

博士論文公聴会の公示（物理学専攻）

学位申請者：坂田 匠平

論文題目：Efficient Creation of Ultra-High-Density-States by Magnetized Fast Isochoric Laser Heating Scheme

（外部磁場導入レーザー高速加熱法による効率的な超高エネルギー密度状態の生成）

日時：2018年2月8日（木）16:20-17:50

場所：理学研究科H棟7階7階セミナー室（H701号室）

主査：藤岡慎介

副査：岸本忠史，千徳靖彦，中井光男，坂和洋一

論文要旨：

太陽内部の圧力 ($> 1 \text{ Gbar}$) に匹敵する高エネルギー密度状態を実験室で実現することが出来れば、高エネルギー密度天体内部の状態方程式やエネルギーの輸送過程等を実験室内で精査することが可能になる。更に、高エネルギー密度プラズマ中では熱核融合が起こるため、恒星内部での核反応の研究や、エネルギー源としての応用も期待されている。

高エネルギー密度状態を実現する方法の一つとして、レーザー高速加熱法がある。この方法では、レーザー爆縮で形成した直径数10マイクロン程度の微小な高密度プラズマを、高強度レーザーで加速した相対論的電子ビームで瞬間的に加熱することで、高エネルギー密度状態を実現する。プラズマの圧縮と加熱を分離することで、目的に応じ多様な温度・密度を有する高エネルギー密度状態の生成が可能である。しかしながら、高強度レーザーで発生する電子ビームの大きな発散角が、高密度プラズマへの効率的なエネルギー結合を妨げていた。

本研究の目的は、電子ビームの伝播方向に平行にキロテスラ級の磁場を印加することで、相対論的電子ビームの広がりを抑え、高密度プラズマに誘導し、効率的な高エネルギー密度状態の生成を実証することである。準備実験において、電子ビームの誘導に必要なキロテスラ級強磁場発生とその磁場の物質への拡散過程を調べた。プロトン屈曲法を用いて、レーザー駆動キャパシター・コイルで発生した磁場強度の絶対値を計測し、磁気プローブを用いて時間発展を明らかにした。また、電子ビームを誘導するパルス磁場の拡散時間を、誘導加熱による電気伝導率の変化を考慮したモデル計算した。これらの結果から、レーザー高速加熱実験における、磁場の印加開始時刻、プラズマの圧縮開始時刻、及び加熱レーザー入射時刻を決定した。

実証実験において、エネルギー付与領域を可視化し、磁力線に沿って電子ビームが誘導される様子を観測した。外部磁場を印加しない場合と比べ、2 - 3倍高いエネルギー結合効率で1Gbarのエネルギー密度を実現することに成功した。加熱レーザーの集光強度を変化させることで発生する圧力を制御できることを実験的に明らかにした。更に高いエネルギー密度を実現するには、加熱レーザーのパルス幅を伸ばしてエネルギーを増大し、集光強度を一定にする必要があることを示した。本手法は、核融合プラズマの効率的な生成への応用に加えて、白色矮星のような強磁場が存在する高エネルギー密度天体の研究にも展開出来ると期待される。