

氏名(本籍)	い が ら し あ き の り 五十嵐 明 則 (茨城県)			
学位の種類	博 士 (工 学)			
学位記番号	博 甲 第 1100 号			
学位授与年月日	平成 5 年 3 月 25 日			
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当			
審査研究科	工 学 研 究 科			
学位論文題目	ポジトロニウム生成衝突過程の理論的研究			
主査	筑波大学教授	理学博士	石 原	武
副査	筑波大学教授	理学博士	小 川	泰
副査	筑波大学教授	工学博士	井 上	雅 博
副査	筑波大学助教授	理学博士	戸 嶋	信 幸
副査	国際基督教大学教授	工学博士	渡 部	力

## 論 文 の 要 旨

電子の反粒子である陽電子は、ディラックの空孔仮説による存在の予言後アンダーソンによって1933年に既に発見されているが、十分な強度のビームを得るのが難しかったため、原子との衝突実験が可能になったのはごく最近のことである。組み替えチャンネルであるポジトロニウム生成を考慮すると散乱方程式が微積分方程式になってしまうため、理論的にも取り扱いがやっかいで、十分な研究がなされているとは言えない。理論と実験の間のみならず、独立した実験どうしの一致も不一致が大きく、より大きなビーム強度を必要とする高エネルギー領域においてこのことは特に顕著である。

本学位論文では、このうち、軽粒子による組み替え衝突として特に興味のあるポジトロニウム生成過程を大規模数値計算をまじえて理論的に取り扱っている。始状態にある束縛電子の平均速度と入射陽電子の速度との大小関係から、エネルギー領域を高・中・低の三つに分け、それぞれに適切な理論手法を用いて詳細な解析を行った。高エネルギーでは、トーマスによって指摘された二重散乱過程が重要な寄与をすることから、二次ボルン近似を用いて微分断面積を計算している。この際、トーマス過程には2種の経路が存在しそれらに対応する散乱振幅が干渉を起こす。偶のパリティをもつポジトロニウムが生成されると、この2つの散乱振幅は互いに打ち消し合うような干渉をするため、高い精度で計算することが要求される。しかし組み替え衝突で二次ボルンをきちんと計算することは難しいため、従来の計算はすべて近似計算であり、この干渉効果を正しく取り込めていない。本論文では近似を排し、すべての散乱振幅を数値計算により厳密に求めた。その結果、1s, 2s状

態の生成に対する微分断面積は、45度のトーマスの臨界角以外に2つの鋭い谷が発生することを見いだしている。この谷は、1次と2次を含めた総ての散乱振幅の干渉により引き起こされており、従来予言されていたトーマス過程の干渉とは別物であることが指摘された。一方、奇のパリティを有する2p状態の生成微分断面積にはこのような干渉効果が見られず、前方散乱を凌ぐトーマスピークが45度付近に見られる。

中間エネルギー領域では、TCDWと上記の二次ボルン近似を併用して実験値の解析を行った。ヘリウム原子との散乱では、Fromme達の実験が数百eVのエネルギーまで存在するが、理論との一致は極めて悪かった。これに対して、最近Deb達はTCDW法によると実験値をうまく再現出来ることを報告しているが、その計算には妥当性の疑わしい二次的な近似が含まれている。本研究では、TCDW法の散乱振幅の画期的な計算方法を考案し、厳密に断面積を算出することに成功した。その結果、Deb達の理論値が一致したのは彼らの導入した二次的な近似のせいであり、TCDW法を含め、実験値を説明出来る理論は現在のところ1つもないことが結論されている。また、二次ボルン近似では、水素原子に対する最新の実験結果を解析し、中間状態として連続状態の寄与が重要であること、この結果を考慮していない従来の緊密結合法の計算は信頼度が低いことが指摘された。

低エネルギー領域では、超球座標を用いた緊密結合法により断面積の計算を行った。超球座標を用いると結合項がすべてローカルポテンシャルの形に表せ、微積分方程式とならない利点がある反面、非断熱結合項がポテンシャル交差点近傍でデルタ関数的に増大し微分方程式が精度よく解けないという難点がある。これに対して著者は、最新の手法であるdiabatic-by-sector法を用いてこの問題を解決した。断熱基底を構成するにあたっては、超球動径の大きさによって超球球面調和関数と漸近的原子状態の混合系を用いて、断熱ハミルトニアンに対角化をおこなっている。また、超球座標系が漸近状態で正しいヤコビ座標系へ収束するのが極めて遅いことの困難は、正しい漸近形にユニタリー変換を行うことで解決している。ポジトロニウム生成過程に対して、超球座標結合方程式が解かれたのは本論文が世界で最初である。その結果、漸近的に始終状態に移行する二状態のみによっても、最も信頼できるとされている変分法による計算値と同程度の精度で断面積を得ることが可能であることが分かり、組み替え衝突に極めて有効な方法であることが実証された。

## 審 査 の 要 旨

本学位論文には、ポジトロニウム生成衝突過程に対して、画期的な理論手法が開発、適用されており、新たな物理現象が見いだされている。高エネルギー領域で行った2次ボルンの厳密計算は世界で最初のものであり、基底状態のみならず励起状態にも適用したことは特筆に値する。今後この計算に匹敵する研究は当分現れないであろう。トーマス過程によらない2つの谷が微分断面積に現れることは今まで誰も予想出来なかった物理現象であり、世の実験家に強いインパクトを与えるものである。中間エネルギーにおいては、新手法によりTCDW法の散乱振幅の厳密計算に成功し、理論間の不一致の謎を解消した。Fromme達の実験の信頼度にはたいし、再度問題提起を行ったことに

なる。低エネルギー領域においても、超球座標系に付随する種々の困難を解決した業績は大きい。組み替え衝突に対して有効な手法と言われながら、今まで適用できなかった超球座標展開法を現実的な手法として定着させるのに大きな寄与をするであろう。以上のいずれの点をとっても第一級の業績であり、学位論文として高く評価出来る。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。