

# 論文審査の結果の要旨

氏名 轟 孔一

本論文は6章からなる。第1章では、研究の動機として、宇宙ガンマ線背景放射の観測データと反陽子の消滅断面積を用いて、宇宙の反物質—物質比の上限値を決める研究が行われてきたことがまず紹介されている。反陽子の運動量が小さければ小さいほどその消滅断面積が大きくなることが知られていることから、低運動領域での消滅断面積の直接測定的重要性を指摘し、過去最も低い運動量の反陽子の消滅断面積を測定することの重要性が指摘されている。次に、高い運動量領域での測定がこれまでどのように行われたか、その実験手法を中心にレビューしている。次に、本論文で測定対象としている 16 MeV/c の反陽子は、物質中での飛程が  $3 \mu\text{m}$  と短いので、過去の測定方法がそのまま実行出来ないことが示され、新たな測定手法が提案された。この新しい測定手法では、反陽子の消滅信号の時間情報だけを用いて、反陽子の標的中での消滅信号と様々なバックグラウンドを区別する。入射反陽子のうち、0.001 %の反陽子が標的膜中で消滅し、残りは標的膜を通過して 120–200 ns 後に標的チェンバーの壁で消滅する。これらの消滅によって生成される荷電パイ中間子をシンチレーションカウンタで検出する。

第2章では、実験装置が説明されている。実験は CERN の反陽子減速器 (Antiproton Decelerator、AD) で得られる 16 MeV/c の反陽子ビームを用いて行われた。標的は厚さ 100 nm 程度の炭素、パラジウム、白金の3種類を用いた。新しい手法を実行可能にするための重要な点は、時間幅 120 ns の反陽子パルスビームを直径 80 mm 以下のスポットサイズで標的膜にフォーカスすることである。これは、(1) 反陽子ビームが標的枠 (内径 80 mm) に当たることによるバックグラウンドを防ぐため、(2) 半径 600 mm (反陽子の TOF 120 ns) に比べて反陽子ビームのパルス幅を短くすることで反陽子の標的での消滅時間と標的チェンバーの壁での消滅時間を分けることを可能にするためである。これらを達成するために新たに開発された、ビーム検出器やビームチョッパー、静電四重極トリプレットの詳細が説明されている。検出器系は、116 チャンネルからなるシンチレーションカウンタとチェレンコフ検出器からなる。標的を通過した 99.999 % 反陽子がビームラインの最下流で消滅することによって生成される荷電パイ中間子をチェレンコフ検出器で観測することによって相対的な反陽子ビーム強度を測定した。

第3章では、第2章で説明された実験装置を活用することによって、必要な実験条件が達成され、新手法が確立されたことが示されている。5年間継続して行われた測定がどのように改善されていったか、時系列で説明されている。反陽子ビームの空間的、時間的性質が実験条件を満たした結果、反陽子の標的中での消滅信号を明瞭なピークとし

て初めて観測することに成功した。

第4章では、データの解析手法の説明がされている。ピーク検出アルゴリズムを用いて、シンチレーションカウンタのアナログ波形のピークを見つけた。反陽子が標的に入射している時間のヒットの数を数えることによって反陽子の標的での消滅数を見積もった。標的中で一定角度にラザフォード散乱した反陽子の数から入射反陽子数を求め、チェレンコフ検出器の校正を行った。さらに標的の厚さはラザフォード後方散乱分光法によって測定された。

第5章では、実験結果に関する考察が展開されている。まず、第4章で求めた値を使って消滅断面積を決めようとしたが、炭素標的での反陽子消滅数がパラジウムと白金標的のそれよりも多いことが判明した。パラジウム標的や白金標的にも炭素標的と同じ厚さの炭素膜を土台として用いているので、本来、パラジウムや白金標的での消滅数の方が多いはずである。この炭素標的の異常な消滅数の要因となりうる事項について考察し、標的膜の表面に付着した大きさ  $10\ \mu\text{m}$  程度のミクロスコピックな埃が要因である可能性が高いという結論に至った。このために消滅断面積の正確な値を測定することができなかったが、反陽子の炭素、パラジウム、白金との消滅断面積の上限値を 30 barn、200 barn、500 barn とそれぞれ世界で初めて評価した。また、この埃の問題は、超低運動量領域での測定を世界で初めて実行したからこそ発見された背景事象効果である。これらの結果は、論文提出者によってもたらされた。

第6章は、論文全体の結論であり、本研究の動機・目的・実験手法・結果などについてのまとめが述べられている。

なお、本論文第2章・第3章は、早野龍五、堀正樹らとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験・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。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。