

論文審査結果の要旨

氏名 市川豪

本論文は4章からなる。

第1章はイントロダクションであり、超冷中性子の特性や、その重力場での量子力学的な束縛状態の性質について論じている。波長の長い超冷中性子は、水平に置かれ平面に磨かれたガラスの表面で全反射させることができる。一方、中性子は電氣的に中性なため、重力だけを感じる状況に置くことができ、ガラス表面の反射と重力のポテンシャルの間に閉じ込めて、その量子状態を観測することができる。重力はとても弱いため、中性子の量子化された高さ分布の構造は μm のオーダーであり、マクロなサイズに量子力学的な効果が現れるところが特徴のひとつである。この章では、重力による束縛状態を観測する目的でおこなわれた以前の研究について議論してその限界を説明し、本研究のめざすものを明かにしている。

第2章は実験方法と装置の説明である。実験に用いられた超冷中性子源について説明した後、本研究のユニークな実験装置について詳しく解説されている。観測しようとする存在確率の濃度パターンのサイズは数 μm 程度であり、それを見るためには μm 以下の位置分解能を実現することが必要である。本研究では、 ^{10}B のコーティングにより超冷中性子に感度を持たせたCCDピクセル検出器とガラス円筒の表面反射により微細な位置の違いを10-20倍に拡大するシステム(拡大ロッド)を組合せて目的とする分解能を実現している。

第3章では、実験の結果が示され、それを量子力学で解釈するための詳しい計算の過程が展開されている。測定結果には特徴的な高さ方向の濃度パターンが明かに見えている。これが、検出器感度の不均一性や拡大ロッド表面の不完全性など測定器の問題に起因するものでないことがいくつかの方法で確かめられている。理論計算では、この検出器システムの中で起っている物理プロセスを詳細に検討し、量子力学と必要に応じて古典力学を適切に組み合わせ、システムの中で実現している量子力学的な束縛状態を計算し、それが検出器の上にどのように現れるかを詳しく議論している。特に、拡大ロッドの振舞いを記述するために位相空間でのWigner関数を用いた計算はとても重要である。これらの計算は最終的にモンテカルロシミュレーションに実装され、いくつかの不明なパラメータ(検出器の位置の誤差、内部での中性子の吸収など)をLikelihood fitをおこなって決定した。さらに、純粋に古典力学のシミュレーションもおこなって量子力学の結果と比較し、明かに量子力学の結果が実験データを良く再現することも確かめた。結果として、この研究により重力により束縛された中性子の量子化された縦方向の位置分布を初めて直接観測することに成功した。これにより、論文中では顕わには議論されていないが、量子力学的なスケールにおいて重力相互作用をテストし、また未知の力の存在の検証などの興味深い研究への一歩を進めたと言えるだろう。

第4章は、まとめと結論である。

本論文で議論されている研究は駒宮、神谷との共同研究であるが、実験の実行、データの解析、それを解釈するための理論計算などすべてを論文提出者が主体となっておこなったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。特に、量子力学に基く計算を構築する過程で多くの工夫と努力のあとがうかがわれる。この論文の内容は、審査員全員十分納得する研究結果であり、論文提出者の物理学の知識も博士(理学)を受けるに十分である。したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。