

2P164

(e,2e)分光を用いた He の励起を伴うイオン化過程の研究

(東北大多元研*、分子研**) 渡辺昇***, Yugal Khajuria**, 高橋正彦***, 宇田川康夫*

[序] 電子衝撃による一電子のイオン化に伴い更にもう一つの電子が励起する、いわゆる励起を伴うイオン化過程は電子相関に敏感であり、その反応メカニズムも物理的に重要であることから、これまで多くの研究者の関心を集めてきた。特に高移行運動量領域における励起を伴うイオン化過程は標的中の電子運動の相関を直接的に反映することから、電子相関の強力なプローブとしての応用が期待される。本研究では、(e,2e)分光法を用い高移行運動量領域における He の $n=2$ 励起イオン終状態への遷移に対する微分散乱断面積を高精度で測定した。実験と同時に理論計算を行い、両者の比較などから電子相関の影響や反応メカニズムを研究したので報告する。

[実験] (e,2e)分光実験では高速電子衝撃イオン化で生成する非弾性散乱電子と電離電子のエネルギー E_1, E_2 と運動量 p_1, p_2 を同時検出法により測定する。これにより、既知の入射電子のエネルギー E_0 と運動量 p_0 を用いて、散乱前後のエネルギー保存則と運動量保存則からイオン化エネルギー E_{bind} と生成イオンの反跳運動量 q を同時に決定できる。

$$E_{\text{bind}} = E_0 - E_1 - E_2, \quad q = p_0 - p_1 - p_2$$

実験は我々が最近開発した画像観測電子運動量分光装置[1]を用いて行った。電子銃で生成した高速電子ビームを試料ガスと球型アナライザーの焦点で交差させ、標的の電子衝撃イオン化を起こす。これにより生成した電離電子と散乱電子のうち、 45° 方向に飛び出したものを球型アナライザーでエネルギー分析した後、二組の二次元検出器で計測する。一般に球型アナライザーは方位角 ϕ の情報を保持するので、電子の検出位置からその運動量とエネルギーを共に決定することができる。測定は入射電子エネルギー依存性を調べるため、 $E_0=1240, 2080, 4260\text{eV}$ において行った。

[理論計算] 平面波撃力近似 (PWIA) 及び歪曲波 Born 近似 (DWBA) に基づく理論的な (e,2e) 微分散乱断面積を計算した。この時、始状態の電子相関の影響を調べるため Hartree-Fock (HF) や配置間相互作用 (CI) 波動関数などの、様々な理論的波動関数を用いた。更に高次の散乱過程の影響を調べるため、二次の Born 近似に基づく計算も行った。

[結果と考察] 図1は $E_0=2080\text{eV}$ で測定した He のイオン化エネルギースペクトルである。イオン基底状態 $n=1$ への遷移に対応する強いピークの高エネルギー側に $n \geq 2$ イオン励起状態への遷移に対応する ionization-excitation 過程に起因したピークが現れている。なお、 $E_{\text{bind}} \geq 79\text{eV}$ の領域における連続的なバンドは二重イオン化によるものである。

