

以上、筆者の主観によつてまとめてみたが、不十分な点、或は一人よがりな点があつたら御叱責いただきたい。（西川恭治）

プラズマの微視的不安定性 I 外磁場のない場合

百 田 弘（名大プラズマ研）

典型的な 3 ツについて、機構を中心に紹介する。簡単の為に正イオンは固定された一様な背景とする。

1 逆ランダウ励起

6 次元位相空間でのプラズマの分布を $f_0(v)$ とする。摂動電場 $E_X = E \cos(kx - \omega t)$ が生じたとき、時間 t だけ後の運動を求めることによつて、

$$\frac{\partial E_X}{\partial t} = -4\pi j_X$$

$$\begin{aligned} &= E \omega_p^2 \left\{ \frac{\omega}{k} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial f_0}{\partial v_X} \frac{v_X dv_X}{v_X - \omega/k} \sin(kx - \omega t) \right. \\ &\quad \left. + \frac{\pi}{|k|} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial f_0}{\partial v_X} v_X \delta(v_X - \omega/k) dv_X \cos(kx - \omega t) \right\} \end{aligned}$$

故に、大部分の粒子は E_X と Out of Phase に E_X を増加させる。すなわち波を伝播させる。 $v_X \sim \omega/k$ の粒子は E_X と同位相に E_X を増加させる。すなわち波の振巾を増減させる。 $\pi/|k|t \gg v_X - \omega/k > 0$ の粒子の作る電流は粒子の慣性によつて、波のポテンシャルの位相よりも進み、 $\pi/|k|t \gg \omega/k - v_X > 0$ の粒子の作る電流は位相がおくれる。両者のかね合いによつて、位相の進む場合 $\left[\frac{\partial f_0}{\partial v_X} \left(\frac{\omega}{k} \right) > 0 \right]$ の場合] 波の振巾の増加が見られ、逆に位相のおくれる場合 $\left[\frac{\partial f_0}{\partial v_X} \left(\frac{\omega}{k} \right) < 0 \right]$ の場合] 波の振巾は減小する。前者が逆ランダウ励起である。又その成長率は

Plasma

$$\frac{\pi \omega_p^2 \omega}{k|k|} \frac{\partial f_0}{\partial v_x} \left(\frac{\omega}{k} \right)$$

で与えられる。

2 ニツの流れの不安定性

N_1 ケの電子が v の速度で、 N_2 ケの電子は $-v$ の速度で x 軸方向に流れており、 $N_1 = N_2 = N/2$ としよう。

$$\delta n = a \sin kx \pm b \cos kx, \quad \delta v = \mp c \sin kx - d \cos kx$$

の摂動がある場合（複号は上が 1 の流れを下が 2 の流れに対して適用） $kv < \omega_p$ として主要な項だけを考えて流体の連続性より

$$\frac{\partial}{\partial t} \delta n \sim kvb \sin kx \pm Nc \cos kx.$$

すなわち二流体であることと、速度変調のあることによつて、密度変調の増大のあることがわかる。又運動方程式により

$$\frac{\partial}{\partial t} \delta v \sim \mp kvd \sin kx - \frac{2\omega_p^2}{Nk^2} \cos kx.$$

密度変調によつて作られた静電場と、二流体の速度変調によつて、速度変調も又増大する。この正帰還のループによつて摂動は指数的に増大する。生長率は $kv \ll \omega_p^2$ のとき

$$kv \left(1 - \frac{4k^2 v^2}{\omega_p^2} \right)$$

で与えられる。

3 ワイベルの不安定性

以上の静電場の励起を伴う不安定性に対して、プラズマの温度に非等方性のあるとき、横波が励起されることが知られている。今 y 軸方向の熱的速度 α 、 x 軸方向の熱的速度を 0 とする。摂動磁場 $B_z = B \sin kx$ が生じたとき、 y 軸方向に正の電流に寄与する粒子は $\frac{e}{c} v_y B_z$ のローレンツ力によつて $x = (2n+1)$

π/k (n : 整数) の場所②に集まる。他方負の電流に寄与する粒子は $x=2n\pi/k$ の場所①, ③に集まり電流の束が相互に正負に生ずる。この電流の束は初めの摂動磁場を増加させる方向に働くので磁場は指数的に増大する。磁場の増大によつて誘導される電場も考慮して、その生長率は

$$\frac{\alpha}{2} \frac{\omega_p}{\sqrt{c^2 + \omega_p^2/k^2}}$$

で与えられる。

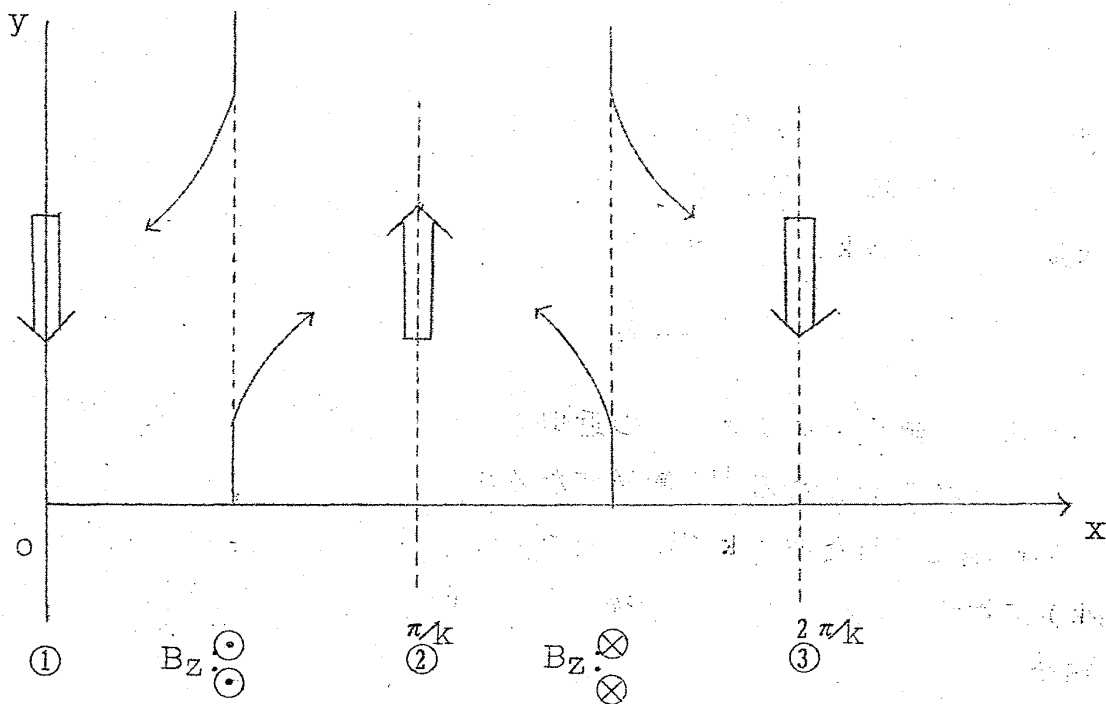


図 摂動磁場 B_z によつてローレンツ力が粒子に働き、電流の束が作られる

註) Two Beam Instability に関しては、筆者の間違いがありましたので堅田での話とは異つた記事になつています。