



Title	Energetic Particle Generation and Nuclear Reactions in High Energy-Density Plasma Relevant to Laser Fusion
Author(s)	Ahmed, Youssef Ahmed Mohammed
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46848
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	アハメド ヨセフ アハメド モハメド Ahmed Youssef Ahmed Mohammed
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 20340 号
学位授与年月日	平成 18 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電子情報エネルギー工学専攻
学位論文名	Energetic Particle Generation and Nuclear Reactions in High Energy-Density Plasma Relevant to Laser Fusion (レーザー核融合における高エネルギー密度プラズマ中の高エネルギー粒子発生と原子核反応)
論文審査委員	(主査) 教授 児玉 了祐 (副査) 教授 田中 和夫 教授 西原 功修

論文内容の要旨

1 Neutron production mechanism

The objective of this thesis is to study particle generation and nuclear reactions in high-energy density plasma relevant to laser fusion. We studied detailed neutron energy spectra produced from a deuterated target (CD_2) irradiated by 450 fs, 20-J, 1053-nm laser of intensity $3 \times 10^{18} \text{ W/cm}^2$ are studied. Neutrons were observed from two different observation angles, 20° and 70° relative to the target normal. The experimental results are compared with three-dimensional (3-D) Monte Carlo simulation. The possible neutron production mechanisms and their relative importance are considered to identify the sources of the emitted neutrons. The ion acceleration process related to the neutron production mechanisms is discussed. Comparison between the measured and the calculated spectra revealed that the observed neutrons cannot be explained by considering D-D reaction only. A complete interpretation for the measured neutron spectra can be introduced when other neutron production mechanisms are taken into account. The findings pointed out that both deuterium and carbon ions are accelerated inside the target in the laser-produced plasma.

2 Ion Acceleration inside the target

We measured experimentally the maximum energy of ion acceleration inside the target when solid targets irradiated by 450 fs, 20-J, 1053-nm laser of intensity $3 \times 10^{18} \text{ W/cm}^2$. The used targets are designed to generate neutrons via the reaction $^7\text{Li}(\text{p}, \text{n})^7\text{Be}$. The produced neutrons can directly bring the information from inside to outside the target without any effect by the electric and/or magnetic fields inside or around the target. Since nuclear reactions occur between accelerated and target background ions, the electrostatic sheath acceleration on the rear side is excluded. Consequently, we can separate the different acceleration mechanisms paying particular attention to the front side one. Also, nuclear reaction can lead us to discover from where the accelerated ions originate. The experimental results are compared with three-dimensional Monte Carlo code and with Pukhov formula [Phys. Rev. Lett. 86, 3562 (2001)]. Finally, a simple picture "depends on a scenario of

"three steps" for the ion acceleration process is given.

論文審査の結果の要旨

本論文は、レーザー核融合に関連した高エネルギー密度プラズマ中での高エネルギー粒子発生と原子核反応に関する研究成果をまとめたものであり、以下の6章から構成されている。

第1章は、序論であり、本論文に関連する研究分野における研究の背景と現状についてまとめ、本研究の目的とその位置づけを明確にすることを目的としている。

第2章では、本実験的研究において、主要な計測装置である中性子検出器（中性子シンチレーターと光電子増倍管）の感度特性、時間特性が評価されている。また、データ取得システム（オシロスコープ）を含めた、時間応答特性が評価されている。これは、中性子スペクトルを飛行時間分析法で測定する際にエネルギー分解能を与える重要な特性である。

第3章では、超高強度レーザーとプラズマとの相互作用で発生する高エネルギー密度荷電粒子による核反応に関する実験結果が示されている。重水素化プラスチックターゲットに超高強度レーザーを照射し発生する重水素一重水素核反応中性子スペクトルから、重水素イオンが数100 keVに加速していることを明らかにしている。さらに3次元モンテカルロ粒子計算による中性子スペクトルと実験との比較により、加速重水素の運動量分布が評価されている。その結果、加速重水素のエネルギースペクトルは100 keVと300 keVの2温度分でもっとも自己矛盾無くスペクトルを説明できることを明らかにしている。これは、粒子シミュレーション（particle in cell simulation）による重水素スペクトルと良い一致を示している。さらに重水素化プラスチックターゲットから発生する中性子スペクトルの詳細が実験的に調べられている。重水素一重水素核融合反応中性子だけでなく、重水素一炭素核融合反応中性子が高い密度で起こっていることを明らかにしている。

