

高強度レーザープラズマ相互作用における自己組織化に伴う陽電子生成・加速機構

Positron Generation and Acceleration in a Self-organized Photon Collider Enabled by an Ultra-intense Laser Pulse

千徳靖彦¹, 杉本馨², 岩田夏弥³, A. Arefiev⁴

Author 1¹, Author 2², SENTOKU Yasuhiko¹, SUGIMOTO Kaoru², IWATA Natsumi³, AREFIEV Alex⁴

阪大レーザー¹, 阪大理², 阪大高等共創研究院³, カリフォルニア大学 San Diego 校⁴
 ILE, Osaka U¹, G.Science, Osaka U², IACS, Osaka U³, UCSD⁴

集光強度 10^{21} W/cm² を超えるフェムト秒の相対論的レーザー光は、世界の研究施設で利用できるようになった。このような超高強度レーザー光は、高エネルギーの X 線やガンマ線を輻射し、量子電気力学的現象を含む高強度場科学が開かれた。この領域での課題の一つとして、線形 Breit-Wheeler 過程による陽電子生成の検証がある。この過程は、シンプルに光子と光子の衝突による電子・陽電子ペアの生成であり、宇宙における物質生成の素過程の一つと考えられている。

2次元粒子コードに輻射輸送過程と電子・陽電子生成過程を組み込み、高強度レーザー光が臨界密度程度のプラズマ中を伝播するときに、自己収束過程に伴い線形 Breit-Wheeler 過程により陽電子ビームが生成される機構を明らかにした。この陽電子生成過程は、レーザーパルスがプラズマ中を自己収束することによって形成される強磁場を伴うチャンネル構造の中で現れる。チャンネル磁場はレーザー直接加速を補助し、電子が光の進行方向に効率的に加速され指向性を持ったガンマ線が輻射される。一方、パルス全面の光子圧によって励起された正の静電場は、プラズマ電子を後方へと加速する。その結果、加速されたプラズマ電子は直ちにレーザー光と衝突し、シンクロトロン輻射により光子がレーザー進行方向の後方へ放射される。その結果、前方へと放射された高エネルギーガンマ線との衝突が起こり、線形 Breit-Wheeler 過程による電子・陽電子ペア生成される。発生した陽電子は衝突した光子の運動量保存より前方へ運動量を持ち、ほぼ光速で移動しパルス先端に追いつく。そこで静電場により GeV エネルギーまで加速される。陽電子はおよそ 10^6 個 (0.1pC) であり、発散角 10 度以下の強い指向性を持つビームが形成される。

講演ではシミュレーションモデル、電子陽電子ペア生成機構の詳細を紹介する。

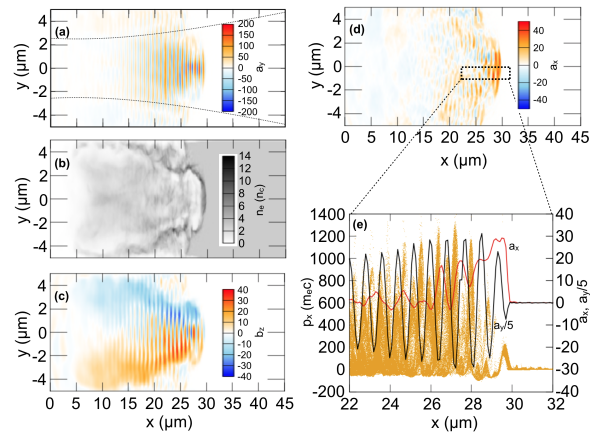


Fig. 1: 高強度レーザーパルス光とプラズマの相互作用 ($t = 117$ fs). (a) 規格化されたレーザー電場 (a_y). 点線は真空中におけるパルス集光・発散の軌跡を示す. (b) 電子密度. (c) 規格化された準静磁場 (b_z). (d) 規格化されたレーザー軸方向の静電場 (a_x). (e) 電子の位相空間 x - p_x での分布に、中心軸での a_x と a_y を重ね書き。

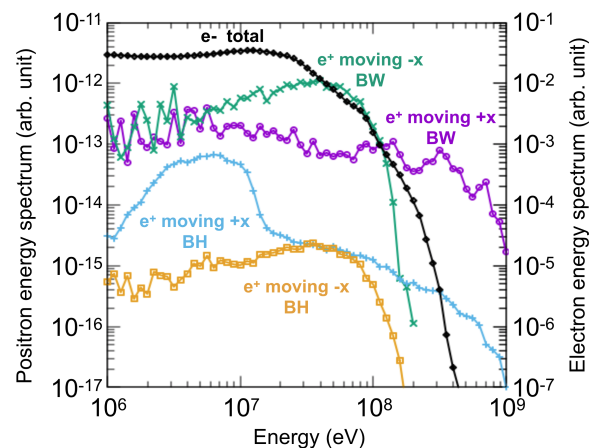


Fig. 2: 相互作用終了時に積算した陽電子のエネルギースペクトル。スペクトルは前方へ走る陽電子と後方へ進む物を区別し、Bethe-Heitler 過程で計算した陽電子も比較のためにプロットしている。