

プラズマの微視的不安定性 II 外磁場のある場合

佐 藤 正 知 (日大理工)

一定かつ一様な外部磁場 ($\mathbf{B}_0$) が z 方向に存在する均一プラズマにおける微視的不安定性と、密度・温度などの $\mathbf{B}_0$ に垂直な勾配が存在するプラズマにおけるドリフト波の不安定性 (いわゆるユニバーサル不安定性) について報告した。

1 均一プラズマにおける分散式の一般論

マクスウェル方程式から、電媒常数テンソル K_{ij} をもつ均一媒質における波動 (振動数 ω , 波数 $\mathbf{k}$) の分散式として

$$|k_i k_j - k^2 \delta_{ij} + \frac{\omega^2}{c^2} K_{ij}| = 0 \quad (1)$$

が導かれる。"無衝突プラズマ" の近似では、 K_{ij} は線型ブラッフ方程式を解くことによつて求められる。¹⁾ 簡単になる場合としては

i) 外磁場に平行な波: $\mathbf{k} \parallel \mathbf{B}_0$ のとき、(1)は $\mathbf{B}_0 = 0$ のときの純粹の縦波 ($\mathbf{E} \parallel \mathbf{k}$) に対する $K_{zz} = 0$ と、純粹の横波 ($\mathbf{E} \perp \mathbf{k}$) に対する 2 行 2 列行列式とに分解する。

ii) 静電近似: 条件

$$|n^2| \equiv |k^2 c^2 / \omega^2| \gg |K_{ij}| \quad (2)$$

がすべての i, j に対して成立すれば、振動は近似的に静電的 ($\text{rot } \mathbf{E} \approx 0$) とみなし得て、解析がかなり容易になる。有限の (無限大でない) K_{ij} に対して (2) が成立てば、その波の位相速度 ω/k は一般におそいことになり、したがつて速度分布の非等方性などがあると、"逆ランダウ減衰" 的な機構によつて振動的に不安定になりやすいと考えられる。この理由 (および簡単さ) のために静電近似を仮定して不安定性を論ずることがしばしばある (ただし、そのすべての場合がちゃんと正当化されているとはいえない)。

2 微視的不安定性の例

次のような例について、簡単に報告した。よりくわしくは、文献1)および2)を参照されたい。

i) イオン及び電子のサイクロトロン共鳴による不安定性：温度の非等方性によるもの及び逃走電子によるものなど。

ii) 準縦波の不安定性：静電的イオン・サイクロトロン波、 $\mathbf{k} \perp \mathbf{B}_0$ の縦波 "Harris 型" など。

iii) アルフベン波および磁気音波の不安定性：低振動数領域 ($\omega \ll \Omega_i$) における非圧縮性の波 (shear Alfvén) および圧縮性の波 (torsional 又は magnetosonic) の不安定性。温度の非等方性によるばあいは何れも非振動的、電流が存在するばあいは振動的な不安定。

3 ドリフト波の不安定性。密度勾配のあるプラズマにおけるドリフト波の存在と、その不安定化の機構について論じた。物理的な像について、水野氏等も応援して下さったが、みんなが十分に納得する説明であつたかどうかは自信がない。文献2)のほか、3)を参照されたい。

文 献

1) T. H. Stix, The Theory of Plasma Waves (1962) とくに才8, 9章。

2) 安定性理論 (理論将来計画) 研究会報告。核融合研究 14 No.6 (1965) とくに寺島氏および川上氏による報告。

3) "ユニバーサル交安定性" の総合報告としては、次のものがある：

A. A. Rukhadze and V. P. Silin, Sov. Phys. Uspekhi, 7 (1964) 209.

A. A. Galeev, S. S. Moiseev and R. Z. Sagdeev, Atomnaya Energiya 15 (1963) 451; 英訳: Plasma Physics (J. Nucl. Energy Part C) 6 (1964) 645.