

量子流体力学と 量子乱流

大阪市立大学 大学院理学研究科 教授
坪田 誠



研究の背景

私達の身の回りには、さまざまな流れがあります。そしてそのほとんどは乱れた流れ～乱流です。乱流はどのような条件で生じるのか、どうしたら乱流を制御できるのかは、自然科学における大きな問題です。この鍵となるアイデアを持っていたのが、レオナルド・ダ・ヴィンチです。ダ・ヴィンチは水の乱流のスケッチを描き、乱流は大小様々な渦からなることを見抜きました。しかし、これらの渦は容易に生まれたり消えたりする不安定な存在で、乱流が本当に渦から成っているかを確認する事は容易ではありません。一方、低温物理学の分野では、超流動ヘリウム、原子気体ボース・アインシュタイン凝縮体(BEC)などの系が研究されて来ました。これらの系では、量子力学的効果により、量子渦という、明確で安定な渦が存在します。そして、量子渦が作る乱流を、量子乱流と言います。本研究では、これらの系の流体力学(量子流体力学)と量子乱流を対象とした理論的・数値的研究を行い、乱流の物理の本質に迫る事を目標にしています。

研究の成果

多くの成果を出しましたが、ここでは代表的な以下の二点について述べます。

(1) 超流動ヘリウムの量子流体力学で、実験的に最も研究されてきたのが、熱によって流れを駆動する熱カウンター流と呼ばれる状況です。しかし、どのようにして量子乱流が形成されるのかはわかっていませんでした。我々は、量子渦の運動方程式を数値的に解き、乱流が形成される様子を初めて明らかにしました(図1)。得られた結果と、実験結果とは定量的によく一致しました。

(2) 原子気体BECで、量子乱流を作るいくつかの方法を提案しました(我々が5年前に提案した方法によって、量子乱流は実験で作られました。これがこれまでに原子気体BECで量子乱流が作られた唯一の例です)。2成分のBECを逆向きに流す、BEC中でポテンシャルを振動させるなどの方法を提案しました。図2は、振動ポテンシャル(中央付近の大きな孔)により、左右に次々と量子渦(多数の小さな孔)が放出される様子の数値計算です。

今後の展望

量子乱流をどのように作るかがわかりましたので、次は作

られた乱流の性質を調べます。普通の乱流では、いくつかの代表的な統計法則が知られており、それらが量子乱流ではどうなるのかに焦点を当てます。そして、それらは全て量子渦の運動または状態に帰着されるはずで。このように、構成要素から全体の系を理解するという「要素還元主義」の描像をとれるのがこの系の大きな特徴です。量子乱流そのものの解明とともに、ダ・ヴィンチが夢見た乱流の理解そのものにもつながると考えています。

関連する科研費

平成18-20年度 基盤研究(B)「量子流体力学の構築」
平成21-23年度 基盤研究(B)「量子流体力学の展開」

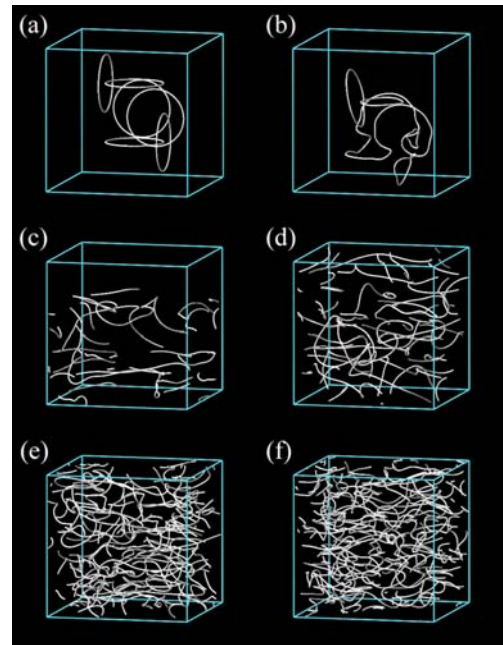


図1 超流動ヘリウム中の量子乱流形成の様子。

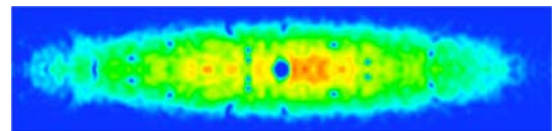


図2 原子気体BEC中で、振動ポテンシャルにより、次々と量子渦が放出される様子。