

Be 原子の内殻・外殻励起による Rydberg 系列の観測および解析

研究代表者：長谷川秀一（東京大学大学院工学系研究科）

実験組織：吉田芙美子、松岡雷士、高嶋隆太、大崎裕之、吉川聡、福嶋悠、長田哲夫¹、小原哲²、東善郎²

（東大院工、明星大¹、KEK 物構研²）

実験ステーション： BL - 16B、BL - 20A

1. 研究目的

Be 原子 ($1s^2 2s^2$) は 4 電子系の電子構造を持ち、He 原子に次いで二番目に単純な閉殻構造を持っている。比較的単純な電子系であることから、光イオン化断面積に関する理論計算が詳細になされている。本研究では、理論面と比較して詳細な実験データの不足している事実を解決するため、Be 原子の光イオン化断面積を測定し、Be 原子の電子励起とそれに続く緩和過程を、実験的な方面から明らかにすることを目的とする。具体的には、内殻の 1s 電子励起による Rydberg 系列の詳細な観測と、外殻 2s 電子の 2 電子励起状態を経由した自動イオン化 Rydberg 系列を観測する。これにより、電子相関に関連した高分解能な実験データを提供する。

2. 実験方法

内殻電子の関与する実験は、アンジュレータの装備された BL - 16B で、外殻電子励起の実験は BL - 20A にて実験を行った。電子衝突加熱装置により、Be 金属を 1200 程度に加熱し、原子蒸気を発生させて放射光と相互作用させる。光電離の結果生成した Be イオンをパルス電場で引き出し、飛行時間型質量分析装置へ導き、Be イオンの一価、二価を区別した。MCP によりイオンの検出を行っている。

3. 研究成果

1) 内殻励起による系列観測

Be 原子では、110eV 付近より上のエネルギー領域で、内殻電子 1s からの励起が可能となる。1s 電子が励起された状態を経由する光イオン化断面積を高分解能に測定するため、いくつかの自動イオン化 Rydberg 系列に着目し、エネルギー領域を絞り込んだ上で観測を行った。その結果、126 ~ 140eV の内殻励起の領域にわたって、 $1s(2s2p^3P)$ 、 $1s(2s2p^1P)$ 、 $1s(2s3s^3S)$ 、 $1s(2s3s^1S)$ の四つのイオン化限界に収斂する一連の Rydberg 系列を詳細に測定することができた。この高分解能測定から、これまで実験装置や実験方法の制約により観測されなかった遷移が数多く観測された。スペクトルのデータ解析の結果、遷移ピークの自動イオン化パラメータ q 値、半値全幅、共鳴エネルギーの値が得られ、各系列のイオン化閾値、量子欠損の値が決定された。これより、内殻電子の励起とそれに続く自動イオン化のプロセスに関し、詳細かつ広範囲にわたる実験的知見が得られた。

2) 外殻励起による系列観測

2s 電子が主に関与する領域、20eV 付近の低エネルギー領域において光イオン化断面積の測定を行った。この領域では理論計算から予測されているよりもはるかに小さいイオン化断面積を持つことが、本グループによる以前の実験から明らかにされている。そのため、観測領域を限定し、複数回光掃引して測定を行った。その結果、 $1s^2 3s$ のイオン化限界へ収斂する Rydberg 系列が高分解能に観測された。この領域では、いくつかの異なるイオン化限界が接近しており、他のイオン化限界へ収斂する遷移も同時に観測された。理論計算のイオン化スペクトルと比較した結果、他系列の遷移に関して、観測されたスペクトルの形状に大きな差異が見られた。このため、理論方面での発展、特に系列間の摂動の議論に関して、実験的方面から理論に大きく寄与できると考える。

4. 今後の課題

本グループでは次の目標として、電子相関についての系統的理解を深めるために、He、Li 元素に続く Be 原子の三重光イオン化断面積の測定を予定している。