

www.mientay.vn.com

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN
BỘ MÔN VẬT LÝ NGUYÊN

CÁC THÔNG SỐ PLASMA CỰC BÊN

GVHD: PGS. TS. Lê Văn Hữu

HVTH: Võ Thu Hữu

CÁC THÔNG SỐ PLASMA CƠ BẢN

- Tốc độ nhiệt – C (thermal speed)
- Tần số cyclotron (cyclotron frequency)
- Bán kính larmor (larmor radius)
- Tần số plasma (plasma frequency)
- Tham số plasma (plasma parameter)
- Các thời gian va chạm (collision intervals)
- Điện trở suất (electric resistivity)

Tốc độ nhiệt (thermal speed)-C

➤ Số lượng electron có vận tốc trong khoảng $v_x \rightarrow v_x + dv_x$

$$dn_e(v_x) = f_e(v_x)dv_x$$

➤ Khi electron ở trạng thái cân bằng nhiệt. Nhiệt độ T_e thì $f_e(v_x)$ tuân theo hàm phân bố Maxwell:

$$f_e(v_x) = n_e \left(\frac{m_e}{2\pi k_B T_e} \right)^{1/2} \exp\left(-\frac{m_e v_x^2}{2k_B T_e} \right) \quad \text{Thỏa mãn: } \int_{-\infty}^{+\infty} f_e(v_x) dx = n_e$$

➤ Ý nghĩa của v_x^2 là:
$$v_T^2 = \frac{1}{n} \int_{-\infty}^{+\infty} v_x^2 f(v_x) dv_x = \frac{2k_B T}{m}$$

$$C = \left(\frac{2k_B T}{m} \right)^{1/2} \quad \text{Tốc độ nhiệt}$$

Cyclotron frequency ω_c

➤ Xét một hạt P có khối lượng m , tích điện Q , chuyển động với vận tốc \vec{w} trong trường \vec{E} và \vec{B} .

➤ Lực tác động lên hạt P là: $Q (\vec{E} + \vec{w} \times \vec{B})$

➤ Gia tốc của hạt P là $d\vec{w} = \frac{Q}{m} (\vec{E} + \vec{w} \times \vec{B})$

➤ Vận tốc \vec{w} của hạt P có thể tách thành hai thành phần:

$$v = \langle \vec{w} \rangle \quad \text{vận tốc l u c h t (the fluid velocity)}$$

$$c: \text{vận tốc riêng (peculiar velocity)} \quad \langle c \rangle = 0$$

$$\Rightarrow \vec{w} = \vec{v} + \vec{c} \Rightarrow d\vec{w} = d\vec{v} + d\vec{c}$$

Trong đó: $d\vec{v} = \langle d\vec{w} \rangle = \frac{Q}{m} (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

$$\Rightarrow d\vec{c} = \frac{Q}{m} \vec{B} \vec{c} \times \vec{b} = \omega_c \vec{c} \times \vec{b}$$

$$\omega_c = \frac{QB}{m} \quad \text{Tần số cyclotron}$$

Bán kính Larmor r_L

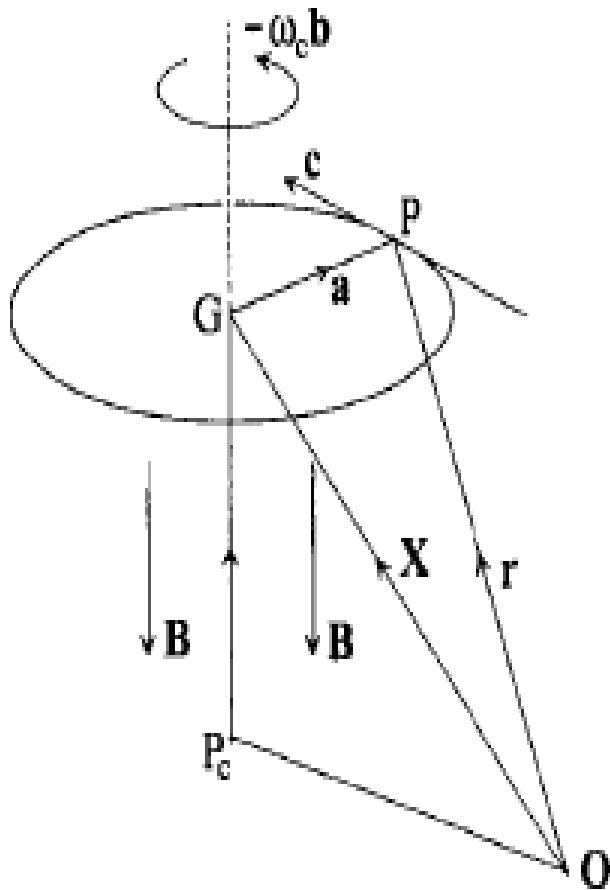


Figure 2.2: Gyration of a charged particle.

