

論文審査の結果の要旨

氏名 久保木 浩功

本論文は6章からなり、その研究内容は、量子力学と局所实在論の予言の違いを示すベルの不等式の破れを、異なるハドロン対陽子と中性子のスピン相関測定により実験的に検証することを目指したものである。

第1章(序章)では、EPR (Einstein, Podolsky, Rosen) パラドックスに始まる、量子力学と局所实在論の内容の概説、スピン相関によるベルの不等式の破れ検証のための実験条件、特にハドロンを用いたこれまでの実験結果に関する測定の紹介と評価、および本研究の目的、特徴および実験手法が論じられている。ハドロンのスピンを用いた不等式の破れの検証に成功した陽子対の実験では、2つの陽子のスピンを同じ検出器(偏極度計)で測定しており、陽子間の情報交換の可能性を否定できなかった。論文提出者等は、陽子と中性子という異なるハドロンを、十分に距離を離れた独立な偏極度計でそれぞれ測定すること(空間分離)でこの可能性の否定をはかった。陽子に対する偏極測定軸が実験室に固定されていることにより、測定軸をスピンの軸と無相関にできないという欠点をもつが、これまで、異なるハドロン系の測定も、空間分離の条件を満たした測定もなく、この研究の独創性は高く評価される。本研究では、スピンを0に組んだ、 1S_0 陽子-中性子対を、入射エネルギー 270 MeV の $^2\text{H}(d, pn)$ 反応によって生成した。陽子-中性子対の重心を並進させることにより、偏極測定の効率を高め、また、それらの相対エネルギーの小さい領域を使うことで、 1S_0 成分の純度を高めている。こうした実験手法は、これまで学位申請者等により開発されたもので、実験の信頼度の高さを裏付けるものとして評価される。

第2章では、具体的な実験の内容が記述されている。実験は中間エネルギー重陽子ビームが得られる理化学研究所において行なわれた。サイクロトロンによって 270MeV に加速された偏極重陽子ビームを重水素標的に照射し、生成された陽子のスピンは、高分解能磁気分析器 SMART の焦点面に設置された陽子偏極度計 (EPOL) で、中性子のスピンは、ビーム軸の延長線上 18m 下流に設置された中性子偏極度計

(NPOL)で測定された。これらのセットアップは、上記の空間分離の条件が満たされていることが特筆される。

第3章で、得られた実験データの解析が述べられている。個々の検出器の較正に基づき、EPOL および NPOL の有効偏極分解能の最適化が行われ、それぞれ、 $0.183 \pm 0.003_{stat} \pm 0.003_{sys}$ および $0.26 \pm 0.01_{stat} \pm 0.03_{sys}$ と求められた。また、陽子と中性子の同時計測は、偏極度計間の情報交換に要する時間以下の ± 9 nsec 以内の事象が選択された。セットアップに起因するそれぞれの偽非対称度が約2%程度であると評価された。陽子、中性子の相対エネルギーが 0.14 MeV 以下の事象をとることで、 1S_0 状態の純度 $95 \pm 9\%$ が得られた。学位申請者は、実験データからえられる結果の最適化のため、こうした解析を注意深くなしとげ、実験研究者としての能力を示している。

第3章による解析にもとづいた結果が第4章で述べられている。スピン相関関数 $C_{exp}(\Phi)$ は、ベルの不等式と量子力学の予言値が最大となる $\Phi = 45^\circ$ で、 $-0.81 \pm 0.57_{stat} \pm 0.14_{sys}$ であった。CHSH型の不等式で用いられる $S(\Phi) = |\cos \Phi - \cos 3\Phi| + |\cos(-\Phi) + \cos \Phi|$ が見積もられ、 $\Phi = 45^\circ$ で、 $3.47 \pm 1.80_{stat} \pm 0.43_{sys}$ が得られた。

第5章では、得られた結果に関する議論が記述されている。CHSH型の不等式の上限値2との差は、 0.8σ (統計誤差)に相当し、有意な破れを検証することはできなかった。学位申請者は、有意な破れの検証のため、(a)核反応の入射エネルギーを400 MeVとして、陽子の偏極分解能を2.5倍にして統計精度を高め、(b)系統誤差の主要因である、中性子の偏極分解能を系統誤差の小さい実験により較正する、という2点の改善点を提案している。これらの具体的な提案は、本研究でえられた定量的データに裏付けられたものであるという点で評価されるべきものである。

上述の内容は、第6章にまとめられ、将来の展望が述べられている。

以上のように本研究は、陽子中性子対を用いたベルの不等式の検証実験を実際に遂行し、有意な不等式の破れの検証実験の実現可能性を定量的に評価したものであり、この分野の今後の研究に貢献するものである。

なお、本論文は共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験及び解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

従って、博士(理学)の学位を授与できると認める。