

平衡および非平衡プラズマにおける協同トムソン散乱の2次元フル粒子シミュレーション

#佐藤 弓真¹⁾, 松清 修一²⁾, 諫山 翔伍³⁾

¹⁾ 九大・総理工, ²⁾ 九大・総理工, ³⁾ 九大総理工

Two-dimensional full particle-in-cell simulation of collective Thomson scattering in equilibrium and non-equilibrium plasmas

#Yuma Sato¹⁾, Shuichi Matsukiyo²⁾, SHOGO ISAYAMA³⁾

¹⁾IGSES, Kyushu Univ., ²⁾Kyushu Univ., ³⁾IGSES

Thomson scattering measurement is commonly used to measure laboratory and ionospheric plasmas. When the wavelength of the incident wave is longer than the Debye length of the plasma, it is called collective Thomson scattering. In the collective Thomson scattering the spectrum of scattered light contains the information of the collective motion of electrons in the plasma. For example, the scattered light spectrum through Langmuir waves (called the electron feature) is a function of the electron density, temperature, and specific heat ratio of the electrons, and that through ion acoustic waves (called the ion feature) is a function of the ion valence, temperature, and specific heat ratio. Therefore, the parameters of the plasma can be estimated by theoretically fitting the measured scattered light spectra.

We aim to measure the transition region of collisionless shock waves generated in high-power laser experiments by collective Thomson scattering. In general, the transition region of a collisionless shock is in a highly nonequilibrium state. But the theory of collective Thomson scattering in a non-equilibrium plasma is not well developed. In this study, we reproduce the collective Thomson scattering in equilibrium as well as non-equilibrium plasmas by using full particle-in-cell (PIC) simulation to develop a scattering theory. Although in the past PIC simulations one-dimensionality and uniformity of space are assumed, the actual experimental system is two-dimensional and the incident light has a finite beam width. In this study, we reproduce the collective Thomson scattering of incident light with finite beamwidth by two-dimensional PIC simulations and discuss the characteristics of scattered light propagating in arbitrary directions. First, we reproduce the scattering in an equilibrium plasma and compare it with theory. Next, we reproduce collective Thomson scattering in a beam-plasma system as an example of a non-equilibrium system and discuss the results.

プラズマ中の自由電子による光のトムソン散乱は、実験室プラズマや電離層プラズマの計測に用いられている。入射波の波長がプラズマのデバイ長よりも長い場合は協同トムソン散乱と呼ばれ、プラズマ電子の集団運動を反映した散乱光スペクトルが得られる。これはプラズマ波動による光の散乱ととらえることができ、例えばLangmuir波による散乱光スペクトル（電子項とよぶ）はプラズマの電子密度や温度、比熱比の関数に、イオン音波によるもの（イオン項とよぶ）はさらにイオンの価数や温度、比熱比の関数になることが知られている。このため計測される散乱光スペクトルを理論フィッティングしてプラズマのパラメータを推定することができる。

我々は、大型レーザー実験で生成した無衝突衝撃波の遷移層構造を協同トムソン散乱で計測することを目指している。一般に、無衝突衝撃波の遷移層は著しい非平衡状態にあるが、非平衡プラズマによる協同トムソン散乱の理論は未整備である。そこで本研究では、数値シミュレーションによって非平衡プラズマの協同トムソン散乱を再現し、散乱理論の構築を目指す。これまでに、空間の1次元性と一様性を仮定した協同トムソン散乱のPIC計算が行われているが、実際の計測システムは2次元系で、入射光は有限のビーム幅を持つ。本研究では、有限のビーム幅を持つ光を入射したときの協同トムソン散乱を2次元PIC計算で再現し、任意の方向に生成される散乱光の特徴について議論する。初めに平衡プラズマにおける散乱を再現し、電子項とイオン項の特徴を理論と比較する。次に、非平衡系の例としてビームプラズマ系での協同トムソン散乱を再現してその結果を議論する。