

上田研究室

上田正仁教授 古川俊輔助教

1 研究の背景

近年のナノサイエンスの発展により、原子や分子、光子を量子1個の単位で精密に制御・観測をすることが可能になってきた。当研究室では、このような高い制御性を有する系での量子多体問題、ナノ・スケールの熱力学、統計力学の基本原理解明などの解明を目指して理論研究を行っている。

2 最近の研究テーマ

【冷却原子気体】

真空中にトラップされた原子気体は、原子間相互作用の強さを含むほとんどすべての物質パラメータを自在に変化させることができる究極の人工量子物質であり、様々な物理現象に共通する普遍的な法則の探究が可能である。例えば、極低温で実現される巨視的量子現象であるボース・アインシュタイン凝縮のダイナミクスには、超新星爆発や宇宙初期の相転移とも類似した現象が現れる。また、原子気体の時間発展を正確に追うことで、孤立系がいかにか熱平衡状態に至るかという統計力学の基礎的問題を研究することもできる。私たちは冷却原子気体を題材に、多様な物理現象の基礎的理解の進展を目指して研究に取り組んでいる。

最近の研究では、相互作用が強い極限（いわゆるユニタリティ極限）におけるフェルミ超流動体の性質の解明に取り組んでいる。ユニタリティ極限では、原子の種類などの詳細によらない普遍的な性質を示すようになると予想されている。この問題は、高温超伝導のメカニズムや原子核物理の問題とも深い関連がある。また、系の大局的性質を捉えるトポロジーの概念を応用して、凝縮相における渦や単極子の性質の解明や、人工ゲージ場のもとでの量子ホール状態の研究にも取り組んでいる。今後は、様々な対称性を持った超流動や、超低温における化学反応、非可換統計の具現化など様々な分野にまたがる学際的な研究に発展していくものと期待される。

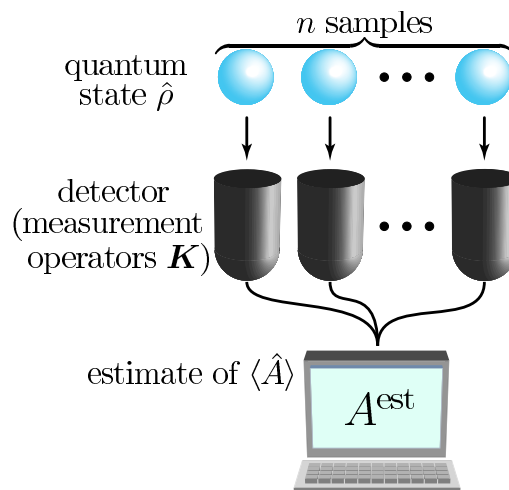
【量子論および統計力学と情報理論の融合】

私たちは情報をキーワードとして量子論や統計力学の基礎付けとなる研究を行い、さらに情報理論と量子論・統計力学を融合することで新たな研究分野の構築を目指している。最近私たちは、量子論の基礎に深く関係するハイゼンベルグの不確

定性関係について、誤差や擾乱の情報論的定式化(右図参照)に基づく研究を行った。その結果、これまで予想されていた交換関係による不確定性の積の下限は達成されず、より厳しい下限が存在する事を示し、その下限を達成する測定方法を具体的に構築することに成功した。また、測定過程における波束の収縮のダイナミクスとそれに伴う情報量の変化を記述する理論的手法の構築、量子もつれを用いた量子フィードバック制御などの研究にも取り組んでいる。これらの研究は、量子揺らぎや測定の反作用が無視できない重力波検出などの超精密測定が必要となる分野への応用につながると期待される。他方で、熱力学におけるエントロピー増大則も系の乱雑さの単調増加性として情報論的に捉えられると期待される。私たちは最近、情報論的エントロピーを応用して、エントロピー増大則の統計力学からの基礎付けに取り組んでいる。

3 今後の展開

物理・情報(認識)・数学を広い観点から捉え、分野の枠にとらわれずにファンダメンタルな物理につながると私たちが信じるテーマを探求する。



量子測定による量子状態についての情報の抽出過程。量子測定の誤差を定量化するためには、測定結果からどのような情報がどれだけ得られるかが重要となる。その情報は量子状態の推定の精度によって与えられる。推定の精度が高ければ、測定によって得られる情報量が多く、測定誤差は小さい。一方、推定の精度が低ければ、得られる情報量は少なく誤差は大きい。Physical Review A **84**, 042121 (2011) より転載。