

立教大学学術推進特別重点資金 (立教 S F R)
 プロジェクト研究 (共同研究科プロジェクト研究)
 2006 年度研究【経過・**成果**】報告書

研究科名	立教大学大学院 理学 研究科 物理学専攻		
共同研究科名等	理化学研究所		
研究課題	電子ストレージリング中での電子原子核弾性散乱実験手法の確立		
研究代表者	所属・職名	氏名	
	理学部物理学科・助教授	栗田 和好 印	
研究組織	所属大学名等・職名	氏名	
	立教大学理学部物理学科・教授	家城 和夫	
	理化学研究所・フロンティア研究システム・重イオン加速器科学研究プログラム・原子核研究技術開発グループ・蓄積リング開発チーム・前任研究員	若杉 昌徳	
	理化学研究所・重イオン核物理研究室・副主任研究員	須田 利美	
研究期間	2005 年度 ~ 2006 年度		
研究経費	2005 年度	2006 年度	総計
	6,000 千円	5,760 千円	11,760 千円

研究の概要 (200~300 字で記入、図・グラフ等は使用しないこと。)

安定核と違い不安定核は中性子が外にはみ出した構造持つためその様子を精密に探ることができる電子散乱実験が切望されている。しかし、不安定核で固定標的を作る困難からこれまで実験が成功したことは無い。その困難を乗り越えて測定を可能にしようというのが我々の研究の目的である。具体的には電子ストレージリング中に不安定核の浮遊標的 (SCRIT) を作り周回してくる電子との弾性散乱で出てくる電子および反跳核を捉えることを目指している。本研究の開発の要はまず電子散乱実験に必要なトラップイオン密度を達成することである。また、反応から出てくる電子と原子核を捕らえる手法を確立することがもう一本の大きな柱となる。

キーワード (研究内容をよく表しているものを3項目以内で記入。)

{ 反跳核検出器 } { SCRIT } { 電子散乱 }

研究【経過・成果】の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)

電子蓄積リングの中では電子がリングの中を周回しており定常的に負のポテンシャル井戸を形成している。およそ 100eV 程度の深さの井戸には常温で存在するイオンガスを軸方向にトラップする性質がありビーム強度を上げるためには不都合な存在である。それはトラップされたビーム内の残留ガスイオンによってエネルギーのそろった電子が散乱され一部失われてしまうからである。

この原理を逆手にとって電子散乱で測定したいイオンを電子ビーム中にトラップし浮遊ターゲットを実現しようというのが我々が提案する S C R I T 法である。特に固定ターゲットを作って実験に使用するのに不向きな不安定核の電子散乱はこの分野でも特に切望されている測定であり時宜にかなっている。

S C R I T 法で電子散乱実験を実現するためには大きく分けて 3 つの装置が同時に動作する必要がある。ひとつは S C R I T そのものであり、二つ目は散乱された電子を捕らえる電子散乱検出器系。そして目的の原子核からの弾性散乱であったことを捕らえるための反跳核検出器である。このうち散乱電子検出器系はすでに過去に得た科研費により完成している。この S F R 予算は主として三番目の装置である反跳核検出器開発に使われた。また、もうひとつの難関であるトラップイオンの密度の測定は理化学研究所の経常予算をもとに開発を行い S C R I T 実証機が設置された京都大学宇治キャンパスにある化学研究所電子蓄積リング K S R においてテスト実験を重ねている。

これまでの実験でわかったことは S C R I T への入射イオン源から注入したイオンは電子ビームと S C R I T 電極で 3 次元的に閉じ込められて一定時間その場にとどまっていることを追いつ返しイオンの測定により確認した。この測定は入射側のイオン源より C s イオンを加速電極を通して入射し、電極で作る二つのポテンシャルの山の間に閉じ込める。イオンはその二つの山の間を行ったり来たりして漂っているがイオン源側の山を低くすると入射のときの道筋を逆行してイオン源の電極のひとつに衝突しその電流値として読み出すことが出来る。電子ビームが存在しないときには戻りイオンが確認できないこと、イオンを入射しないときは戻り電流が確認できないことと戻りイオンのタイミングが入射 C s イオンの速度と一致していることの三つの観測から電子ビームによるトラップイオンの証拠とした。しかし、トラップイオンをトラップ開始から追いつ返しタイミングを先にのばしていくとトラップの寿命のために指数関数的にイオン強度が減衰していくことを予想していたがその予想に反していつまでもイオンが生き延びていることがわかった。そのときの我々の解釈は入射イオンはトラップされるがそれとともに真空中の残留ガスがイオン化されてトラップされ C s イオンと混ざってあたかも C s イオンのトラップが長寿命なのであろうということであった。よって、実際にトラップされたイオンのうちどれだけが入射 C s イオンなのかを突き止めるために長い R & D を重ねてきている。

