

D ビーム入射重水素プラズマにおける DT 反応率に対する核弾性散乱の影響

Influence of nuclear elastic scattering on DT reaction rate in a D-beam injected deuterium plasma

○松浦秀明¹, 木村建斗¹, 梅崎大介¹, 福田理仁¹, 直井基将¹, 小川国大^{2,3}, 磯部光孝^{2,3},
川本靖子², 大石鉄太郎^{2,3}, 長壁正樹^{2,3}, 西谷健夫⁴

○MATSUURA Hideaki¹, KIMURA Kento¹, UMEZAKI Daisuke¹, FUKUDA Takahito¹, NAOI Motomasa¹,
OGAWA Kunihiko^{2,3}, ISOBE Mitsutaka^{2,3}, KAWAMOTO Yasuko², OISHI Tetsutarou^{2,3},
OSAKABE Masaki^{2,3}, NISHITANI Takeo⁴

¹九大院工, ²核融合研, ³総研大, ⁴名大

¹Kyushu Univ., ²NIFS, ³SOKENDAI, ⁴Nagoya Univ.

【はじめに】

イオンのエネルギーが高まると、散乱過程に核力の影響が現れる(核弾性散乱) [1]. 核弾性散乱は大角度の散乱過程である. 微小角 Coulomb 散乱と比較してその断面積は小さいが、散乱当たり相対的に大きなエネルギーが輸送される. 核燃焼プラズマにおいて、核弾性散乱の影響は様々な局面に多様な形で現れ得ることが解析的に示されており [2], 現状、我々はこれらをひとまとめにして「核弾性散乱効果」と総称している. 核弾性散乱効果のひとつとして、高速イオンの減速を促進する現象が予想されている. 高速イオンは、主にバルク粒子による散乱を介してエネルギーを失うが、Coulomb 散乱に加えて核弾性散乱を新たに考慮に入れた場合、考慮しない場合と比べて減速が促進されるのは自明である. 核弾性散乱を介した離散的なエネルギー輸送による減速の促進により、高速イオン分布関数の形状が、核弾性散乱を考慮しない場合と比較して変化する可能性が指摘されている [2]. 注目する分布関数の粒子種が燃料イオンである場合は、高速イオンが引き起こす核融合反応率にも分布関数変化の影響が現れる可能性がある.

我々は LHD 重水素プラズマにおいて、核弾性散乱が (1) 高速イオンの減速挙動 [3], 及び (2) DD 核融合反応率 [4] に及ぼす影響を観測し、得られたデータに基づいて Boltzmann-Fokker-Planck (BFP) モデルの改良を進めてきた [5]. 今回は、BFP モデルに、新たにトリトン (a) fusion-born T-bulk D, (b) fusion-born T-beam D, (c) fusion-born T-fusion-born T 核弾性散乱) を考慮に入れ、DD 反応で発生したトリトンの速度分布関数に対する核弾性散乱の影響を調べた. 分布関数の変化により DT 反応率に影響が現れる可能性がある. 今回は ITER 級重水素プラズマを想定して解析を行ったので報告する.

【解析結果】

温度 20 keV, 電子密度 $6 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$, 体積 800 m^3 の重水素プラズマに 1 MeV の重水素 beam (33 MW) を入射した場合を想定する. Fig. 1 に、重水素 beam 入射開始時刻を $t=0$ とし、DD 反応で生成されたトリトン速度分布関数の時間発展 (a) 核弾性散乱を考慮しない場合, (b) 核弾性散乱を考慮した場合) を示す. 図中のオレンジ線 (右軸) は DT 反応断面積である. バルク重陽子との核弾性散乱によりトリトンの減速が促進され、又、高速重陽子との核弾性散乱により 1 MeV を超えるエネルギー領域にノックオンテイルが形成されている. Fig. 2 に、分布関数 (核弾性散乱を考慮した場合 f_T^{NES} , 無視した場合 $f_T^{\text{w/o NES}}$) の変化量 $(f_T^{\text{NES}} - f_T^{\text{w/o NES}}) / f_T^{\text{w/o NES}} \times 100 [\%]$ を実験室系におけるトリトンエネルギーの関数として示す. 核弾性散乱の考慮により、高速トリトンの減速が促進され、DT 反応断面積が大きなエネルギー領域の存在割合が相対的に増大している. 図の条件では、核弾性散乱を無視した場合と比べて DT 反応率は約 1 割の増加と見積もられる. 発表では、その詳細とプラズマ条件の影響について議論する.

[1] J. J. Devaney and M. L. Stein, Nucl. Sci. Eng. **46** (1971) 323. [2] 松浦, 他, プラズマ・核融合学会誌 **91** (2015) 449. [3] H. Matsuura, et al., Nucl. Fusion **60** (2020) 066077. [4] H. Matsuura, et al., Nucl. Fusion **61** (2021) 094001. [5] H. Matsuura, et al. Physics of Plasmas **29** (2022) 092502.

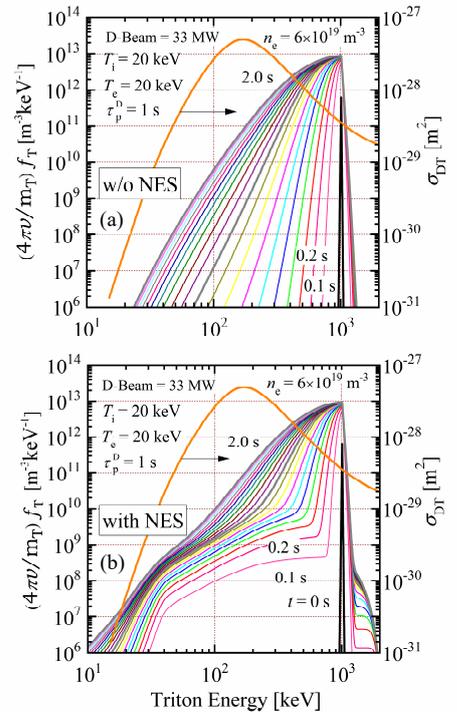


Fig. 1: Time evolution of triton distribution functions when (a) neglecting and (b) considering NES, along with the DT cross section.

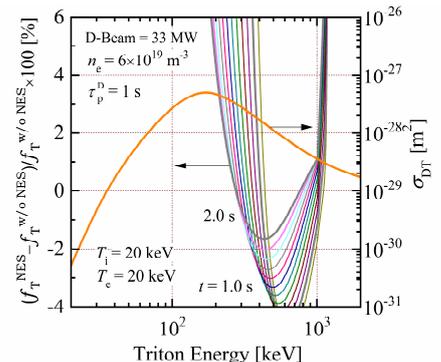


Fig. 2: Difference in triton distribution functions between neglecting and considering NES, along with the DT cross section.