid helium and one side of the rectangular duct is heated, the normal fluid flows from the heated side to the other side, and the superfluid flows in the reverse direction. Such a flow is termed as the thermal counter flow and has been experimented in the 1940's. Recently, it became possible to visualize the velocity distribution of the normal fluid, and it turns out that unlike the parabolic Poiseuille flow normally seen at a slow flow rate, the flow became the so-called tail-flattened flow, namely, the central part rises but the near-wall part is flattened.</p> <p>In order to elucidate the phenomenon by numerical simulation, so far, only vortex tangle state of the superfluid, that is, quantum turbulence phenomenon has been studied when the velocity distribution of the normal fluid is fixed with Poiseuille flow distribution or uniform distribution. However, as clarified in recent visualized experiments, it was found that the velocity distribution of the normal fluid becomes the tail-flattened distribution that is not normally observed. Therefore, it was revealed that it is necessary to calculate the two fluid coupling in which the flow field varies through a mutual friction without fixing the movement of the normal fluid.</p> <p>The purpose of this research is to clarify the velocity distribution of a normal fluid interacting with quantum turbulence in superfluid helium realized at cryogenic temperature by numerical simulation.</p> <p>In this study, we developed a simultaneous coupling solution for computation of quantum turbulence to calculate the movement of a point vortex and computation of a fluid in a fixed coordinate system. As a result, it was found for the first time that the velocity distribution of the normal fluid is flattened by the strong interaction when the velocity of the superfluid increases and becomes the state of quantum turbulence. The results clearly reproduce phenomena seen in visualized experiments.</p>
Notes	
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=2017000001-20170248

研究代表者	所属	法学部	職名	教授	補助額	300 (A) 千円
	氏名	小林 宏充	氏名 (英語)	Hiromichi Kobayashi		
研究課題 (日本語)						
超流動ヘリウム中の常流体の数値シミュレーション						
研究課題 (英訳)						
Numerical simulation of normal fluid in superfluid helium						
1. 研究成果実績の概要						
<p>ヘリウムは極低温では、粘性がゼロの超流体と粘性を担う常流体の2流体からなる超流動ヘリウムとしてモデル化されることが実験的に示されている。矩形ダクトに超流動ヘリウムを満たし、一方を熱すると、常流体は熱した方から他方へ流れ、超流体は逆方向へ流れる熱カウンターストリームが1940年代から実験されてきた。最近、常流体の速度分布の可視化が可能になり、遅い流速で通常見られる放物形のポアズイユ流から中央は盛り上がるが壁近くは平坦な tail-flattened 流と呼ばれる流れに変化することが明らかになった。</p> <p>その現象を数値計算で解明するために、これまでは、常流体の速度分布はポアズイユ流分布や一様な分布と固定した状態で、超流体中の渦糸が毛玉のような状態になる量子タングル状態、すなわち量子乱流現象のみが検討されてきていた。しかしながら、最近の可視化実験で明らかになったように、常流体の速度分布が通常では見られない tail-flattened 分布になることがわかった。そこで、常流体の運動も固定することなく、相互摩擦力を介して流れ場が変化する2流体カップリングの計算が必要であることが明らかになった。</p> <p>本研究の目的は、極低温で実現する超流動ヘリウム中の量子乱流と相互作用する常流体の速度分布を数値シミュレーションによって明らかにすることである。</p> <p>本研究では、点渦の動きを計算する量子乱流の計算と固定された座標系で流体の変化を計算する常流体の計算の同時カップリング解法を開発した。その結果、超流体の速度が増加し、量子乱流の状態になると、強い相互作用力によって常流体の速度分布が平坦化することが初めて明らかにできた。その結果は、可視化実験でみられる現象を良く再現していることがわかった。</p>						
2. 研究成果実績の概要 (英訳)						
<p>It has been experimentally shown that helium is modeled as superfluid helium consisting of two fluids, namely, a superfluid with zero viscosity and a normal fluid with viscosity, at cryogenic temperatures. When a rectangular duct is filled with superfluid helium and one side of the rectangular duct is heated, the normal fluid flows from the heated side to the other side, and the superfluid flows in the reverse direction. Such a flow is termed as the thermal counter flow and has been experimented in the 1940's. Recently, it became possible to visualize the velocity distribution of the normal fluid, and it turns out that unlike the parabolic Poiseuille flow normally seen at a slow flow rate, the flow became the so-called tail-flattened flow, namely, the central part rises but the near-wall part is flattened.</p> <p>In order to elucidate the phenomenon by numerical simulation, so far, only vortex tangle state of the superfluid, that is, quantum turbulence phenomenon has been studied when the velocity distribution of the normal fluid is fixed with Poiseuille flow distribution or uniform distribution. However, as clarified in recent visualized experiments, it was found that the velocity distribution of the normal fluid becomes the tail-flattened distribution that is not normally observed. Therefore, it was revealed that it is necessary to calculate the two fluid coupling in which the flow field varies through a mutual friction without fixing the movement of the normal fluid.</p> <p>The purpose of this research is to clarify the velocity distribution of a normal fluid interacting with quantum turbulence in superfluid helium realized at cryogenic temperature by numerical simulation.</p> <p>In this study, we developed a simultaneous coupling solution for computation of quantum turbulence to calculate the movement of a point vortex and computation of a fluid in a fixed coordinate system. As a result, it was found for the first time that the velocity distribution of the normal fluid is flattened by the strong interaction when the velocity of the superfluid increases and becomes the state of quantum turbulence. The results clearly reproduce phenomena seen in visualized experiments.</p>						
3. 本研究課題に関する発表						
発表者氏名 (著者・講演者)	発表課題名 (著書名・演題)	発表学術誌名 (著書発行所・講演学会)	学術誌発行年月 (著書発行年月・講演年月)			
Satoshi Yui, Makoto Tsubota, Hiromichi Kobayashi	Three-dimensional coupled dynamics of two-fluid model in superfluid 4He: Deformed velocity profile of normal fluid in thermal counterflow	Physical Review Letters	2018			