

R008-21

Zoom meeting D : 11/4 PM1 (13:45-15:30)

14:30~14:45

サイクロトロン共鳴における非相対論的粒子の厳密解

#北原 理弘¹⁾, 三好 由純¹⁾, 中村 紗都子²⁾, 小路 真史¹⁾, 加藤 雄人³⁾, 北村 成寿⁴⁾

(¹⁾名大 ISEE, (²⁾京大・理・地球惑星, (³⁾東北大・理・地球物理, (⁴⁾東大・理・地惑

The exact analytic solutions of non-relativistic particles in the cyclotron resonance condition

#Masahiro Kitahara¹⁾, Yoshizumi Miyoshi¹⁾, Satoko Nakamura²⁾, Masafumi Shoji¹⁾, Yuto Katoh³⁾, Naritoshi Kitamura⁴⁾

(¹⁾ISEE, Nagoya Univ., (²⁾Dept. of Geophys., Kyoto Univ., (³⁾Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ., (⁴⁾University of Tokyo

Wave-particle interactions play a crucial role in the dynamics of charged particle such as particle acceleration, pitch angle scattering, wave growth in space plasmas. For quantitative evaluation of wave-particle interactions, it is the most important to estimate the size of a trapping region of charged particles encountering plasma waves in the velocity space (phase space). The trapping region in wave-particle interaction is expressed as a set of closed trajectories in the velocity space with the conserved quantities. In this study, we solve the equation of motion for a non-relativistic charged particle in electromagnetic waves propagating along the uniform ambient magnetic field, and we derived two conserved quantities, which correspond to the diffusion curve in the velocity space and the rescaled Hamiltonian introduced by Albert et al. (2021). Classifying particle trajectories by using the conserved quantities, we derived the exact trapping region in the velocity space. Because the exact trapping region includes trajectories of "transversal phase bunching" mentioned by Matsumoto et al. (1974), the size of the exact trapping region is larger than that of the trapping region of "longitudinal phase bunching". This fact should indicate that the trapping efficiency estimated from the exact trapping region should be higher than that from the longitudinal trapping region. We also found that the parallel velocities of some trapped particles do not always meet the cyclotron resonance condition. These particles can be classified as non-resonance trapping in the sense that the particle velocities do not match the cyclotron resonance velocity, while the particles can also be classified as the resonance trapping in a broad sense that the resonance condition is defined as the temporal-stationary points of the relative phase angles. Our derived exact solution can be applied to the particle data analysis of the high-time-resolution observations and contribute to more quantitative interpretations of wave-particle interactions through the cyclotron resonance.

プラズマ波動による荷電粒子の加速・散乱現象を定量的に評価するためには、速度空間（または位相空間）におけるプラズマ波動による荷電粒子の捕捉領域（以下、捕捉領域）を正確に表現することが重要である。捕捉領域は速度空間中の閉軌道集合として表現され、対応する保存量を定義することができる。我々は次元かつ一様な背景磁場を平行伝搬する円偏波の電磁波を仮定して、非相対論的荷電粒子の運動方程式を解くことにより、荷電粒子の拡散曲線 (diffusion curve) とリスケールされたハミルトニアンに対応する2つの保存量を導出した。これらの保存量を利用して荷電粒子の軌道を分類することにより、位相空間における荷電粒子の正確な捕捉領域を表現した。今回導出した捕捉領域は、いわゆる垂直方向捕捉 (transversal phase bunching) を内包し、平行方向捕捉 (longitudinal phase bunching) のみを考慮した捕捉領域よりも面積が大きくなるため、より効率的な粒子捕捉が期待される。また、波動に捕捉される粒子の中には、サイクロトロン共鳴条件 ($v_{\text{para}} = V_{\text{res}}$) を満たさない粒子も存在することが導かれる。これらの捕捉粒子は、粒子速度と共鳴速度が一致することを共鳴条件とする立場から見れば、「非共鳴捕捉」と呼ぶこともできる。一方で、波動に対する相対位相が停留する点を広義の共鳴条件と考える立場から見た場合には、これらの捕捉粒子を「共鳴捕捉」と捉えることもできる。今後、今回導出した捕捉領域の厳密解を、実際に宇宙空間において観測される粒子データの解析や理論解析に適用することによって、サイクロトロン型の波動粒子相互作用のより定量的な物理解釈が可能となることが期待される。