

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)
 2005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	
	理化学研究所・重イオン核物理研究室・副主任研究員 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・先任研究員	須田 利美 若杉 昌徳	
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	6,000 千円	12,000 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。)

{ 電子散乱 } { 反跳核検出器 } { SCRIT }

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化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で閉じ込める。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。ここまでが 0 4 年度までの実験結果である。

0 5 年度は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してしまおうというものである。

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 5 0 keV 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 50 keV 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はシンクロトロ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。プロトタイプのデザインを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度曲げた壁の裏側でビームを直視しない位置の2箇所に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え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。

ところでMCPを反跳核イオン測定に用いる場合には測定法に二通りある。ひとつはMCPの表面でイオンを直接受けて測定する方法でここでは直接法と呼ぶ。もうひとつは金属面などにイオンを衝突させてそこから生じる二次電子をMCPで捕らえる方法でここでは間接法と呼ぶ。宇治での実証機実験と平行して立教大学のコッククロフト加速器を用いて二つの方法でどちらのほうが測定しやすいかの実験を行った。予想としては間接法のほうが複数の電子が出て高い波高が得られるかも知れないという期待があったが実際の測定では二つの測定から得られる波高分布には大きな差異は見られずほぼ同等の測定効率が示唆された。上記のビームを直視する位置では直接法を壁の影の位置では間接法を用いることによって反跳核の検出を実現したいという考えである。今後、光子に対しては極力感度が低い二次電子放出板などを探し出してプロトタイプの製作とSCRITの上面に組み込んで実際に電子散乱の同定可能性を探る実証実験をおこなう予定である。

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ため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。この分析機は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。つまりこれまでは通常超高真空中の典型的な残留ガスのOやOHがCsのバックグラウンドになっているのではと信じていたが、実はイオン源から放出される中性のCs原子が拡散によってビームパイプの中に充満しているのではという予想が浮上してきた。中性のCs原子がビームパイプ中に漂っている場合、あるものは電子ビームの領域を横切ろうとするが電子にたまたまイオン化させられてしまったものは突然ビームが作る負のポテンシャル井戸を感じトラップされる。同じようにビームにトラップされる残留ガスに比べ重い原子核はOやOHイオンを追い出して選択的にトラップを受ける可能性がある。つまりある一定の時間が経過するとCsイオンが主としてトラップされている可能性がある。このように通常残留ガスを凌駕するほどのCsが真空中を漂っているというのはには信じ難いがそれが真実だとするとルミノシティーモニターや特性X線測定の観測事実とつじつまが合ってくる。このように入射イオンのバックグラウンドが実はCsそのものであったという事実が判明したことにより次なるテスト実験でのトラップイオン密度測定の見通しがはっきりしてきた。

O,OHイオンがバックグラウンドの場合はその区別は容易であろうと考えていたが漂流Csが入射イオンに対するバックグラウンドだとすると区別しうる唯一の方法はトラップされているときの運動エネルギーの違いしかない。今回はその違いを利用して入射イオンだけを測定する計画である。

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。

※ 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。