図2は、 $E_0=2080\text{eV}$ で測定した $n=2$ イオン

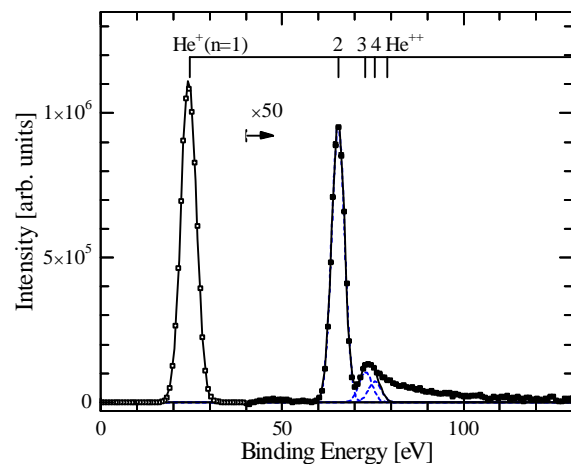


図1: 束縛エネルギースペクトル

終状態への遷移に対する微分散乱断面積の運動量 q 依存性（電子運動量分布）である。図には理論計算の一例として HF、HEC、CI 波動関数を用いた PWIA 計算の結果 (PWIA/HF, PWIA/HEC, PWIA/CI) も併せて示している。電子相関の効果を取り込んでいない PWIA/HF は実験的な電子運動量分布と大幅に異なる形状を示している。それに対し、radial correlation を取り込んだ PWIA/HEC は PWIA/HF に比べ電子運動量分布がブロードになり分布の形状が大幅に改善されている。さらに angular correlation まで取り込み相関エネルギーの 98% 以上を再現する PWIA/CI では、実験値の形状をほぼ再現するようになる。この結果は ionization-excitation 過程に対する電子運動量分布が基底状態の電子相関を敏感に反映していることを示している。

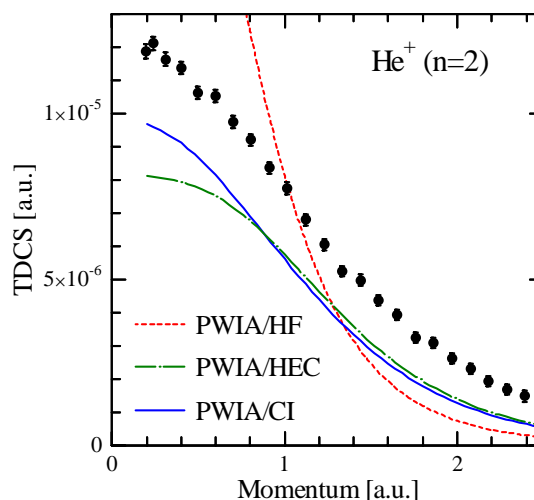


図2: $n=2$ イオン終状態への遷移に対する電子運動量分布 ($E_0=2080\text{eV}$)

しかし、強度に着目すると PWIA/CI 計算の結果は実験値よりかなり小さな値を与えており、約 30% も散乱断面積を小さく見積もっている。この強度の不一致の原因として、PWIA では取り込まれていない Two-Step プロセスなどの高次の散乱メカニズムの関与が考えられる。そこで、PWIA 近似の正当性を検証するため、電子運動量分布の E_0 依存性を調べてみた。PWIA 近似の範囲内において、散乱断面積中の構造因子は E_0 に依存しない。このため PWIA が成立していれば、kinematical factor の影響を補正した電子運動量分布は E_0 に関わらず同じ結果を与える筈である。しかしながら図3に示す結果から明らかなように、実験値は明確な E_0 依存性を示しており、PWIA 近似が破れていることがわかる。なお、実験値は E_0 が増加するに従い値が減少し PWIA/CI の結果に収束していっている様子が見て取れる。本測定の結果から、5keV 程度まで入射電子エネルギーを上げれば $n=2$ 状態への遷移に対しても PWIA が成り立つであろうことが分かった。

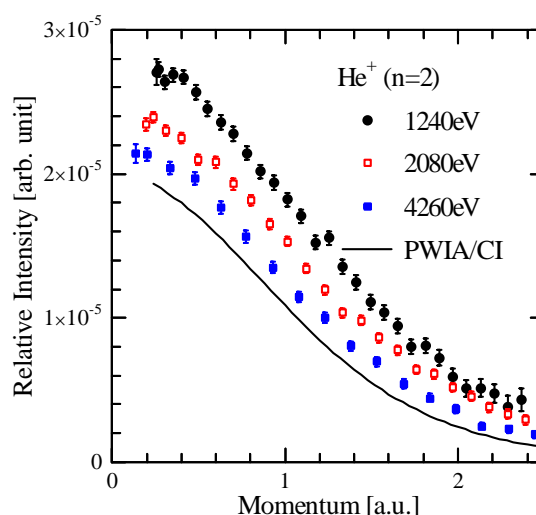


図3: kinematical factor を補正した電子運動量分布の E_0 依存性

当日は二次の Born 近似計算の結果についても報告し、高移行運動量領域での励起を伴うイオン化過程における Two-Step プロセスの影響についても詳細に議論する予定である。

[参考文献]

- [1] M. Takahashi *et al.*, J. Electron. Spectrosc. Relat. Phen. **141**, 83 (2004).