

重水素プラズマを用いたノックオンテイル観測法に対するトリトン分布関数の歪みの影響

Effect of burnup triton distribution function on knock-on-tail observation scenario in deuterium

川本靖子、松浦秀明

Yasuko Kawamoto, Hideaki Matsuura

九大院工

Kyushu Univ.

1. 緒言

高エネルギー粒子の核弾性散乱によって速度分布関数上に形成されるノックオンテイルは核融合プラズマに様々な影響を及ぼす。これまでノックオンテイルの研究は多々進められているが、検証実験については十分に行われていない。そのため、重水素プラズマに陽子ビームを入射することで形成される重陽子速度分布関数のノックオンテイルを ${}^6\text{Li}(\text{d}, \text{p}\gamma){}^7\text{Li}$ 反応より発生する0.48 MeV γ 線及び $\text{D}(\text{d}, \text{n}){}^3\text{He}$ 反応より発生する中性子を用いて観測する検証実験が提案・計画されている⁽¹⁾。ノックオンテイル観測実験を行う際、計測する γ 線量はノックオンテイル形成の他にプラズマ条件にも依存する可能性があるため、プラズマ状態に依存し、ノックオンテイルに影響されない反応を用いて補正をする必要がある。Liを添加した重水素プラズマでは、 $\text{D}(\text{d}, \text{p})\text{T}$ 反応によって発生するトリトンが ${}^6\text{Li}(\text{t}, \text{p}\gamma){}^8\text{Li}$ 反応を起こし0.98 MeVの γ 線を発生する⁽²⁾。本研究ではノックオンテイル観測法における γ 線計測の補正法として ${}^6\text{Li}(\text{t}, \text{p}\gamma){}^8\text{Li}$ 反応の利用を提案する。 ${}^6\text{Li}(\text{t}, \text{p}\gamma){}^8\text{Li}$ 反応を引き起こすトリトンは、 $\text{D}(\text{d}, \text{p})\text{T}$ 反応によって1.01 MeVのエネルギーで発生しMaxwell分布から歪んだ速度分布関数を持つため、トリトンの減速分布を解析することが重要となる。本研究では、ノックオンテイル検証実験における ${}^6\text{Li}(\text{t}, \text{p}\gamma){}^8\text{Li}$ 反応の利用可能性を検討することを目的とする。

2. 計算結果

陽子ビーム入射によって重陽子分布関数上に形成されるノックオンテイルを二温度Maxwell分布関数によって模擬した(Fig. 1(a))。重陽子の密度比 $n_{\text{bulk}}/n_{\text{tail}}$ を $\alpha/(1-\alpha)$ と定義し、トリトンの速度分布関数(Fig. 1(b))はFokker-Planck方程式を用いて求めた。トリトンの速度分布関数をMaxwell分布と仮定すると、高エネルギー成分が存在しないため ${}^6\text{Li}(\text{t}, \text{p}\gamma){}^8\text{Li}$ 反応はほぼ起こらない。Table 1にそれぞれのプラズマ条件に対する ${}^6\text{Li}(\text{t}, \text{p}\gamma){}^8\text{Li}$ 、 $\text{D}(\text{d}, \text{n}){}^3\text{He}$ 、 ${}^6\text{Li}(\text{d}, \text{p}\gamma){}^7\text{Li}$ の反応率を示す。プラズマ温度が低い場合、トリトン数密度の増加割合が増す(重陽子のtail成分に起因した $\text{D}(\text{d}, \text{p})\text{T}$ 反応率の上昇割合が増えるため)。これによる ${}^6\text{Li}(\text{t}, \text{p}\gamma){}^8\text{Li}$ 反応の γ 線生成量増加の影響は、 $\text{D}(\text{d}, \text{p})\text{T}$ 反応率に比例する $\text{D}(\text{d}, \text{n}){}^3\text{He}$ 反応によって発生する中性子を計測することで除くことができる。 $T_{\text{bulk}}=2(4)$ keV、 $T_{\text{tail}}=90$ keV時では重陽子のノックオンテイル形成の影響は7(1)%程度であるが、 ${}^6\text{Li}(\text{d}, \text{p}\gamma){}^7\text{Li}$ 反応率の変化量(5(3)桁)と比較して十分小さく、ノックオンテイルの影響を受けないと言える。また、Table 1より ${}^6\text{Li}(\text{t}, \text{p}\gamma){}^8\text{Li}$ 反応率そのものは、温度変化の影響を反映することが分かる。従って、ノックオンテイル観測に際し ${}^6\text{Li}(\text{t}, \text{p}\gamma){}^8\text{Li}$ 反応の利用が有効であると考えられる。

[1] 松浦、他、プラズマ・核融合学会誌、**91**(2015)449.

[2] V T Voronchev and V I Kukulin, *J. Phys.G:Nucl. Part. Phys.* **26**(2000)123.

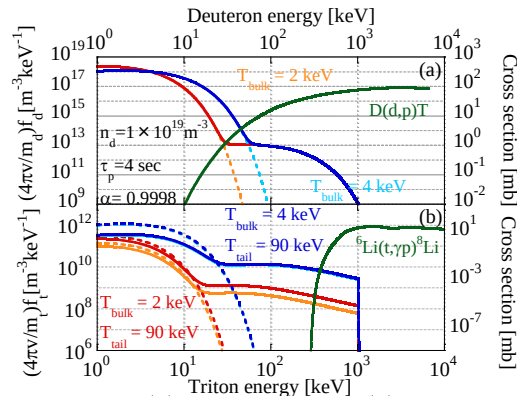


Fig. 1 (a)Deuteron and (b)Triton distribution functions

Table 1 Reaction rate of ${}^6\text{Li}(\text{t}, \text{p}\gamma){}^8\text{Li}$, $\text{D}(\text{d}, \text{n}){}^3\text{He}$ and ${}^6\text{Li}(\text{d}, \text{p}\gamma){}^7\text{Li}$

$T_{\text{bulk}}(T_{\text{tail}})$ [keV]	① ${}^6\text{Li}(\text{t}, \text{p}\gamma){}^8\text{Li}$ [m^3/sec]	② $\text{D}(\text{d}, \text{n}){}^3\text{He}$ [m^3/sec]	①/② [-]	${}^6\text{Li}(\text{d}, \text{p}\gamma){}^7\text{Li}$ [m^3/sec]
2(2)	1.56×10^4	1.38×10^{11}	1.13×10^{-7}	9.15×10^2
2(90)	3.55×10^4	3.39×10^{11}	1.05×10^{-7}	1.87×10^8
4(4)	6.87×10^5	2.18×10^{12}	3.15×10^{-7}	4.32×10^5
4(90)	7.45×10^5	2.39×10^{12}	3.12×10^{-7}	1.91×10^8

${}^6\text{Li}(\text{t}, \text{p}\gamma){}^8\text{Li}$ 反応率そのものは、温度変化の影響を反映することが分かる。従って、ノックオンテイル観測に際し ${}^6\text{Li}(\text{t}, \text{p}\gamma){}^8\text{Li}$ 反応の利用が有効であると考えられる。