

非平衡プラズマにおける協同トムソン散乱：高強度レーザー実験への応用

藤野 亮佑 [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

Collective Thomson scattering in non-equilibrium plasma: Applications to high power laser experiment

Ryosuke Fujino[1]; Shuichi Matsukiyo[2]; Tohru Hada[3]
[1] ESST,Kyushu Univ.; [2] ESST Kyushu Univ.; [3] ESST, Kyushu Univ

In space and astrophysical plasma physics, satellite based in-situ observation and ground and satellite based remote sensing have been the typical methods of empirical studies. While the in-situ observation can directly measure local electromagnetic fields and plasma distribution functions with quite high resolution, it is difficult to capture the global structure of the corresponding system. In contrast, the remote sensing can capture a global structure of the system, although the resolution for local structures is often insufficient. On the other hand, numerical simulations reveal that multi-scale phenomena, in which a global and a local structure of a system affect each other, often play decisive roles in a variety of high energy phenomena in space. Recently, high power laser experiments have reproduced various high energy phenomena as seen in space and astrophysical plasmas like a collisionless shock, magnetic reconnection, etc. Since in the experiment we can access both global and local structures of the corresponding phenomenon in principle, it is expected to be a new tool of the empirical study of space and astrophysical plasma physics.

The collective Thomson scattering is often utilized to measure local quantities of a plasma in laboratory experiment. It is the application of the elastic scattering of low frequency electromagnetic waves by free electrons in a plasma. In the measurement, one observes scattered waves which are radiated through the interaction between an incident probe laser light and collective motions of electrons in a plasma. The characteristics of the scattered waves enable us to infer local electron density, plasma temperature, and valence of ions. Details of the scattering theory are complex. In particular the theory of the collective Thomson scattering in a non-equilibrium plasma has not been established.

In this presentation, an experiment of a collisionless shock is taken as an example. The wave equation of the scattered waves for a plasma containing arbitrary density fluctuations is numerically solved to discuss how the non-equilibrium plasma seen in a shock transition region scatters an incident probe laser light. In the past collective Thomson scattering measurement in a laboratory plasma, the so-called ion feature is often paid attention, since the spectral intensity of scattered waves is relatively high. Here, we suggest that the electron feature, whose spectral intensity is usually very weak, can be observed in a highly non-equilibrium plasma as in the shock transition region.

従来、宇宙・天体プラズマ諸現象の実証的研究手法としては、人工衛星を用いたその場観測や、地上観測を含めたりモートセンシングなどが主流である。その場観測の場合、局所的な電磁場の微細構造やプラズマ分布関数の直接計測が可能な反面、衛星経路上以外の大域的な系の構造を同時にとらえることは難しい。反対に、リモートセンシングでは、系の大域的構造を端的にとらえられるが、局所的構造の解像度はしばしば不十分である。その一方で、数値シミュレーションによると、系の大域的構造と局所的な微細構造が互いに影響を与えあう多スケール結合が、宇宙のさまざまな高エネルギー現象を理解する上で本質的に重要であることが示唆されている。近年、無衝突衝撃波やリコネクションなど、宇宙・天体プラズマ中で見られる高エネルギー現象を、高強度レーザー実験を用いて再現することができるようになってきた。実験では、現象の大域的構造と局所的構造に同時にアクセスすることが原理的に可能であるため、レーザー実験が今後宇宙・天体プラズマ諸現象の新たな実証的研究ツールとして整備されることが期待されている。

実験での局所的プラズマパラメータの計測に、協同トムソン散乱計測がしばしば用いられる。プラズマの自由電子による光の弾性散乱を応用したもので、プラズマに入射したプローブ光がプラズマ電子の集団運動の影響で変調された散乱光を計測し、その特徴から局所的な電子密度やプラズマの温度、イオン価数などを推定する（宇宙では電離層プラズマの計測などに用いられている）。散乱理論の詳細は複雑で、プラズマが比較的平衡状態に近い場合についてはよく調べられているものの、非平衡な場合の理論の整備は遅れている。

本研究では、非平衡性の強いプラズマによる協同トムソン散乱の理論的枠組みを構築することを目的とする。無衝突衝撃波の実験を例に、任意のプラズマ密度揺動に対する散乱光の波動方程式を数値的に解き、衝撃波遷移層近傍での様々な非平衡プラズマが、入射プローブ光をどのように散乱するかを議論する。従来の実験室プラズマにおける協同トムソン散乱計測では、散乱光としてスペクトル強度の強いイオン光と呼ばれる成分に注目することが多かった。衝撃波遷移層などの非平衡性の強いプラズマでは、これまでスペクトル強度が低いため観測しにくいとされてきた電子光と呼ばれる成分が優位に計測される可能性があることを示す。また、可能であれば今年度予定している実験での計測結果を報告する。