その後のイオントラップ実験は他の測定器との相関を見ることで C s の定量を行おうというものであった。その測定器のひとつが電子ビーム超前方に置いたカロリメータで制動輻射を捕らえるミノシティーモニターであり、もうひとつはトラップイオンが確実に C s であることを確かめるために C s 特性 X 線をとらえるゲルマニウム半導体検出器である。回りに満たされている X 線バックグラウンドを鉛で完璧に遮蔽するなどして二つの測定器で測定を行ったが C s による制動輻射の増加や特性 X 線に相当する付近に生じるバンプなど C s を示唆する信号ははっきり確認できたが結果的に入射のときと非入射のときの区別ができなかった。ここまでの 0 4 年度までの実験結果である。

0 6 年度までに二つの大きな開発項目を設定して以下に述べる大きな成果を得ることに成功した。ひとつはこれまで我々の中で手付かずになっていた反跳核検出器の開発で特に S F R のサポートを得たことにより飛躍的に理解が進んだ部分である。もうひとつは S C R I T でトラップしたイオンをイオン源の反対側のポテンシャルの山を下げることで取り出し新たに導入した磁気分析器で直接イオンの種類と数を定量することに成功したことである。

まず反跳核検出器開発に向けた R & D にいて述べる。運動学から電子弾性散乱からの反跳核の多くは 50keV の低エネルギーイオンである。過去の実験の経験より S i 半導体検出器には入射窓に不感領域が存在し通常 50keV 程度の重いイオンはそこで多くのエネルギーを失ってしまい安定な測定をすることは難しいと予想された。一方、M C P は超高真空に向けた検出器であり電子蓄積リングからの要求であるベーク可能性などさまざまな面で最有力候補と考えられた。しかし電子蓄積リングのなかにはシンクロトン放射や制動輻射で満たされておりそれらがビームパイプ内側表面などで反応してたたき出される電子など大量のバックグラウンドが予想される。プロトタイプデザインのする前にどのようなバックグラウンド状況なのかを測定することから開発を始めた。

とりあえず M C P に信号を与えるバックグラウンドについてなにも遮蔽することなくビームパイプに装着することにした。そのために超高真空用フランジの表面を加工して M C P をマウントするネジを固定し電極とフィードスルーをコンタクトピンでつなぎまた荷電粒子の大まかなエネルギースペクトルの測定を目指した追いつ返し電極を

研究【経過・成果】の概要 つづき

とりつけた。ビームを水平方向から直視する位置(ビームからおよそ50cm)と真空チェンバーを90度上方に曲げた壁の裏側でビームを直視しない位置の2箇所にてMCPにおいて計数率の比較を行った。その結果ビーム電流が60mAで直視する側でもMCPが動作するぎりぎりの1MHz程度であるが壁の影に置いたMCPであれば数10kHzに抑えられることがわかった。いずれにしても電子散乱実験実用に要求されるkHzの桁からはかけ離れているが、ビーム直視型のデザインでは目的の計数率を達するのがかなり困難であることがはっきりしてきた。その後壁の影にやってきてMCPに信号を与えるバックグラウンドの線種を突き止めるために有感領域に入射する部分にスリットを備えた遮光筒を挿入してまず光をささぎった測定を試みた。その状態でも荷電粒子はデフレクターに電圧をかけることによって荷電粒子をスリットを通してMCP領域に導くことが可能である。測定の結果遮光筒のおかげで計数率は数kHzにまで下がったが、デフレクターにどのような電圧をかけても計数率が有意な差が観測されなかった。このことからバックグラウンドの主たる原因は電子ビームにより作り続けられている光子であろうと予想される。

06年度の大きな変更点としては、SCRITチェンバーの大改造を行いこのバックグラウンド測定用装置を天板に取り付けた。意図はより実際に反跳核検出器が装着される位置でのより現実的バックグラウンドの測定とあわよくばチェンバーの下に設置してある散乱電子検出器系との同時計測で電子原子核弾性散乱の片鱗でも測定することができればという期待である。また、イオントランスポートプログラムによりe-Cs弾性散乱で反跳されるCsイオンのアクセプタンスを最適化し測定器の入り口にデフレクター電極及びアインツェルレンズを取り付けた。上記のバックグラウンド測定で光子が多く存在していることが分かっているので複数のスリットを置いて不必要に光子がMCP領域に侵入しない工夫をおこなった。また、ビーム直視を避けてMCPをチェンバーの壁の裏に配置した。反跳核の通り道には二次電子散乱用アルミ箔を45度に傾けておき、進入した放射線が箔をたたいて出した電子をMCPに導く電極も配置した。またMCPに加え、よりS/N比の高い検出器であるチャンネルトロンもMCPと同じ条件で測定ができるように設置した。この測定で分かったことはビームの垂直方向に来るバックグラウンド光子は1kHz程度まで軽減されて、反跳核測定には非常に好条件であることである。残念ながらまだSCRITによるイオンとラッピングの濃度が十分でなく散乱電子との同時測定は統計的に有意な結果を得ていないが、イオン濃度の改善により十分測定可能どころまで実現できている。

