

論文審査の結果の要旨

氏名 宮寺晴夫

本論文は7章と付録1章からなる。第1章は序論であり、本論文の2つのテーマ、大強度ミュオンビームの生成と、低速ミュオン科学について概観している。第2章は大強度ミュオンビーム生成のための装置 Dai Omega について、研究の背景、現有装置の概説から始まり、Dai Omega に用いた超伝導コイル、冷却系、真空系、ミュオン生成標的、シールド、設計に関わる詳細が述べられている。第3章は、低速ミュオニウム生成の基礎になる水素原子やポジトロニウムの物質からの脱離機構、固体内での拡散機構についてこれまでの知見をまとめている。第4章は、低速ミュオニウムの生成法を概観した後、熱したタングステン板から放出されるミュオニウムの運動エネルギーについて議論している。第5章は、低速ミュオンビームの生成、速度分布観測等に必要な実験装置を詳述している。第6章はミュオニウム生成実験の結果とその議論に当てられている。第7章は本論文全体の結論となっている。アペンディックスでは、 π 、 μ 粒子の性質、崩壊時のエネルギー分布、将来計画で用いるアバランシェダイオードの検討結果、磁場強度計算法、エネルギー対飛程の関係など、本論文に必要なデータ、あるいは、検討中の事項がまとめられている。以下、本論文の重要な帰結、本審査会の評価について述べる。

論文申請者は、高エネルギー加速器研究機構ミュオン科学研究施設において、Dai Omega と呼ばれる大立体角軸収束超伝導表面ミュオンチャネルの開発、特に、Dai Omega 本体の設計、組み上げ、動作チェック、粒子分離器の開発、ついで、Dai Omega を用いた μ SR 物性測定のための検出システムの開発を進めた。これにより、表面ミュオンを高効率で集め、非常に高い偏極度を持っている大強度ミュオンビームを生成することに成功した。Dai Omega の設計段階では、独自のコードを開発することにより、正確なミュオン軌道シミュレーションを行い、ミュオンの初期角度に関係なく多くのミュオンを収束させる条件を見いだした。本論文申請者は、従来の4重極電磁石を用いる方式より立体角を20倍大きくする事に成功し、結果として $\sim 4 \times 10^5 \mu^+/\text{s}$ のミュオンビームを得ている。これはプロトン強度が数10倍に達する他の施設が実現しているミュオン強度とほぼ同程度の世界最大強度のミュオンビームに属する。各国のミュオン施設とも本方式の導入を検討していることから明らかのように、ミュオン科学分野に明らかなインパクトを与えた研究となっている。さらに、“不純物”として含まれる電子・陽電子を分離できるよう、高磁場中に短時間高電圧を掛ける方式を確立した。同時に、この大強度偏極ミュオンビームを用いた物性研究、生体分子研究を可能にするため、マルチアノード光電子増倍管を用いた高分割 μ SR 検出システムの開発も行っている。

第2の研究テーマとして高温に熱したタングステン標的からの低エネルギーミュオニウム脱離過程を研究している。特に、ミュオニウムのエネルギー分布を TOF 測定により決定し、これまで考えられてきたような Maxwell 分布では必ずしも無く、エネルギーの高い成分の含まれていることを明らかにした。

さらに、金属表面からのミュオニウムの脱離効率を上げるため、金属を多孔質化した場合についてミュオニウム発生実験を行っている。大変興味深いことに、多孔質タングステンでは平面タングステンと比べて 3~5 倍の効率でミュオニウムを発生させることができ、エネルギー分布についても平面状タングステンの様な高エネルギー成分の含まれていない Maxwell 分布になっていることを示した。本論文申請者は、この現象を多孔質タングステンの空隙に出てきたミュオニウムが、空隙内壁との多重散乱で熱化されたものと解釈している。本研究は、熱ミュオニウムを用いた Lamb シフト精密測定や低温水素プラズマとの相互作用による低速ミュオンの効率的生成につながる、興味深い成果であるといえる。

本論文は各テーマとも主に高エネルギー加速器研究機構ミュオン科学研究施設のメンバーとの共同研究であるが、いずれも論文提出者が主体となって装置の基本設計から、立ち上げ、実験、分析を進めたもので、論文提出者の寄与が十分であると判断される。

従って、博士（理学）の学位を授与できると認める。