

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2009

課題番号：18540401

研究課題名（和文） 物質と反物質の反応

研究課題名（英文） Matter and Antimatter Reaction

研究代表者

崎本 一博 (SAKIMOTO KAZUHIRO)

独立法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・助教

研究社番号：60170627

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学、原子・分子・量子エレクトロニクス

キーワード：エキゾティック原子、反陽子、反水素、反物質、プロトニウム、反陽子水素、反陽子ヘリウム、ミュオン

1. 研究計画の概要

昨今、反水素原子の大量生成とその制御が可能になった。今まさに反物質科学の黎明期といえる。今後さらに発展が期待される反物質研究の新たな局面に対応できるように、本研究は物質と反物質の相互作用及びその反応諸現象を原子物理の立場から説明することをめざしている。

物質・反物質相互作用の基本的問題として水素と反水素($H + \bar{H}$)の反応を挙げることが出来る。本研究ではこの反応に対して第一原理から出発した量子力学的精密計算を行うことを最終目標としている。しかし、この精密計算を一足飛びに行うことはかなり難しい。そこで、計算機環境を整備しつつ、この目的に達するための手順として、部分系あるいは問題点を特定したより簡単な系の計算を段階的目標（例えば反陽子と原子の反応）として設置している。

2. 研究の進捗状況

反陽子とヘリウムイオンの衝突についていろいろと調べた。まず波束を伝搬させる方法で反陽子捕獲や電離過程の量子力学的計算を行うことに成功した。これまで反陽子との衝突相手としては中性の原子しか調べられていなかったが、相手がイオンになるとクーロン引力が働き、衝突の様子や動力学が大きく異なることがわかった。

また、クーロン引力のためにこの系には共鳴現象が顕著に起こり、反陽子捕獲に大きな影響を与える可能性があることがわかった。しかし、残念ながら波束伝搬法は共鳴を詳しく調べることに適していない。そこで、新たにR行列法を開発することを思いつき、共鳴現象の詳しい計算を行うことに成功した。この新たな方法により、広範囲のエネルギーにわたり非常に多くの共鳴構造が存在することが見出された。このような計算が可能なのは世界中で本研究だけである。

R行列法の開発により、興味ある研究対象が副産物としてもたらされた。電子とエキゾティック原子の系として、電子とミュオン水素原子、電子と反陽子ヘリウムイオンの衝突反応を考えてみよう。この反応系は電子と分子の衝突過程と多くの類似点を持つ。具体的には、電子と水素分子の解離性電子付着過程、あるいは電子とヘリウム水素イオンの解離性再結合過程などと非常に近い動力学的特徴を持つ。一方で、電子・分子衝突過程では、これまでボルンオッペンハイマー近似をベースにした限られた計算しか行われてこなかった。しかし、本研究のエキゾティックな系ではR行列法を用いて厳密計算が可能である。従って、このエキゾティックな反応の動力学を詳しく調べることにより、電子・分子衝突研究に新たな知見をもたらすことが期待できる。

3. 現在までの達成度

③ やや遅れている。

(理由) 2007年から2008年の間、病
気治療のため100%研究に専念できな
かった。

4. 今後の研究の推進方策

水素と反水素の反応を今年度中に行うこ
とは非常に難しくなった。しかし、新たに開
発したR行列法により、三体系であればエキ
ゾテックな動的反応過程を効率よくかつ
精密に計算できることが期待される。今まで
不可能と思われていた反応の計算もできる
かもしれない。そこで、R行列法による計算
技術をさらに確立し、できるだけ多くのエキ
ゾテックな反応過程に適用してみたい。

その中で、一つ興味ある課題は、反陽子と
水素原子衝突での陽子・反陽子消滅を原子過
程も含めて正確に計算することである。この
反応系の特徴は、核力が働く内部領域、クー
ロン力によりたくさんの状態が強く結合す
る中間領域、漸近的な電子散乱あるいは反陽
子散乱が関わる外部領域に分けることができ
る。それぞれの領域で全く異なった物理問
題を解く必要がある。これまでは中間領域の
計算が非常に大変であり、この研究は長いこ
と進展してこなかった。R行列法はこの中間
領域の計算に最適であり、また内部・外部領
域への波動関数の接続も自然に行うことが
できる。R行列法は物質中の反陽子消滅の問
題解明に大きな進展をもたらすのではない
かと期待している。

水素と反水素の反応の問題もまた新たに
挑戦してみたい。その際にもR行列法が大い
に役立つことが期待される。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に
は下線)

[雑誌論文] (計 6件)

① K. Sakimoto, R-matrix calculation of
negative muon capture by helium ions,
Phys. Rev. A 投稿中 2009年、査読有り

② K. Sakimoto, Dissociative recom-
bination of antiprotonic helium ions,
Phys. Rev. A 79 042508 2009年、査読有り

③ K. Sakimoto, Dissociative electron
attachment to muonic hydrogen, Phys. Rev. A
78 042509 2008年、査読有り

④ K. Sakimoto, R-matrix calculation of
antiproton capture by helium ions,
Phys. Rev. A 76 042513 2007年、査読有り

⑤ K. Sakimoto, Ionization of helium ions
by low-energy antiproton collisions,
Phys. Rev. A 74 042711 2006年、査読有り

⑥ K. Sakimoto, Low-energy capture of
antiprotons by helium ions, Phys. Rev. A 74
022709 2006年、査読有り

[学会発表] (計 6件)

① 崎本一博, ミューオン水素原子の解離性
電子付着、日本物理学会、2009年3月2
9日、立教大学

② 崎本一博, ミューオンと水素原子衝突に
おける共鳴現象、日本物理学会、2008年
9月22日、岩手大学

③ 崎本一博, 電子と反陽子水素原子の共鳴
散乱、日本物理学会、2008年3月23日、
近畿大学

④ 崎本一博, R行列計算による反陽子とヘリ
ウムイオン衝突における反陽子捕獲、日本物
理学会、2007年9月23日、北海道大学

⑤ 崎本一博, 電子と反陽子ヘリウムイオン
の衝突のR行列計算、日本物理学会、200
7年3月20日、首都大学

⑥ 崎本一博, 反陽子とヘリウムイオンの衝
突、日本物理学会、2006年9月23日、
千葉大学

[その他]

ホームページ

<http://atom0.isaslan1.isas.jaxa.jp/>