

Title	超流動における量子渦環生成装置の開発
Sub Title	Development of generator of quantized vortex ring in superfluid
Author	永合, 祐輔(Nago, Yusuke)
Publisher	慶應義塾大学
Publication year	2021
Jtitle	学事振興資金研究成果実績報告書 (2020.)
JaLC DOI	
Abstract	<p>量子乱流の生成・減衰に密接に関わる量子渦の非線形運動状態の解明に向け、超流動ヘリウム中で渦環を、そのサイズと形状を制御して生成させるための装置開発に取り組んだ。渦環生成装置は超伝導細線を用いたワイヤー振動子と樹脂製細孔板から構成される。まず有限要素法による数値計算によって細孔板が接続したワイヤー形の共振装置の共振周波数を見積もった上で、細孔板の形状、サイズを決定し、3Dプリンターを用いた光造形法によって最小孔直径4umの細孔板を作製した。その後、超伝導細線をアーチ状に張ったワイヤー振動子の頂点に、細孔板を接着した。室温でこの渦環生成装置の駆動テストを行い、正常に共振していることを確認した上で、4He冷凍機を用いて温度約1.3Kまで装置を冷却し、超流動ヘリウム中での共振スペクトル測定を行った。振動速度のドライブ電流(力)依存性を調べ、常流動成分による粘性の効果を示唆する線形性を確認することに成功した。しかし、量子渦、量子乱流が発生する振動速度まで上昇させることができなかった。これは、太さ156umの太い超伝導線を使用して装置を作製したが、その分硬くなったため十分な振動振幅が実現できなかったことが考えられる。そこで、新たにマニピュレータを導入して、より小サイズの細線および細孔板の取扱いを確立した。このマニピュレータを用いて太さ30umの超伝導細線振動子に、前回よりも小さいサイズの細孔板を接着した渦環生成装置を新たに作製した。再度低温超流動中で実験を行ったところ、渦・乱流生成に伴う振動の散逸の観測に成功した。細孔から渦環が放出されていると考えられる。今後、渦環が放出されていることを実証すべくさらなる装置の改良および実験を進める予定である。また、ヘルムホルツ共鳴器を用いた渦環生成装置の作製も検討する。</p> <p>I developed generator devices of quantum vortex rings which can control a ring shape and size precisely in superfluid helium, for elucidation of non-linear dynamics of quantum vortices related to creation and decay of quantum turbulence. A vortex ring generator consists of a vibrating wire resonator made of a superconducting wire and a resin orifice plate. A shape and a size of the orifice plate was fixed by estimation of a resonant frequency of the device using numerical simulation with a finite element method, and the plate with a minimum diameter of 4 um was fabricated with stereolithography using a 3D printer device. Then, the plate was glued at the top of the superconducting vibrating wire with an arch shape. I checked a resonant oscillation of the device at a room temperature and then cooled it down to 1.3 K with a 4He cryostat to measure a resonant spectrum in superfluid helium. I investigated a current(force) dependence of oscillation velocity and successfully obtained its linearity due to viscosity of a normal fluid component of superfluid helium. However, an oscillation velocity did not increase exceeding the critical velocity for creation of quantum vortex and quantum turbulence. There is a possibility that the resonator did not realize high oscillation amplitude because the wire resonator consists of a thick and hence rigid superconducting wire with a size of 156 um. I then prepared a micro manipulator and devised manipulation of a thinner wire and a smaller orifice plate. I fabricated a vortex-ring generating device in which a smaller orifice plate was glued with a superconducting wire with a thickness of 30 um. I again performed oscillation measurements in superfluid helium at low temperatures and finally succeeded to observe dissipation of oscillation due to vortex/turbulence generation. It suggests vortex ring emission from the orifice. It is desirable to improve a resonator and prepare further experiments for direct verification of vortex ring emission. I will also consider fabrication of a vortex ring generating device using a Helmholtz resonator.</p>
Notes	
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=2020000008-20200157

