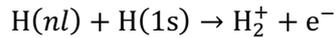


# 会合性イオン化によるミュオン水素分子生成断面積の計算

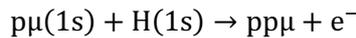
山下琢磨、根木新太、木野康志  
東北大学

水素原子同士の衝突によって水素分子イオンが生成する過程



のように、電氣的に中性の原子・分子の衝突によって結合の組替と電離が起こる過程を会合性イオン化 (associative ionization) と呼ぶ。水素原子同士の場合、双方が基底状態のときこの反応は吸熱反応であるが、一方が励起している場合は発熱反応であり、星間空間での水素分子イオンの生成過程としても重要である[1]。

本研究では、電子の 207 倍の質量を持つミュオン水素原子  $p\mu$  と通常の水素原子の散乱による会合性イオン化



を考える。ミュオン分子  $pp\mu$  の束縛エネルギーが基底状態で 253 eV、励起状態で 107 eV であるため、 $p\mu$  と H 原子の基底状態間の反応であっても発熱反応となる。この会合性イオン化によるミュオン分子形成は、 $pp\mu$  の他、重水素核 (d) や三重水素核 (t) を含む  $pd\mu$ ,  $pt\mu$ ,  $tt\mu$  の主な生成過程であり、応用面でも重要である。例えば、 $p\mu$  原子の精密分光による陽子半径の測定[2]や、ミュオンの陽子吸収過程の精密測定[3]といった基礎物理分野の実験では、 $pp\mu$  の生成量を定量的に評価する必要がある。 $d\mu$  原子の水素中での拡散を利用した微量物質の元素分析[4]では、 $pd\mu$  の生成は検出効率に影響を与える。重水素と三重水素の混合標的中で起こるミュオン触媒核融合 ( $\mu$ CF) [5]では、 $tt\mu$  の生成過程はミュオンの損失につながる。

これまでの理論研究では、ミュオン分子の生成速度を入射波と散乱波 (電子) の双方に近似を含む計算[6]により求めていた。本研究では  $pp\mu$ ,  $dd\mu$ ,  $tt\mu$  の会合性イオン化生成反応の断面積を四体系組替チャンネル計算により求めた。この方法はポジトロニウム-反水素原子散乱への適用実績[7, 8]があり、厳密性の高い散乱計算が可能である。また、 $dd\mu$  や  $dt\mu$  の弱束縛状態を生成する吸熱反応型の会合性イオン化断面積も計算できる。本発表では、従来の近似計算や  $pp\mu$  生成速度の測定値と本研究での計算値の差を含めて議論する。

[1] J. M. C. Rawlings et al., Mon. Not. R. Astron. Soc. 265, 968 (1993).

[2] R. Pohl et al., Nature 466, 213 (2010).

[3] V. A. Andreev et al., Phys. Rev. Lett. 110, 012504 (2013).

[4] A. Adamczak et al., Eur. Phys. J. A 59, 15 (2023).

[5] P. Froelich, Adv. Phys. 41 (1992) 405.

[6] M. P. Faifman, Muon Catal. Fusion 4, 341 (1989).

[7] T. Yamashita, Y. Kino, E. Hiyama, S. Jonsell and P. Froelich, New J. Phys. 23, 012001 (2021).

[8] T. Yamashita, Y. Kino, E. Hiyama, S. Jonsell and P. Froelich, Phys. Rev. A 105, 052812 (2022).