

無衝突衝撃波による準単色イオン加速物理の解明

Investigation of physics of Quasi-monoenergetic ion acceleration by collisionless shock

坂和洋一¹⁾, 泉智大¹⁾, 太田雅人¹⁾, 江頭俊輔¹⁾, Alessio Morace¹⁾, 南卓海¹⁾,
 檜原崇正¹⁾, 境健太郎¹⁾, Rajesh Kumar¹⁾, 蔵満康浩¹⁾, 森田太智²⁾, 高木麻璃子²⁾,
 金崎真聡³⁾, 浅井孝文³⁾, 坂本溪太³⁾, 清水和輝³⁾, 神野智史⁴⁾, 近藤康太郎⁵⁾,
 A. S. Pirozhkov⁵⁾, 桐山博光⁵⁾, 福田祐仁⁵⁾

Y. Sakawa¹⁾, T. Izumi¹⁾, M. Ota¹⁾, S. Egashira¹⁾, A. Morace¹⁾, T. Minami¹⁾, T. Hihara¹⁾, K. Sakai¹⁾, R. Kumar¹⁾,
 Y. Kuramitsu¹⁾, T. Morita²⁾, M. Takagi²⁾, M. Kanasaki³⁾, T. Asai³⁾, K. Sakamoto³⁾, K. Shimizu³⁾, S. Jinno⁴⁾, K. Kondo⁵⁾,
 A. S. Pirozhkov⁵⁾, H. Kiriya⁵⁾, Y. Fukuda⁵⁾

¹⁾大阪大学, ²⁾九州大学, ³⁾神戸大学, ⁴⁾東京大学, ⁵⁾量研,

(概要)

宇宙から飛来する高エネルギー荷電粒子「宇宙線」の生成機構として、「無衝突衝撃波」による加速が最も有力な候補となっている。この無衝突衝撃波加速 (Collisionless Shock Acceleration : CSA) という宇宙物理学の知見から得られた新しい加速機構を、世界に先駆けてレーザーを用いて地上で実現し、最終的には「準単色 100 MeV 級プロトンビームの繰り返し生成」を実証し、その要素物理を明らかにする。

キーワード : 無衝突衝撃波加速, 準単色プロトンビーム生成

1. 目的

本研究では、「レーザー」、「宇宙物理 (無衝突衝撃波)」、「粒子加速」の物理・技術を「プラズマ」を介して融合することにより、レーザー駆動イオン加速の分野に「無衝突衝撃波加速 (Collisionless Shock Acceleration : CSA)」という新しい加速原理を導入する。この従来型加速機構と全く異なるコンセプトによるオールオプティカルの加速法により、「準単色 100 MeV 級プロトンビームの繰り返し生成」を J-KAREN-P レーザーを用いて世界に先駆けて実証し、その要素物理を明らかにする事を最終的な目的としている。

2. 方法

レーザー光を臨界密度 (n_c) 程度のプラズマに入射すると、レーザーが効率よく電子を加熱するとともに、レーザーの光圧がピストンとしてプラズマを押し、密度分布の急峻化と大きな静電ポテンシャル形成が起こり、無衝突静電衝撃波 (Electrostatic Shock : ES) が生成される[1,2]。この ES の静電ポテンシャルが、速度 v_0 をもつ衝撃波上流イオンの運動エネルギーよりも大きければ、ES が「壁」として作用し、イオンが反射し加速される。ここで、衝撃波速度 v_{sh} が v_0 よりも十分大きければ、反射イオンの速度は $2 v_{sh}$ ($\gg v_0$) となり、準単色のイオンが得られる[1,2]。実験では、J-KAREN-P ($<5 \times 10^{21}$ W/cm²) のプレパルス (メインパルスの 6×10^{-12} 以上の強度) でプラスチック (CH) 薄膜ターゲットをプラズマ化し、メインパルスで無衝突衝撃波生成・イオン加速を行った。ターゲットの厚さ (0.1 - 10 μ m) とコントラスト ($\times 1$ -1000) を変えてプラズマ密度とスケール長を制御し、レーザー強度 (エネルギー、スポット径) をパラメータとして実験を行った。計測には、リアルタイム型トムソンパラボラ、電子スペクトロメータ、可視分光器、干渉計測、協同トムソン散乱を用いた。

3. 結果及び考察

トムソンパラボラで得られたイオンのエネルギースペクトルから、最適な実験条件においてはプロトンのみが加速され、さらに準単色のエネルギー成分が観測された。これは、イオン電荷量と質量数の比 Z/A が大きいプロトンのみが衝撃波に反射され、 Z/A が小さい炭素や酸素イオンは衝撃波の静電ポテンシャルを乗り越え、反射されなかったためと考えられる。今後は、可視光スペクトルの解析、流体および粒子シミュレーションとの比較・検討を進め、加速の物理機構を明らかにして行く。

4. 引用(参照)文献等

[1] D. Harberberger, et al., Nature Phys. **8**, 95-99 (2012).

[2] R. Kumar, Y. Sakawa, et al., Phys. Rev. ACCEL. BEAMS **22**, 043401 (2019).