

ILE 無衝突衝撃波実験における協同トムソン散乱計測のための数値実験

香月のどか [1]; 松清 修一 [2]; 羽田 亨 [3]
[1] 九大・総理工・大海; [2] 九大・総理工; [3] 九大総理工

Virtual collective Thomson scattering measurement for collisionless shock experiment at ILE

Nodoka Katsuki[1]; Shuichi Matsukiyo[2]; Tohru Hada[3]
[1] Earth System Science and Technology, Kyushu Univ; [2] ESST Kyushu Univ.; [3] ESST, Kyushu Univ

Recently, collisionless shocks have been successfully reproduced in a laboratory by using high power laser facilities. We have performed the laboratory experiment on collisionless shocks in collaboration with the Institute of Laser Engineering (ILE) at Osaka University. To measure the local plasma quantities in the shock transition region, collective Thomson scattering (CTS) measurement is utilized. The CTS is the elastic scattering of low frequency and long wavelength incident electromagnetic waves by collective oscillations of plasma electrons. The spectrum of the scattered waves enables us to infer the local plasma quantities such as the electron density, electron and ion temperature, the valence of ions, etc, a function of local position along the path of the incident probe laser light. If the plasma is nearly in thermal equilibrium, scattered wave spectrum typically has two double-peaks called electron feature and ion feature. The electron (ion) feature denotes collective electromagnetic waves scattered by Langmuir waves (ion acoustic waves). Because the electron feature is usually too weak to be detected in an equilibrium plasma, we measure only the ion feature and analyze it. The CTS theory in a non-equilibrium plasma has not been established so far. In the foreshock region, a back-streaming plasma is often observed as a beam by which beam instability is easily generated. In such a non-equilibrium plasma near the shock, electron feature may possibly be enhanced by the beam instability and detected in laboratory experiments. Therefore, we have proposed electron feature measurement in the ILE experiment.

In this study we investigate the characteristics of the CTS in a non-equilibrium plasma to detect electron feature at ILE experiment. The CTS in a non-equilibrium plasma is numerically simulated not only to directly make comparison with the experimental results but also to optimize the ILE experimental conditions. First, PIC simulation is performed to reproduce a beam instability occurring in the vicinity of a shock wave. Then, the obtained data of electron density fluctuations is incorporated into the wave equation of scattered waves. In this way, we construct a simulation system of the virtual CTS for multidimensional and realistic parameters in the ILE experiment. Here, we discuss the CTS when the beam velocity is 5 or 10 times the electron thermal velocity. In particular large velocity of the ion beam results in the clear characteristics of higher harmonics in the scattered wave spectrum. In addition, it is found that the probability to detect the electron feature drastically increase by changing geometrical setting of the measurement system. We also report the simulation results for various mass ratios to estimate relative intensity between the ion and electron features.

近年、高強度レーザーを用いて宇宙空間の無衝突衝撃波を実験室に再現できるようになってきた。我々は大阪大学レーザーエネルギー学研究中心（ILE）との共同実験により無衝突衝撃波実験を行っている。実験で再現される衝撃波の遷移層構造を計測するのに、協同トムソン散乱計測を用いている。協同トムソン散乱は自由電子による比較的長波長（ $\ll m_e c^2/h$ ）かつ長波長（ $>$ デバイ長）の光の弾性散乱である。これを計測に利用することで、散乱光の特徴から電子密度、電子およびイオンの温度、イオン価数などの諸量をプローブ光経路に沿った位置の関数として見積もることができる。平衡プラズマの場合、協同トムソン散乱の散乱光スペクトルはイオン音波により散乱されたイオン項とラングミュア波により散乱された電子項の二つのダブルピークが得られることがよく知られている。通常電子項は強度が非常に弱く検出が困難なため、イオン項のみ計測、解析を行う。一方、非平衡プラズマの場合の協同トムソン散乱についてはこれまであまり研究されておらず、その理論的整備は遅れている。無衝突衝撃波の衝撃波上流にはしばしばビームが形成され、ビーム不安定性が起こる。衝撃波近傍の非平衡プラズマではビーム不安定性により電子項が増幅され、検出できる可能性があるため、我々は ILE 実験での電子項計測を提案している。

本研究では、ILE 実験での電子項検出を念頭に置いて、非平衡プラズマにおける協同トムソン散乱の特徴を調べる。最適な ILE 実験条件の検討および ILE 実験結果との直接比較に向けて非平衡プラズマにおける協同トムソン散乱を数値実験により再現する。まず、衝撃波近傍で起こるビーム不安定性を PIC 計算で再現する。その後、PIC 計算により得られた電子密度揺動の時空間データを適宜補間して散乱光の波動方程式に移植し、別途これを解く。このようにして、実パラメータの下で多次元協同トムソン散乱を再現できる数値実験システムを開発した。今回は、電子ビームやイオンビームの速度を電子熱速度の 5 倍、10 倍にした場合の協同トムソン散乱を議論する。多くの場合で、電子項が大きく増幅されることを確認した。とりわけ、イオンビームの場合は速度を大きくすると高調波が現れ、散乱光スペクトルに大きな影響を与えることがわかった。また、計測システムの幾何学的配置を工夫することで、電子項検出の可能性を大きく高められることも示す。イオン項と電子項の強度比較のためイオンと電子の質量比を様々に変えた結果も合わせて報告する。