- Hình vẽ bên mô tả chuyển động của hạt P chuyển động quanh điểm G với vận tốc c
- khoảng cách giữa G và P là

$$a = |\vec{a}| (\vec{a} = \vec{r} - \vec{X}), a = \frac{|\vec{c}|}{|\omega_c|}$$

- Nếu ta thay các hằng số thì

$$C = (2k_B T / m)^{1/2}$$

$$r_L = C / \omega_c$$

r_L gọi là bán kính Larmor

Tần số electron plasma ω_e

➤ Xét trường hợp có mật độ nhiễu loạn nhỏ xảy ra trong plasma đồng nhất và các electron trong plasma di chuyển do nhiễu loạn.

➤ Mật độ trong trường có mật độ điện tích tổng cộng theo phương trình Gauss: $\epsilon_0 \nabla \vec{E} = -e(n_e - n_0)$

➤ Electron có gia tốc biến thiên trong trường $m_e \frac{d\vec{v}}{dt} = -e\vec{E}$

➤ Do electron di chuyển nên mật độ electron có sự thay đổi theo phương trình liên tục:

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} + \nabla \cdot (n_e \vec{v}) = 0$$

➤ Giả sử $n_e - n_0 = n_1$ và giả sử $|n_1| \ll n_0$ ta tìm được:

$$\epsilon_0 \nabla \vec{E} = -en_1 \quad (1), m_e \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -e\vec{E} \quad (2), \frac{\partial n_1}{\partial t} + n_0 \nabla \cdot \vec{v} = 0 \quad (3)$$

➤ Lấy đạo hàm phương trình (3) rồi thay (2) và (1) vào ta được phương trình: $\frac{\partial^2 n_1}{\partial t^2} + \frac{n_0 e^2}{\epsilon_0 m_e} n_1 = 0$

$$t: \omega^2 = \frac{n_0 e^2}{\epsilon_0 m_e} \Rightarrow \omega_e = \left(\frac{n_0 e^2}{\epsilon_0 m_e} \right)^{1/2} = 56.4 (n_e)^{1/2} \text{ rad / s}$$

Thời gian va chạm

$$\tau_{coll}$$

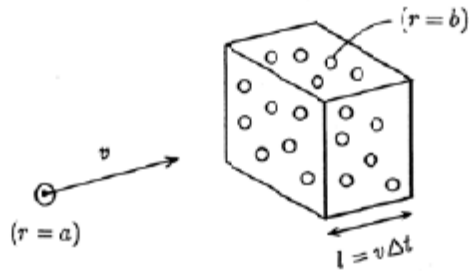


Fig. 2.6. Probability of collision between a sphere a and spheres b

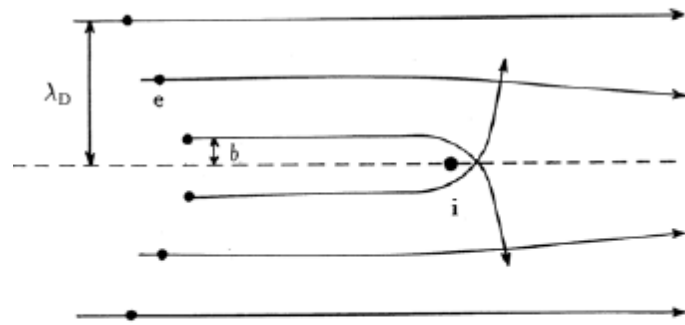


Fig. 2.7. Coulomb collision of electron with ion

➤ Khi hạt có bán kính a di chuyển qua khoảng cách $l = v\delta t$ trong thời gian δt thì xác suất va chạm với hạt hình cầu bán kính b là: $nl\sigma = n\sigma v\delta t$