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

研究代表者	所属	理工学部	職名	助教	補助額	300 (A) 千円
	氏名	永合 祐輔	氏名 (英語)	Yusuke Nago		
研究課題 (日本語)						
超流動における量子渦環生成装置の開発						
研究課題 (英訳)						
Development of Generator of Quantized Vortex Ring in Superfluid						
1. 研究成果実績の概要						
<p>量子乱流の生成・減衰に密接に関わる量子渦の非線形運動状態の解明に向け、超流動ヘリウム中で渦環を、そのサイズと形状を制御して生成させるための装置開発に取り組んだ。渦環生成装置は超伝導細線を用いたワイヤー振動子と樹脂製細孔板から構成される。まず有限要素法による数値計算によって細孔板が接続したワイヤー形の共振装置の共振周波数を見積もった上で、細孔板の形状、サイズを決定し、3Dプリンターを用いた光造形法によって最小孔直径 4μm の細孔板を作製した。その後、超伝導細線をアーチ状に張ったワイヤー振動子の頂点に、細孔板を接着した。室温でこの渦環生成装置の駆動テストを行い、正常に共振していることを確認した上で、4He 冷凍機を用いて温度約 1.3K まで装置を冷却し、超流動ヘリウム中での共振スペクトル測定を行った。振動速度のドライブ電流(力)依存性を調べ、常流動成分による粘性の効果を示唆する線形性を確認することに成功した。しかし、量子渦、量子乱流が発生する振動速度まで上昇させることができなかった。これは、太さ 156μm の太い超伝導線を使用して装置を作製したが、その分硬くなったため十分な振動振幅が実現できなかったことが考えられる。そこで、新たにマニピュレータを導入して、より小サイズの細線および細孔板の取扱いを確立した。このマニピュレータを用いて太さ 30μm の超伝導細線振動子に、前回よりも小さいサイズの細孔板を接着した渦環生成装置を新たに作製した。再度低温超流動中で実験を行ったところ、渦・乱流生成に伴う振動の散逸の観測に成功した。細孔から渦環が放出されていると考えられる。今後、渦環が放出されていることを実証すべくさらなる装置の改良および実験を進める予定である。また、ヘルムホルツ共鳴器を用いた渦環生成装置の作製も検討する。</p>						
2. 研究成果実績の概要 (英訳)						
<p>I developed generator devices of quantum vortex rings which can control a ring shape and size precisely in superfluid helium, for elucidation of non-linear dynamics of quantum vortices related to creation and decay of quantum turbulence. A vortex ring generator consists of a vibrating wire resonator made of a superconducting wire and a resin orifice plate. A shape and a size of the orifice plate was fixed by estimation of a resonant frequency of the device using numerical simulation with a finite element method, and the plate with a minimum diameter of 4 μm was fabricated with stereolithography using a 3D printer device. Then, the plate was glued at the top of the superconducting vibrating wire with an arch shape. I checked a resonant oscillation of the device at a room temperature and then cooled it down to 1.3 K with a 4He cryostat to measure a resonant spectrum in superfluid helium. I investigated a current(force) dependence of oscillation velocity and successfully obtained its linearity due to viscosity of a normal fluid component of superfluid helium. However, an oscillation velocity did not increase exceeding the critical velocity for creation of quantum vortex and quantum turbulence. There is a possibility that the resonator did not realize high oscillation amplitude because the wire resonator consists of a thick and hence rigid superconducting wire with a size of 156 μm. I then prepared a micro manipulator and devised manipulation of a thinner wire and a smaller orifice plate. I fabricated a vortex-ring generating device in which a smaller orifice plate was glued with a superconducting wire with a thickness of 30 μm. I again performed oscillation measurements in superfluid helium at low temperatures and finally succeeded to observe dissipation of oscillation due to vortex/turbulence generation. It suggests vortex ring emission from the orifice. It is desirable to improve a resonator and prepare further experiments for direct verification of vortex ring emission. I will also consider fabrication of a vortex ring generating device using a Helmholtz resonator.</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)			
Tomoyuki Tani, Yusuke Nago, Satoshi Murakawa, and Kei-ya Shirahama	Evidence for 4D XY Quantum Criticality in 4He Confined in Nanoporous Media at Finite Temperatures	Journal of the Physical Society of Japan, Vol.90, 033601	2021年2月12日			
谷智行, 永合祐輔, 村川智, 白濱圭也	ナノ多孔体 Gelsil 中ヘリウム 4 の流れ特性と超流動臨界指数	日本物理学会第 2020 年秋季大会	2020年9月10日			