第4章では超高強度レーザーと固体との相互作用により発生する高エネルギー密度 MeV プロトンの、固体ターゲット内への加速を実験的に調べている。加速プロトンが固体リチウムと核反応し、発生する中性子スペクトルを2方向から測定している。観測中性子スペクトルと3次元モンテカルロ粒子計算の結果を比較することで、ターゲット内での加速プロトンの方向、エネルギー（運動量分布）を評価している。多層のターゲットを利用して、レーザー照射表面と裏面におけるプロトンの加速方向が、中性子スペクトルの方向分布に現れる実験系を工夫している。結果、プロトンがターゲット内で1方向のみに加速されてはいないことが実験的に明らかにしている。プロトン加速が等方または1次元2方向分布をしていることを示唆しており、加速機構の可能性を議論している。

第5章では、ペタワットレーザーと固体プラズマとの相互作用で、発生する中性子のスペクトルについて述べられている。ペタワットレーザーと物質との相互作用においては、大電流の MeV 電子が発生し固体内を伝搬する。この大電流電子による高輝度ガンマ線と原子核との相互作用で、光核反応中性子が発生する可能性がある。実験では、レーザーのパワー、ターゲット材質の違いによる中性子スペクトルの変化を明らかにしている。レーザーのパワーをペタワット程度まで上げると光核反応中性子と思われる広いエネルギースペクトルが観測されている。しかも材質をアルミから金に変えることでスペクトルの形状だけでなく中性子数にも大きな変化が観測されている。この変化は、光核反応中性子を示唆するものである。超高強度レーザープラズマからの光核反応中性子スペクトルの詳細な計測は世界的にあまり観測されていない。スペクトルの詳細な解析は、本論文で行われていないが、様々な核反応の可能性について議論しており、今後の関連する研究に大きな重要な知見を与えるものである。

第6章は結論であり、本研究で得られた成果を総括している。

本論文で得られた成果は次の通りである。

- (1) 超高強度レーザープラズマにおける核反応中性子は、熱核融合反応よりビーム様核融合反応による中性子が支配的であり、ターゲット内のイオンの加速を知る手段となることを明らかにしている。
- (2) 重水素化プラスチックターゲット内の重水素イオン、炭素イオンの加速を、重水素一重水素核融合反応中性子スペクトル、重水素一炭素核融合反応中性子スペクトルの詳細をしらべることにより明らかにしている。観測

した中性子スペクトルと3次元モンテカルロ粒子計算による中性子スペクトルの比較により加速重水素のエネルギースペクトル、運動量分布を明らかにしている。

- (3) フッ化リチウムとプラスチックからなる多層ターゲットを工夫することで、超高強度レーザーによるターゲット内の高エネルギープロトン発生場所について調べている。実験により得られたプロトン-リチウム核融合反応中性子スペクトルと3次元モンテカルロ粒子計算による中性子スペクトルの比較により、プロトンがターゲット内で1方向のみに加速されてはいないことを明らかにしている。
- (4) ペタワット超高強度レーザーと重水素化プラスチック、アルミニウム、金のターゲットとの相互作用の実験から、レーザー生成パルス高輝度 γ 線による様々な光核反応を示唆する中性子スペクトルを明らかにしている。

以上のように、超高強度レーザーによる高エネルギー密度プラズマから発生する中性子スペクトルの詳細を調べることで、高密度プラズマ中の高エネルギーイオン加速機構を調べることを可能としている。さらに超高強度レーザー-高エネルギー密度プラズマにおける様々な種類の高密度核反応中性子の詳細を調べている本研究は、従来にない新しい中性子スペクトロスコピーを確立する魁となるものである。本論文はプラズマ理工学、核融合工学、中性子工学の発展に寄与するところが極めて大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。