

論文審査の結果の要旨

氏名 谷口淳子

これまでに平坦な固体表面に吸着した薄膜液体ヘリウムが示す2次元量子性が明らかにされてきた。本論文では、1次元量子液体の実現を目標として、内径数 nm の1次元細孔内に量子液体を閉じ込め、その超流動液体ヘリウム4薄膜が示す1次元フォノン比熱、および液体ヘリウム3薄膜の比熱を報告している。

本論文は、まとめとなる第8章を含めた全8章から構成されている。第1章は序論で、量子液体研究の歴史が簡単にまとめられた後に、研究の目的が述べられている。第2章では、量子液体を閉じ込めるために用いたメゾ多孔体が紹介されている。これはシリケートでできた六角柱孔の束であり、孔の大きさを数 nm 程度の範囲で制御できる。本研究では、細孔の対角線長さが1.8 nm (多孔体A)と2.8 nm (多孔体B)で、柱の長さが1ミクロン程度の2種類の多孔体を用いられた。第3章では、本研究で開発した希釈冷凍機および核断熱消磁冷却により5 mKまで測定可能な比熱測定装置が説明されている。メゾ多孔体を組み込んだ新たな装置を作製し、量子液体の比熱を精密に測定できるようにした。

第4章では、円筒列内壁へのヘリウム吸着を調べるために行なわれた吸着圧力の測定結果が示されている。その結果から、吸着第一層が完結し2層目が成長始めるヘリウム密度 (n_1) と2層目が完結するヘリウム密度が決定された。

第5章では、ヘリウム4の比熱について結果が示され、吸着固体の成長と多孔体内の超流動ヘリウムの比熱が議論されている。多孔体Bの場合でヘリウム密度が $1.4n_1$ 以下のときには、細孔内に非晶質固体薄膜が形成されていると結論した。さらに、ヘリウム密度を増加させると、等温比熱が減少する。これまでの同じ系でのねじれ振りの研究により、この密度域では細孔内のヘリウム超流動が観測されている。この超流動転移温度より少し高い温度で、比熱の温度依存性が変化した。これは、超流動転移に伴う変化と解釈した。この転移温度より十分低温では比熱は温度に比例している。低温での素励起はフォノンだと考えられ、この液体中のフォノンの細孔円周方向の運動は測定最低温付近では量子化された基底状態にある。したがって、温度に比例した比熱は1次元フォノンによるものとして理解できる。比熱から求められた音速は、平坦な薄膜液体の第3音波の音速と同程度である。多孔体Aを用いた場合には、細孔内に非晶質固体が形成されるだけで、液体は観測されなかった。

第6章では、ヘリウム3の比熱について結果が示され、吸着固体の成長と細孔内のフェルミ液体比熱が議論されている。多孔体Bの場合でヘリウム密度が $1.58n_1$ 以下のときには、細孔内に非晶質固体薄膜が形成されていると結論した。これよりも密度が

増えるとフェルミ液体の共存が観測された。しかし、固体ヘリウム3の大きな核比熱のために、フェルミ液体の次元性を判断することはできなかった。多孔体 A を用いた場合には、細孔内に非晶質固体ヘリウム3が形成され、それが細孔内空間をすべて埋めるまで吸着が続いていると結論した。

第7章では、最初に固体ヘリウム4を吸着させた多孔体 B を用い、固体ヘリウム3が形成されない条件でヘリウム3を吸着させた結果が述べられている。これにより、液体ヘリウム3の比熱を定量的に測定した。その結果、50 mK 以下で温度に比例する比熱を観測した。これを、細孔内の液体ヘリウム3では断面方向の運動が量子化し、1次元フェルミ縮退したと解釈した。しかし、観測された比例係数の密度依存性は、1次元フェルミ粒子系からの予測とは異なっている。

審査委員会は、これらの研究において、測定装置の開発と極低温での実験が計画的かつ十分注意深く行なわれ、その解析及び考察が適切になされていると判断した。本研究により、1次元多孔体中に吸着した固体および液体ヘリウムの比熱が5 mKまでの低温で測定されたことの意義は大きい。これにより、細孔内に吸着した単原子厚液体ヘリウム4のフォノンが低温で1次元性を示すことが明らかとなった。また、細孔内液体ヘリウム3の比熱の温度依存性に明確な閉じ込め効果を観察した。本研究では、1次元的な異方性が強い場合に超流動性とフェルミ液体としてのふるまいがどのようになるかという基本問題については明確な結論を得ることができなかったものの、1次元多孔体中の量子液体のもつ1次元的なフォノン励起の観測など物性研究として特筆すべき成果をあげた。また、本研究は、和田信雄教授（元指導教官、現名古屋大学大学院理学系研究科）、石本教授（物性研究所）、その他の研究者との共同研究となる部分を含むが、著者が研究計画から実験及び解析・考察のすべての段階で主導的な役割を果たしており、主体的寄与があったものと判断した。したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。