

しきい光電子源を用いた
超低エネルギー電子-CH₄, NH₃ 衝突全断面積の測定
The Measurements of the Total Cross Sections for
Ultra-Low Energy Electron Scattering from CH₄ and
NH₃ Employing the Threshold Photoelectron Source

江尻 智一¹、奥村 拓馬¹、伊藤 大智¹、穂坂 綱一¹、北島 昌史¹、
小田切 丈²、星野 正光²

1 東工大院理、2 上智大理工

本研究グループでは、放射光を用いて生成したしきい光電子を電子源とする電子衝突実験装置を開発し、熱フィラメントを電子源とする従来手法では実現困難だった超低エネルギー領域での電子衝突全断面積の測定を行ってきた[1-4]。数百 meV を下回る超低エネルギー領域には、分子の振動励起や回転励起のしきいエネルギーがあり、その近傍での電子衝突断面積の挙動は興味深い。本研究では、高い対称性をもつ多原子分子であるCH₄とNH₃の超低エネルギーでの電子衝突全断面積を測定した。

実験はPF-BL20Aで行った。光イオン化セル中のArにその第一イオン化ポテンシャルと等しいエネルギーの放射光($h\nu = 15.76$ eV)を照射し、放出されたしきい光電子を浸み出し電場により捕集する「しきい光電子源」を用いて超低エネルギー電子ビームを生成した。電子ビームを標的ガスで満たした衝突セルに導入し、透過電子ビーム強度を標的数密度の関数として測定し、透過減衰法を用いて電子衝突全断面積を得た。

本研究では衝突エネルギー5 meVから20 eVの広い範囲に渡りCH₄とNH₃の電子衝突全断面積の測定に成功した。CH₄では85 meV以下の全断面積を初めて測定し、衝突エネルギーが小さくなるほど全断面積が増大することを明らかにした。また、振動励起しきい値近傍で全断面積上に構造を見出し、修正有効距離理論[5]を用いた解析から振動励起断面積を得ることに成功した。NH₃では、衝突エネルギー3 eVを下回る領域では全断面積が増大し続け、衝突エネルギー下限での全断面積はCH₄の約100倍になることがわかった。また、衝突エネルギー20~30 meVで全断面積上に構造が現れた。室温での回転分布を考慮したBorn近似により $\Delta J = \pm 1$ の回転励起断面積を計算したところ、全断面積上に現れた構造は回転励起に由来するものと示唆された。

[1] M. Kurokawa *et al.*, *Phys. Rev. A* **84**, 062717 (2011)

[2] K. Shigemura *et al.*, *Phys. Rev. A* **89**, 022709 (2014)

[3] M. Kitajima *et al.*, *Eur. Phys. J. D* **71**, 139 (2017)

[4] T. Okumura *et al.*, *J. Phys. B* **52**, 035201 (2019)

[5] T. F. O'Malley *et al.*, *J. Math. Phys.* **2**, 491 (1961)

HD 分子 2 電子励起状態の崩壊過程

The decay dynamics of the doubly excited states of HD

穂坂綱一¹, 鳥塚祐太郎¹, Philipp Schmidt², Andre Knie²,
Arno Ehresmann², 小田切丈³, 北島昌史¹, 河内宣之¹
1 東工大, 2 カッセル大, 3 上智大

分子2電子励起状態は、イオン化連続状態と縮重した、共鳴状態である。その理論的取り扱い、依然として困難で、水素分子についてすら、その2電子励起状態のダイナミクスについては、不明な点が多い[1]。本研究では、水素分子2電子励起状態を経由する光解離過程(1)を取り上げる。