➤ Gọi τ_{coll} là thời gian va chạm. Khi xác suất va chạm bằng 1 thì $\tau_{coll} = (n\sigma v)^{-1}$

➤ Xét tương tác coulomb xảy ra giữa một electron tự do và một ion tích điện Ze . Khi electron tới gần ion (cách ion khoảng cách b) thì thế năng tĩnh điện của ion lúc này bằng năng lượng của electron thì:

$$\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 b} = \frac{m_e v_e^2}{2}$$

➤ Thời gian tương tác coulomb: $\sigma = \pi b^2$

➤ Thời gian tương tác

$$\frac{1}{\tau_{coll}} = n_i \sigma v_e = n_i v_e \pi b^2 = \frac{n_i \pi (Ze^2)^2 v_e}{(4\pi\epsilon_0 m_e v_e^2 / 2)^2} = \frac{Z^2 e^4 n_i}{4\pi\epsilon_0 m_e^2 v_e^3}$$

Plasma parameter Λ

Số lượng electron chứa trong một tế bào bán kính λ_D gọi là tham số plasma, ký hiệu là Λ :

$$\Lambda \approx n_e \lambda_D^3 \approx \left(\frac{\epsilon_0 k_B T_e}{e^2} \right)^{3/2} \frac{1}{n_e^{3/2}}$$

Nếu $\Lambda > 1$ gọi là classical plasma hay plasma liên kết yếu (weakly coupled plasma) vì khi đó năng lượng nhiệt của electron $k_B T_e$ lớn hơn năng lượng coulomb của hai electron $E_{coulomb} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$ ($r = n_e^{-1/3}$)

Nếu $\Lambda < 1$ gọi là plasma liên kết mạnh (strongly couple plasma)

➤ N u m t h t íc h i n q, k h i l ñ g m, c h u y n ñ g v i v n t c v v a c h m v i t r ñ g h t c ó i n t íc h q^* , k h i l ñ g m^* v à v n t c n h i t $v_T^* = (2k_B T^* / m^*)^{1/2}$

➤ Th i g i a n v a c h m g i a h a i h t c t íc h b ñ g c ô n g t h c:

$$\frac{1}{\tau_{\square}} = \frac{q^2 q^{*2} n^* \ln \Lambda}{12\sqrt{3}\pi\epsilon_0^2 (m_r / m^{1/2})(k_B T)^{3/2}}$$

$$m_r = \frac{mm^*}{m + m^*} \text{ là k h i l ñ g r ú t g ñ:}$$

➤ Th i g i a n v a c h m c a e l e c t r o n v i i o n l à: $\frac{1}{\tau_{ei\square}} = \frac{Z^2 e^4 n_i \ln \Lambda}{12\sqrt{3}\pi\epsilon_0 m_e^{1/2} (k_B T_e)^{3/2}}$

➤ K h i h a i i o n g i ñ g n h a u t íc h i n Z , k h i l ñ g m_i v a c h m v i n h a u t h i t h i g i a n v a c h a m: $\frac{1}{\tau_{ii\square}} = \frac{Z^4 e^4 n_i \ln \Lambda}{6\sqrt{3}\pi\epsilon_0^2 m_i^{1/2} (k_B T_e)^{3/2}}$

➤ K h i h a i e l e c t r o n v a c h m v i n h a u: $\frac{1}{\tau_{ee\square}} = \frac{n_e e^4 \ln \Lambda}{6\sqrt{3}\pi\epsilon_0^2 m_e^{1/2} (k_B T_e)^{3/2}}$

hệ số η

Electron trong plasma có thể coi là các hạt chuyển động tự do và khi có điện trường thì vận tốc trung bình của chúng lúc đó $\frac{m_e(v_e - v_i)}{\tau_{ei}} = -eE$

Mật độ dòng $j = -en_e(v_e - v_i) = \frac{e^2 n_e \tau_{ei}}{m_e} E$

t: $\eta = \frac{m_e}{e^2 n_e \tau_{ei}} = 5.2 \cdot 10^{-5} Z \ln \Lambda \left(\frac{k_B T_e}{e} \right)^{3/2} \Omega m$

$\Rightarrow j = \frac{E}{\eta}$, η : hệ số