

論文審査の結果の要旨

氏名 齋藤 岳志

本論文は、負ミューオンをプローブとして用いた原子核物理学を主題とした実験分野の論文であり、イントロダクション、第 1 部、第 2 部から構成されている。第 1 部ではミューオン原子 X 線分光について、第 2 部では原子核ミューオン捕獲反応について論じている。イントロダクションではこれらの事象を概観し、近年にいたるまでの世界的情勢を必要十分な形で紹介したうえで、本論文の目標を設定している。

第 1 部は 4 章からなる。

第 1 章では、大阪大学核物理研究センターの MuSIC-M1 ビームライン施設におけるミューオン原子 X 線分光実験について詳細が述べられている。同位体濃縮した 5 種類のパラジウム標的($A = 104, 105, 106, 108, 110$) にミューオンビームを照射し、ミューオン原子 X 線のエネルギーをゲルマニウム検出器で測定した。またプラスチックシンチレータを用いたビームライン検出器を用い、ミューオンビームの時間測定および混入する電子ビームとの弁別を行なった。解析においては γ 線や環境によるバックグラウンドを低減するため、ミューオンビームとゲルマニウム検出器で測定された光子の時間関係を利用した。第 2 章では実験データ解析の手法が詳述されている。

第 3 章では、決定されたミューオン原子 X 線の遷移エネルギーを、本研究で初めて決定された 14 個の遷移を含めて提示している。2p-1s 遷移のエネルギーは先行研究と一致し、高次(3d-2p, 4f-3d)の遷移についても、 ^{nat}Pd に対する測定と矛盾しないという結果が示された。

さらに、パラジウム同位体の荷電半径の解析を行い、2 変数ガウス型分布のモデルの範囲で解析の信頼度を議論した。この部分が第 1 部で最も独創的な部分である。高次の X 線を解析に取り入れることにより、モデル内の 2 つのパラメータを同時に決定できることを示し、モデルの範囲内ではあるが、従来手法による解析の系統誤差を初めて定量的に評価するとともにその低減に成功した。次に、ミューオン原子 X 線のエネルギーと 1 対 1 に対応する物理量として Barrett モーメントを導入することで、他の実験や理論計算によって求められた原子核荷電密度分布と、ミューオン原子 X 線のエネルギーとを直接的に比較することができることを示した。この部分は将来の展望を与える意味でも特に重要である。第 4 章は上記のまとめである。

第 2 部は原子核ミューオン捕獲反応について、中性子放出に着目した研究で、論文は、4

章からなる。

第 1 章では、MuSIC にて放出中性子のエネルギーを飛行時間法によって測定するための検出器セットアップが詳述された。このセットアップは論文提出者が本研究のために新規に最適化・設計したもので、SEAMINE と呼ばれる検出器アレイである。

第 2 章ではデータ整理の詳細が記述されている。パラジウム同位体のミュオン捕獲に伴う中性子のエネルギー分布が 1--20 MeV の範囲で得られ、ミュオン捕獲に特徴的な低エネルギー成分と高エネルギー成分の 2 成分を持つことがわかった。パラジウム同位体間ではエネルギー分布の形状の差異は大きくない一方で、タリウム、鉛、ビスマスといった重い核についての先行研究とはエネルギー分布の形状が異なることを示した。また、複数中性子の同時測定から、低エネルギー中性子が小角度方向に相関を持つことが初めて観測されたことが示された。さらに、それらのデータに付与される系統誤差が、シミュレーション計算を交えつつ詳細に分析されている。

第 3 章は議論に充てられている。まず、放出中性子エネルギー分布を分子動力学に基づき理論計算と比較し、この計算がミュオン捕獲後の原子核の励起エネルギーを低く見積もっていることを示した。中性子の角度相関については、測定の少なさから詳細については未解明であることが述べられた。第 4 章はまとめと展望で、上記をまとめるとともに、複数中性子測定を高統計、高分解能で実現するための実験的改善点が述べられている。

本論文は MuSIC コラボレーションでの共同研究であるが、第 1 部、第 2 部の内容は、ともに論文提出者が主体となって計画・分析を行ったもので、寄与が十分であると判断した。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。