

論文の内容の要旨

論文題目 極低温異核フェッシュバッハ分子の研究

氏名 加藤 宏平

本論文は、極低温 ^{41}K - ^{87}Rb フェッシュバッハ分子に関する実験的研究をまとめたものである。フェッシュバッハ分子とは弱く束縛された分子の事で、外場によって原子の散乱状態とエネルギーを近づけた時に原子状態と結合して共鳴的散乱を引き起こす事が知られている。この現象の事をフェッシュバッハ共鳴と呼び、これを用いることで二体の相互作用を外場によって自由に調整することができる。

フェッシュバッハ共鳴近傍のような二体の相互作用が共鳴状態にあるところでは、エフィモフ状態と呼ばれる三体束縛状態が出現することが知られている。近年エフィモフ状態を記述する三体パラメータに原子種によらない普遍性があることが等核原子の実験において見いだされており注目を集めている。すなわち、三体パラメータは二体のファンデアワールス相互作用の強さを示すパラメータであるファンデアワールス長のみによって決定されるという事が見いだされてきた。しかし、異核原子の系においては実験の報告例はまだ少ない。従って本研究で対象とする ^{41}K - ^{87}Rb 混合系は異核原子の三体状態に関して新たな知見を与えることが期待できる。

本研究での成果として主に次の二つが挙げられる。一つは、 ^{41}K - ^{87}Rb 間の二つのフェッシュバッハ共鳴近傍における三体ロス係数の決定である。共鳴近傍での三体ロスはエフィモフ状態の性質によって決定される。また共鳴近傍での三体ロス係数は、フェッシュバッハ分子の生成効率を上げるという観点からも重要である。しかしこれは実験的には異核原子の系、特にボーズ粒子の混合系の場合困難である。なぜなら三体衝突のチャンネルが複数ある為に粒子数の時間発展はそれぞれの粒子の初期原子数に強く依存するからである。本研究ではこの問題を非破壊イメージングの導入により解決した。同一原子集団の時間発展を直接観測することにより、初期原子数にほとんど依存しない三体ロス係数の測定が可能となった。これにより共鳴近傍全体に渡って十分な精度で三体ロス係数が決定できた。また測定結果から共鳴間/同位体間において測定範囲内では三体

ロス係数が異なるということが分かった。

もう一つの成果は、原子・分子間 (^{87}Rb 原子と ^{41}K - ^{87}Rb 分子) の二体ロス係数における共鳴の観測である。原子と分子の混合状態とエフィモフ状態が交わるところで、二体ロス係数が増大することが知られており、そこでの散乱長 a^* は三体パラメータの内の一つである。よって共鳴を観測することで三体パラメータを決定できる。問題となるのは、フェッシュバッハ分子の生成効率と短い寿命である。本研究では、まず特殊な波長の光トラップを用いることで ^{41}K と ^{87}Rb の同時縮退気体を空間的に完全に重ね合わせ、さらに三次元光格子を用いることでフェッシュバッハ分子と原子との衝突を抑制した。これらの組み合わせにより、フェッシュバッハ分子を長寿命かつ高効率に生成することに成功した。得られた原子と分子の混合体から二体係数の散乱長依存性を測定した所、そこに共鳴を観測し、共鳴の位置から三体パラメータ a^* を決定した。決定された a^* の値をこれまでの報告例と比較した所、共鳴間/同位体間で異なっており、これは従来の理論では説明できない。すなわち三体パラメータはファンデアワールス長のみで決まっているのではなく、フェッシュバッハ共鳴の性質を取り入れた、より詳細な理論が必要な事を示している。