

論文の概略

フェルミ粒子と呼ばれる、上向きと下向きのスピン自由度（自転のようなもの）を持つ粒子がたくさん集まると、逆向きのスピンを持つ粒子がペアを組むことによって、超流動状態（粘性ゼロの量子的な液体）になることが知られています。しかしながら、この「超流動フェルミ気体」を構成粒子の自由度から量子多体理論に基づいて記述することは大変難しく、精緻な理論と最先端のスーパーコンピューターが必要となります。この論文で私たちは、最新の理論と大規模並列計算により、“スピン偏極”のある（上向きスピンと下向きスピンを持つ粒子の数が異なる）超流動フェルミ気体に、新奇な現象が発現することを明らかにしました。

現象のイメージを持つために、少し話が逸れますが、男女でペアを組んで参加する形式のダンスパーティーを思い浮かべてみてください。もし男性と女性の出席者の数が等しければ、全員がペアを組むことができます。しかし、もし男女の出席者数が異なっていたらどうでしょうか？そうすると、残念なことにペアを組めない人がいることになります。では、このペアを組めなかった人たちはどうするでしょうか？大人しくダンスを見学する？それとも、ペアで踊っている人たちの邪魔をする？——これと似た状況が、“スピン偏極”のあるフェルミ粒子多体系にも現れます。つまり、超流動状態になるために粒子はペアを組むのですが、ペアを組めない粒子が存在するのです。私たちの計算は、ペアを組めなかった粒子が、超流動部分から押しのけられてしまうことを示しました（先ほどの例で言えば、ペアを作った人たちがダンスホールを占拠）。さらに、ダイナミクスを調べてみると、超流動部分にある種の“欠陥”（ドメイン壁、渦輪、渦糸などのトポロジカルな欠陥）ができると、ペアを組めなかった粒子がその欠陥内部に引き込まれ、欠陥の安定性に影響を及ぼすことがわかりました。特に、超流体は量子渦と呼ばれる欠陥の交差・再結合によって“量子乱流”と呼ばれる現象を示すのですが、私たちのシミュレーションの結果は、欠陥に吸い込まれた粒子によって乱流現象が阻害される可能性を示唆しています。——最初は外からダンスを傍観していたペアを作れなかった人たちも、隙を見てダンスホールに入り込み、ダンスに影響を与えたのです。

この成果は、ヨーロッパ最大・世界第6位（2018年6月現在）のスーパーコンピューター「Piz Daint（ピッツ・ダイント）」の利用によって得られました。私たちは、最新の理論と計算機を駆使し、スピン偏極という新しい自由度を取り入れ、質的に新しい現象を探求しています。

