

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007-2010

課題番号：19340051

研究課題名（和文） 凝縮系プラズマにおける低エネルギー核融合反応

研究課題名（英文） Low-energy nuclear fusion reactions in condensed matter plasmas

研究代表者

笠木 治郎太 (KASAGI JIROHTA)

東北大学・電子光物理学研究センター・名誉教授

研究者番号：10016181

研究代表者の専門分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：実験核物理、凝縮系核反応、低エネルギー核反応、プラズマ・核融合、液体金属、粒子線、遮蔽効果、超音波キャビテーション

1. 研究計画の概要

目的：低エネルギー領域においてD+D、Li+D反応等の核反応率が、凝縮系プラズマと見做せる金属内で異常に増大するメカニズムを解明し、利用応用の検討を可能にする。

内容：(1) 固体/液体金属中でのD、Liを標的にD+D、Li+D 反応の反応率測定、(2) 液体金属中での核反応率の温度依存性測定、(3) 液体金属超音波キャビテーション内での核反応率増大の追及、(4) 重水素透過Pd薄膜内でのD+D核反応の探索。

2. 研究の進捗状況

(1) 大強度重陽子ビーム照射装置を用いて、液体と固体 Li 標的を対象に、 ${}^6\text{Li}(d, \alpha){}^4\text{He}$ 及び ${}^7\text{Li}(p, \alpha){}^4\text{He}$ 反応実験を行い、入射エネルギー22.5~70 keV の反応収量の励起関数を測定した。現在、データ解析が進行中であるが、液体/固体状態の比較では、液体状態の方が遮蔽エネルギーが大きいことが判明し、その差は約100 eVと求まった。このことは、液体 Li 中では、伝導電子に加えて Li^+ が流動性正イオンとしてクーロン遮蔽に寄与することを定性的に示している。

(2) 液体標的 ${}^6\text{Li}(d, \alpha){}^4\text{He}$ 反応において、反応収量の励起関数を、標的温度 490K, 530K, 570K 及び600Kの4点で測定した。予備的な解析の結果から、各温度における遮蔽ポテンシャルの値が得られた。遮蔽ポテンシャルは、温度の増加に伴い540 eV から 440 eVへと単調に減少することが判った。この傾向は単純なデバイ模型が予想する温度依存性と定性的に一致する。

(3) 液体金属+超音波キャビテーションを標的とする核反応実験研究を可能とするため、専用の標的真空槽を製作・設置した。これまで液体金属標的として使用してきた液体 Li を用いて、超音波キャビテーションを得ることに成功した。低エネルギー重陽子ビームを照射し、 ${}^6\text{Li}(d, \alpha){}^4\text{He}$ 反応とD(d, p)T反応が調べられた。超音波キャビテーションの効果は、後者の反応において顕著であることが判明した。

(4) 常温でのD+D 核融合反応の可能性を探索するためのガス/真空槽中での $\Delta E-E$ 検出器系を組み上げ、各種Pd薄膜中に重水素ガスを透過させ、核反応からの荷電粒子計測を調べた。エネルギー20 MeVまでに及ぶ荷電粒子と思われるイベントが観測されたが、観測頻度があまりにも低く結論を得るまでには至っていない。現在も計測を続行している。

3. 現在までの達成度

以下の理由により、②おおむね順調に進展していると判断される。

(1) 固体/液体状態による核反応率の違いについて Li+D 反応を用いた実験が完了し、遮蔽ポテンシャルの値は液体中の方が固体中よりも大きなことが示された。現在、最終的な解析が進行している。(2) 液体金属でのLi+D 反応において、励起関数の温度依存性が測定され、遮蔽ポテンシャルの値は標的温度の上昇に伴い減少することが判明した。(1)の観測と合わせ、液体金属中での正電荷イオンの遮蔽効果に及ぼす影響の理解が飛躍的に進んだ。更に、(3) 液体金属中での超音波

キャビテーション生成に成功し、全く異なった環境下で核反応率を増大させる研究の道が切り開かれた。

4. 今後の研究の推進方策

(1) 液体金属中の遮蔽効果と核反応率増大メカニズムの理解を深めるため、現在までに取得されたデータの詳細な解析を進める。特に、イオンによる遮蔽効果の大きさを定量的に求め、デバイ遮蔽等との比較を行い、凝縮系での核反応増大の方法を探る。

(2) 本研究により開発された液体金属超音波キャビテーションを標的とする D+D 反応実験は、未知のことだらけである。液体 Li よりも長時間にわたり安定な、液体 In, Ga 等でのキャビテーションを利用し、表面状態、超音波入力強度、入射エネルギー、液体温度等を変化させた測定を行い、全く異なった環境下での D+D 核反応の系統的理解を図る。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

1. Y. Toriyabe, E. Yoshida and J. Kasagi, Temperature dependence of YAlO₃(Ce) scintillation response for alpha-ray excitation, Nucl. Instr. and Meth. A611 (2009) 69 – 75, 査読有.

2. J. Kasagi, H. Yonemura, Y. Toriyabe, A. Nakagawa, T. Sugawara and T. Wang, Ionic Debye screening in dense liquid plasmas observed for the Li+p,d reactions in liquid Li target, Nuclear Physics Review 26 Suppl. (2009) 44 – 48, 査読有.

3. T.S. Wang, Z. Yang, H. Yonemura, A. Nakagawa, H.Y. Lv, J.Y. Chen, S.J. Liu and J. Kasagi, The screening effect of D-D fusion in Sm in a sub-low energy region (< 20 keV), J. Phys. G34 (2007) 2255 – 2263, 査読有.

[学会発表] (計 10 件)

1. J. Kasagi, Low-energy nuclear reactions in low-temperature dense plasmas, Tours Symposium on Nuclear Physics and Astrophysics VII, Kobe, Japan, Nov. 16 – 20, 2009

2. J. Kasagi, Electronic and ionic screening for low energy nuclear reactions in condensed matter, International Conference on Heavy Ion Fusion Reaction FUSION08, Chicago II, USA, September 22 – 26, 2008 (invited talk)

3. J. Kasagi, Low energy Li+p,d reactions in liquid plasmas and the effect of liquefied Li+ ions on the screening potential, The 10th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies OMEG07, Sapporo, Japan,

December 4 – 7, 2007

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年月日 :

国内外の別 :

[その他]