

1 次元超流動の動的理論

押川 正毅

東京大学物性研究所

超流動の発見から 70 年以上を経たが、近年、さまざまな実験系での実現によって新たな局面を迎えている。代表的な超流動系である液体ヘリウム 4 についても、制限された空間中での超流動の実験的研究が活発に行われている。超流動はしばしばボース・アインシュタイン凝縮または非対角長距離秩序と関連付けられるが、これらは別の概念である。それが明らかになる例として、ヘリウム 4 の 2 次元薄膜における超流動が以前から知られている。このような有限温度の 2 次元系には非対角長距離秩序は存在しないが、超流動性を発現する。この 2 次元における超流動は、超流動密度と、位相ひねりに対する自由エネルギーの応答（ヘリシティモジュラス）の等価性から理解できる。一方、1 次元では、有限温度・熱力学的極限でヘリシティモジュラスはゼロになり、この観点からは超流動は存在しないはずである。しかし、たとえば、最近谷口らによるねじれ振子実験で、1 次元細孔を持つ媒質 FSM-16 中のヘリウム 4 における超流動が観測された。[1]

これを理解するために、超流動の動的理論を考察した。[2] まず、超流動密度とヘリシティモジュラスの等価性は、熱平衡への緩和が前提となることを指摘する。従って、緩和が異常に遅い 1 次元系では、長い時間スケールで超流動性の発現が可能となる。次に、1 次元細孔中のヘリウム 4 について、朝永・ラッティンジャー流体理論と記憶関数に基づいて超流動応答の具体的な理論を構築した。その結果、実験と定性的に一致する超流動密度と散逸の温度依存性を導出した。また、超流動密度は観測する周波数に弱く依存し、ゼロ周波数の極限でゼロになることを予言した。これは、上述の 1 次元系における異常に遅い緩和を反映している。

[1] J. Taniguchi, Y. Aoki, and M. Suzuki, Phys. Rev. B **82**, 104509 (2010); J. Taniguchi, R. Fujii, and M. Suzuki, Phys. Rev. B **84**, 134511 (2011).

[2] Thomas Eggel, Miguel A. Cazalilla, and M. O., arXiv:1104.0175 (to be published in Phys. Rev. Lett.)