$$\text{H}_2 + \gamma_{\text{ex}} \rightarrow \text{H}_2^{**} [\text{Q}_2 \ ^1\Pi_u(1)] \rightarrow \text{H}(2p) + \text{H}(2p) \rightarrow \text{H}(1s) + \text{H}(1s) + \gamma_{\text{Ly}-\alpha} + \gamma_{\text{Ly}-\alpha} \quad (1)$$
ここで γ_{ex} は入射光子を、 $\gamma_{\text{Ly}-\alpha}$ は Lyman- α 光子を表す。これまで本研究グループにより、 H_2 と D_2 について、過程(1)の2p原子ペア生成断面積が入射光子エネルギーの関数として測定され、前駆2電子励起状態が $\text{Q}_2 \ ^1\Pi_u(1)$ 状態であることが分かっている[2,3]。本研究では、HDに対しても同様の測定を行い、その2p原子ペア生成断面積を同位体間で比較した。励起断面積の形状から、HDの前駆2電子励起状態は H_2 と D_2 同様、 $\text{Q}_2 \ ^1\Pi_u(1)$ 状態であること、また、その振動子強度が、 H_2 と D_2 の振動子強度から予想される値よりも大きいことを見出した[4]。

H_2 、 D_2 と違い HD は空間反転対称性を喪失している。空間反転対称性の喪失に伴い、ungerade 状態から gerade 状態への非断熱遷移が可能になる。 H_2 と D_2 の場合、 $\text{Q}_2 \ ^1\Pi_u(1)$ 状態にある分子が $\text{Q}_2 \ ^1\Pi_u(2)$ 状態へ非断熱遷移すると2s+2pペアへ解離する[3]。空間反転対称性を喪失したHDでは、2s+2pペアへ至る $\text{Q}_2 \ ^1\Pi_u(2)$ 状態から、2p+2pペアへ至る gerade 状態への非断熱遷移により、2p+2pペア生成振動子強度が増大した。

- [1] 小田切丈ら, 物理学会誌 **61**, 671 (2006).
 [2] T. Odagiri *et al.*, J. Phys. B **37**, 3909 (2004).
 [3] K. Hosaka, *et al.*, Phys. Rev. A **93**, 063423 (2016).
 [4] K. Hosaka, *et al.*, submitted.

**N₂ 分子内殻共鳴励起状態の
競争的崩壊における分岐比**
**Branching ratio of competing decay channels
of core excited resonance states of N₂**

小田切文^{1*}, 谷口卓郎¹, 金安達夫², 田中宏和³, 足立純一³,

Pascal LABLANQUIE⁴, 彦坂泰正⁵

¹上智大理工, ²SAGA-LS, ³KEK-IMSS-PF,

⁴Sorbonne Universite, ⁵富山大

内殻励起に伴い多電子の放出を伴う共鳴多重 Auger 過程は, 電子相関について理解を深める格好の研究の場を提供する. 特に分子の場合には, 核を含めた多体相互作用が影響するため, そのダイナミクスの理解は原子衝突物理学において重要な研究課題である. このダイナミクスの解明には最終的なイオン生成比だけでなく電子的緩和と分子解離の競争的崩壊についての定量的情報を得ることが重要である. 本研究では, 多電子同時計数において圧倒的に高効率な磁気ボトル型電子エネルギー分析器[1,2]を用い, N₂ 分子の内殻共鳴励起後に放出される全ての電子を検出し, それらのエネルギー相関を測定した.

電子のエネルギー分析は飛行時間測定により行うが, その際, PF リングのハイブリッドモード運転における孤立バンチをパルスセクター[3]により切り出し, 繰り返し 146 kHz の励起光として用いた. 励起光のエネルギーを π^* 励起(N1s $\rightarrow\pi^*(v=1)$)または Rydberg 励起(N1s $\rightarrow 3s\sigma, 3p\pi$)に合わせ, それぞれの共鳴励起後の多重 Auger 過程に伴う放出全電子の運動エネルギー相関を測定した.

電子の運動エネルギー相関から, 電子的な緩和が完結する前に分子解離する段階的2重, 3重オージェ過程が少なからず起こることを明らかにした. さらに, 装置の検出効率を加味した定量的解析を行い, 1電子放出, 2電子放出, 3電子放出の割合を求め, 他の研究により得られているイオン生成比と合わせ, 可能なすべての崩壊過程についての分岐比を得ることに成功した.

[1] Y.Hikosaka et.al., Phys. Rev. A 93 (2016) 063412

[2] T.Kaneyasu et.al., J. Chem. Phys. 147 (2017) 104304

[3]足立純一 他, 2015 年度量子ビームサイエンスフェスタ, ポスター255U