次にもうひとつの大きな目標であるSCRIT内のトラップイオン濃度の測定に向けたR&Dについて述べる。04年度に繰り返した実験でルミノシティーモニターおよび特性X線測定とCs入射/非入射の相関を見出すことが出来なかったので理研の予算的サポートを得て磁気分析器を設計製作しSCRIT上流に組み込んだ。この磁気分析機にはデフレクター電極が備わっておりSCRITが吐き出したイオンをビーム軸から上方に引き出すことが出来る。スリットを通して円形の磁場領域で曲げられたイオンは最終的にその円周に沿って並べた電極で電流を読むデザインである。この分析器は3度のテスト実験を行う間に次々に改良が加えられ、光がスリットから入りにくい構造にして電極の代わりにチャンネルトロンで電氣的のノイズの悩まされない増幅法への変更などが行われた。その結果イオン入射しないときにたまっているイオンもCsであることがわかった。実際にSCRITチェンバー天板の大改造時に液体窒素で天板を冷やす仕組みを取り入れたが、冷却時のバックグラウンドCsは冷却していないときに比べ10倍程度軽減されることが示されている。07年1月のテスト実験では、アナライザーでCsイオン入射時/非入射時の差を再現性を持って測定することに成功しトラップされたイオンの濃度が 10^4 から 10^5 程度であることが示された。トラップイオンの濃度の測定に初めて成功したという意味で大きな進展であったといえる。今後、ビーム強度の増強などでトラッピング濃度をあげていく予定である。

なお、この共同研究では共同研究者に旅費を支払うなどの支援はあまり積極的に行わなかった。それは理化学研究所からも予算的サポートを受けているためSFRによる共同研究者の旅費決済などをすると我々グループとして使える予算が実質的に減ってしまうためである。一方、共同研究の形態としてお互いの長所を生かして議論を重ねて研究を進めていく体制はほぼ理想に近い形で進められてきたと自負している。それは外部の研究者からも高い評価を得ている。05年度から電子散乱施設を所有する東北大グループがプロジェクトに加わったがデータ収集および解析において助力を得、また経験者の立場から今年度の実験成果に有益なアドバイスを受けた。また、弾性散乱イベントを強制的に引き起こすワイヤードライブの製作、装着が行われ特に電磁カロリメータの弾性散乱イベントの校正に大きな成果があった。

※ この(様式2)に記入の、経過・成果の公表を見合わせる必要がある場合は、その理由及び差し控え期間等を記入した調書(A4縦型横書き1枚・自由様式)を添付すること。

研究発表 (研究によって得られた研究経過・成果を発表した①~④について、該当するものを記入してください。該当するものが多い場合は主要なものを抜粋してください。)

- ①雑誌論文 (著者名、論文標題、雑誌名、巻号、発行年、ページ)
- ②図書 (著者名、出版社、書名、発行年、総ページ数)
- ③シンポジウム・公開講演会等の開催 (会名、開催日、開催場所)
- ④その他 (学会発表、研究報告書の印刷等)

○ T. Suda

Structure studies of Unstable Nuclei by Electron Scattering Physics with Ultra-Slow Antiproton Beams, AIP Conference Proceedings, Vol 793, 2005, p264-277

○ T. Suda, M. Wakasugi

Structure studies of unstable nuclei by electron scattering
Progress in Particle and Nuclear Physics, 55(2005) 417-436.

④その他

○ K. Kurita and H. Huang

Fiddling carbon string with polarized proton beam
(Faraday Cup Award 受賞)
AIP Conf. Proc. 868:3-21, 2006

○ K. Kurita et. al.

A novel radioactive isotope ion target SCRIT
AIP Conf. Proc. 868:384-393, 2006

○ T. Suda et. al.

Structure studies of unstable nuclei by electron scattering
Workshop on physics with Ultra Slow Antiproton Beams
March 14-16, 2005

○ T. Suda et. al.

Structure studies of unstable nuclei by electron scattering
Erice School on Nuclear Physics 2004
September 16. - 24. 2004

○ 須田 他

反応断面積ワークショップ 平成18年1月13日
電子散乱による短寿命不安定核の内部構造研究

○ 若杉 他

SCRIT法による不安定核・電子散乱実験
第2回「停止・低速不安定核ビームを用いた核分光研究」研究会 平成18年3月7、8日

○ Wakasugi et. al.

structure studies of short-lived nuclei by electron scattering
Int. Workshop on Nuclear Physics with RIBF 平成18年3月13-17日

○ 増田 他

SCRIT 実験のための反跳核検出器開発
第61回日本物理学会総会 (愛媛大学) 06/3/27-3/30