

## 多価イオンの衝突過程に現れるブライト相互作用効果

中村 信行 (電気通信大学レーザー新世代研究センター)

本稿では多価イオンと電子との衝突に関する筆者らの最近の研究を紹介する。ここで言う多価イオンとは、多くの電子が剥ぎ取られた高電離原子イオンを指す。そのようなイオンは高温プラズマ中に多く存在する。例えば、太陽コロナには鉄の多価イオンが飛び交っており、電子衝突により励起された鉄多価イオンが発するX線の分光は、古くからコロナの温度や密度を診断するための最も重要な手段の一つである。最新の太陽観測衛星である「ひので」にも、鉄多価イオンのスペクトルによる診断を目的とした高分解能分光器が搭載されている。<sup>1)</sup> また核融合実験炉プラズマでは、壁材から混入した重元素金属の多価イオンが、やはり電子衝突により励起されX線を発する。重元素多価イオンの発する高エネルギーX線はプラズマ温度を下げるため(放射冷却)、核融合実現の大きな障害となる。

このような高温プラズマ中の素過程を理解するため、多価イオンと電子の衝突過程は古くから調べられてきた。衝突において特に重要となり、良く調べられているのは、電離、励起、そして再結合である。電離は多価イオンの価数を変えるためプラズマ内の価数分布を決める過程であり、一方励起はX線放射を伴うため放射過程に寄与する過程である。再結合とは電子が捕獲されることにより多価イオンの価数を下げる過程であり、プラズマ内の価数分布を決めると同時に、X線放出も伴うため放射にも寄与する重要な過程である。特に2電子性再結合(Dielectronic Recombination; DR)と呼ばれる以下の過程は、共鳴的に大きな断面積を持つため特に重要となる。



プラズマ素過程としての重要性の他、純粋に原子物理あるいは原子衝突物理学的興味でも研究は盛んである。特に、重イオン蓄積リングや電子ビームイオントラップ(Electron Beam Ion Trap; EBIT)などの装置や実験技術の発展に伴い、ごく少数しか電子を持たないような重元素多価イオンの衝突過程に現れる相対論効果などが実験で調べられるようになってきた。

電気通信大学では、1995年に建設したTokyo-EBIT<sup>2)</sup>を用いて、重元素多価イオンの分光および衝突過程の研究を行っている。特に最近、DR過程に現れる顕著な相対論効果を調べている。DRでは上記反応式で表されるように、入射電子が多価イオンに捕獲されると同時に、多価イオンの内殻電子が励起される。重元素多価イオンの場合、この電子間相互作用にブライト相互作用と呼ばれる相対論効果が、軽元素の場合に比べて大きく現れるようになるが、我々はリチウム様イオンのDR過程を調べた結果、ある特定の中間状態を経るときに(つまり状態選択的に)、このブライト相互作用が共鳴強度を特異的に大きくすることを明らかにした。<sup>3)</sup> 更に、最終的に放出されるX線の角度分布にはブライト相互作用がクーロン相互作用を凌駕する支配的な寄与を示すことも明確にした。<sup>4)</sup> このような顕著なブライト相互作用がなぜ状態選択的に現れるのか、85年も以前にヘリウムの微細構造を精密に計算するためG. Breit<sup>5)</sup>によって導入されたブライト相互作用が、今また新しい疑問を投げかけている。

## —Keywords—

## 二電子性再結合：

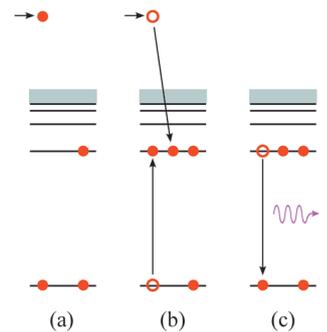
二重励起状態を中間状態とする共鳴的な再結合過程(下図参照)。自由電子がイオンの空軌道に捕獲されると同時に、その余剰エネルギーにより内殻電子を励起し、二重励起状態が形成される(下図(b))。二重励起状態が自動電離すれば初期状態(a)に戻り、共鳴弾性散乱となるが、重元素イオンの場合には蛍光収量が大きいので、放射により脱励起する(下図(c))。この一連の過程を二電子性再結合と呼ぶ。

## 電子ビームイオントラップ：

イオントラップとそれを貫く高密度電子ビームから成る多価イオン生成装置。電子衝撃による逐次電離で多価イオンを生成する。

## ブライト相互作用：

2電子間の相互作用における相対論的補正。磁氣的相互作用と遅延効果を含む。



二電子性再結合の模式図。  
(a) 初期状態、(b) 中間状態、  
(c) 終状態。