4Bp01 LHD重水素プラズマにおけるγ線生成核反応を用いた ノックオンテイル観測実験の検討

Preliminary study on knock-on tail observation experiment using γ-ray-generating nuclear reactions in the LHD deuterium plasma

○松浦秀明¹、杉山翔太¹、木村建斗¹、浦川知己¹、西谷健夫²、小川国大^{2,3}、 川本靖子²、田村直樹^{2,3}、磯部光孝^{2,3}、長壁正樹^{2,3}

OMATSUURA Hideaki¹, SUGIYAMA Shota¹, KIMURA Kento¹, URAKAWA Tomoki¹, NISHITANI Takeo², OGAWA Kunihiro^{2,3}, KAWAMOTO Yasuko¹, TAMURA Naoki^{2,3}, ISOBE Mitsutaka^{2,3}, OSAKABE Masaki^{2,3}

> ¹九大院工、²核融合所、³総研大 ¹Kyushu Univ., ²NIFS, ³SOKENDAI

【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。微分散乱断面積の実測値から Coulomb 力の寄与を除き、残りを立体角にわたって積分したものは、核弾性散乱断面積と定義される[1]。核弾性散乱 現象に関しては、理論・実験的に十分に理解が為されているが、核燃焼プラズマへの影響については不十分 である。核弾性散乱は、条件によっては、炉心プラズマの成立性に影響を及ぼす[2]。成立性に影響がない場 合でも、通常の実験・運転で、中性子放出スペクトルや反応率の変化等を介して、その影響が測定値に現れ

得る[2]。このような現象を念頭において、核燃焼を伴う核融合 炉の研究開発にあたる必要がある。著者等は、NIFS 第 19 サイ クル LHD 実験(H29 年度)において、DD 中性子の減衰過程を観 測し、高速陽子の核弾性散乱による重陽子速度分布関数上のノ ックオンテイル形成を示唆する結果を得た。現在、⁶Li+d γ線生 成核反応[3]を用いることで、ノックオンテイル形成の確証を強 め、定量評価へ繋げる為の追実験[4]を計画している。本研究で は、TESPEL (Tracer-Encapsulated Solid Pellet)[5]入射した⁶Liの プラズマ中の挙動を考慮し、LHD 重水素プラズマにおけるγ線 生成核反応を用いたノックオンテイル観測シナリオを検討した。

【検討結果】

Fig.1 に、 $T_i = 1$ keV、 $T_e = 4$ keV、 $n_D = 10^{19}$ m⁻³の LHD 重水 素プラズマに, 180 keV 陽子 beam を 15 MW のパワーで入射 した場合の、磁気面 $\Psi_{\iota}^{norm} = 0$ 及び 0.04 における (a) 陽子速度 分布関数及び (b) 陽子の核弾性散乱によるバルク重陽子のノ ックオンソースを磁気軸に平行及び垂直速度の関数として示 す (v₀ は 60 keV 重陽子速度である)。陽子速度分布関数は、 VMEC, HFRAYA による LHD 磁場配位、beam 付与分布の評 価結果をベースに DELTA5D [6]を用いた軌道解析より評価す る。得られた陽子分布関数を用い、各磁気面内で Boltzmann 衝突積分を実行し、重陽子のノックオンソースを求める。これ を用いて 2D FP 方程式を解き重陽子速度分布関数上のノック オンテイルを求める。直径 600 ミクロンの炭酸リチウム (95% ⁶Li 濃縮) 球を核とする TESPEL を 400 km/s で入射した場合 の、6Liのプラズマ内挙動(空間・時間変化)をSTRAHLで評価 する。ノックオンテイル及び 6Li(Maxwell 分布) 密度から 6Li+d 反応率の空間・時間変化を求める。Fig.2 に ⁶Li(d,py)⁷Li 反応に よる 478 keV y 線発生率分布の時間発展を示す(%Liの拡散係数 が 0.3 m²/s の場合)。発生 γ 線に対して、MVP を用いた光子モ ンテカルロ輸送解析を実施し検出器に到達する光子数を推定



Fig.1: Proton velocity distribution functions and the deuteron knock-on sources.



Fig.2: Temporal behavior of radial profile of the γ -ray generation rate by ${}^{6}\text{Li}(d,p\gamma)^{7}\text{Li}$ reaction.

する。検出器にはLaBr₃ (Ce)を用いる予定である。計数値は、プラズマの条件によって大きく変わることが 予想される。発表では、最適な条件とノックンテイル形成を確認するプロセスについて議論する。

[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] V. T. Voronchev, et al., Mem. Fac. Eng. Kyushu Univ., 51 (1991) 63. [4] H. Matsuura, et al., J. Plasma Fusion Res., 2 (2007) S1078.
[5] 佐藤、他、プラズマ・核融合学会誌、91 (2015) 258. [6] D. A. Spong, Phys. Plasmas, 18 (2011) 056109.