

# 論文審査の結果の要旨

氏名 小幡 利顕

「高速回転下での多重連結ヘリウム薄膜のねじれ振り子実験」

"Torsional Oscillator Experiments of Multiply Connected Helium-4 Films under High Speed Rotation"

本論文は、大別して二つの部分からなる。第1の部分は申請者が世界に例のない高速回転冷凍機を完成させ、これを用いて行なった多重連結ヘリウム薄膜系の捻り振り子を用いて行なった超流動実験を記述し、回転によって得られたこの系独特の超流動渦糸状態の初の非線形的振る舞いの観測と、線形的応答の解析を行なったものである。第2の部分は、これに先立って申請者が行なった理論的研究で、第1の部分の研究をを定量的に行なうために長年にわたり未解決であった問題の解決の糸口を示す仕事である。コスタリッツ・タウレスの2次元超流動理論を申請者独自の直方体の棒を組み合わせたジャングルジム・モデルについて拡張し、この系で渦対が移動して出来る状態を調べ上げ、これに伴う位相の変化を数値計算によって求めた。更にこれから渦対を多重連結ヘリウム薄膜上を移動させた状態でのエネルギーを計算し、この系での3次元渦励起である渦輪のエネルギーを求めた。また超流動流れに対する応答を求めた。この第2の部分は、既に投稿論文が出版されるとともに量子液体固体国際シンポジウムQFS2003(Albuquerque)及び、回転超流動国際ワークショップ(日光)で本人による口頭発表が行なわれている。

論文審査は、第1の部分について特に詳しく行なった。これは、

所属の久保田研究室が六本木にあった時代に行なった孔径が1マイクロンに揃った多孔質ガラスの孔表面に吸着させたヘリウム薄膜の毎秒1回転までの研究を更に押し進め、1マイクロンとともに孔径10マイクロンの多孔質ガラスに吸着させたヘリウム薄膜についての研究にも拡張したのに加え、これを世界に例がない、いっそう高速の毎秒4.5回転迄の回転下で行なった捻り振り子実験研究についての報告である。以下の点が特筆されるべき点である。

[1]. 多孔質ガラスで実現される多重連結の孔表面に吸着させたヘリウム薄膜は、原子層薄膜としての2次元性と多重連結している表面の3次元結合性とから、2次元と3次元の超流動の性質を併せ持つ。これを回転下においた時に想定される渦糸の振る舞いがどのように捻り振り子法で研究できるのかが、まずもって解明されるべき課題であった。1マイクロンの系での回転実験から、捻り振り子の散逸ピークが、静止下で現れる散逸ピークに加えその低温側に新たに回転数に比例して高くなるものとして現れることが見出されている。この回転渦発生メカニズムは最近、Fukuda, Minoguchi, Soninらによって考察されたが、このメカニズムによると孔径が変わると静止、回転の二つのピーク的位置が変化すると予測される。10マイクロン系での回転実験の結果は、このメカニズムを肯定、より確定する結果となった。

[2]. 角速度 $\Omega$ の回転下の超流体中に安定に存在する渦格子を形成する渦の単位断面積あたりの渦密度  $n$  は  $n = (2\Omega / \kappa)$  である。ここで  $\kappa$  は循環量子で  $h/m$  の大きさを持つ。これからある回転角速度  $\Omega$  の時の平均渦間距離が求まる。毎秒5回転くらいの回転速度では、この渦間距離は、孔径1マイクロン(平均格子間間隔2マイクロン)の多孔質では10以上の孔格

子間隔に相当するのに対し、孔径が10ミクロン(平均格子間隔20ミクロン)の系では孔間距離と同程度以下になる事が想定される。それ故、いわば渦糸の高密度状態が実現すると考えられる。本論文で、申請者は次の点を見出した。

- a). 1ミクロン系では線形の応答が続いている回転領域である毎秒1回転付近で10ミクロン系で線形応答からのずれが回転によるピークの高さで見出された。
- b). この非線形な部分を更に誘電関数を用いた解析を行なう事によって、非線形性と孔格子と渦間距離の関係の解明が進められる事が見出されて来た。

これらの成果をもとにいつその超流動渦糸の科学の進展が期待される。

なお、本論文は共同研究の成果を含んでいるが、本論文の第2の理論計算の部分は、申請者個人がモデルを考案し、計算を実行、論文執筆を中心に押し進めたものである。また、第1の回転実験の部分についても、大型の装置自体の建設には研究室を挙げての取り組みがなされたものの超流動回転実験の実現は申請者の中心的働きによって初めて可能となった。更に実際の実験研究と実験結果の解析は申請者によってなされた。よって、論文提出者の寄与が十分であると判定する。

従って、博士(科学)の学位を授与できると認める。