

I. Giới thiệu về plasma

- Plasma là một thể chất khí ion hóa, trong đó bao gồm các hạt mang điện như electron, ion, và các hạt trung hòa. Trong thể chất này giá trị tuyệt đối của điện tích dương bằng giá trị tuyệt đối của điện tích âm. Như vậy, plasma là một thể chất trung hòa điện tích, và là một thể chất trung hòa về điện tích. Tuy nhiên không phải lúc nào trong plasma điện tích dương bằng điện tích âm, khi có sự mất cân bằng điện tích thì trong plasma sẽ sinh ra một dòng điện như dòng điện của các chất trung hòa và làm cho plasma này trở nên trung hòa về điện. Nói một cách khác, một electron gắn liền với một hạt mang điện tích dương trong một nguyên tử.

II. Phân loại

- Có hai plasma là plasma nhiệt độ cao và plasma nhiệt độ thấp
- + Plasma nhiệt độ thấp có nhiệt độ trong khoảng 3000-70000K, thường có sự phát xạ trong vùng nhìn thấy, hồng ngoại, tử ngoại, plasma...
- + Plasma nhiệt độ cao có nhiệt độ lớn hơn 70000K, thường gặp trong các ngôi sao, trong phần nhiệt hạch...

III. Định nghĩa

- Định nghĩa về tính chất của plasma bằng cách đưa ra khái niệm về mức độ ion hóa

$$\beta = \frac{n_{e,i}}{n_0}$$

β : mức độ ion hóa

$n_{e,i}$: số lượng các hạt mang điện

n_0 : số lượng các hạt khí trong môi trường

- Như vậy về mức độ ion hóa người ta chia plasma ra làm hai loại là: ion hóa hoàn toàn và ion hóa một phần.

- Trường hợp ion hóa hoàn toàn thì người ta gọi là plasma nhiệt độ cao. Lúc này tính chất của plasma sẽ xác định bởi tính chất của ion và electron trong nó.

- Trường hợp plasma nhiệt độ thấp ion hóa hoàn toàn thì người ta gọi là trong phổ tử ngoại và phát xạ hồng ngoại

- plasma có tính ion hóa một phần thì:

$$\beta \geq \frac{\sigma_{eo}}{\sigma_{ei}}$$

- plasma có tính ion hóa yếu thì:

$$\beta < \frac{\sigma_{eo}}{\sigma_{ei}}$$

σ_{ei} : tỉ lệ diện tích hiệu dụng, đặc trưng cho quá trình tương tác giữa ion và electron

σ_{eo} : tỉ lệ điện tử trung hòa, đặc trưng cho quá trình trung hòa tác động của ion và electron trung hòa

-Theo quan niệm nhiệt động học có hai loại là plasma cân bằng và plasma không cân bằng

+Plasma cân bằng (hoặc plasma nhiệt) là trong đó các hạt có cùng nhiệt độ, trung hòa và vì các hạt mang điện tích luôn có bù trừ do quá trình ion hóa, nó trung hòa mà không cần lý tưởng bên ngoài

+Plasma không cân bằng (hoặc plasma bất nhiệt): không trung hòa và vì nhiệt độ khác nhau giữa các hạt trung hòa và ion, nó trung hòa về điện tích nhưng không cân bằng bên ngoài thì plasma sẽ mất đi

-Về ý nghĩa của trung hòa là một trong những ý nghĩa của plasma ta có thể nhận thấy "plasma là một tập hợp các ion, electron và các hạt trung hòa tác động lẫn nhau và vị trí ngược nhau". Tuy nhiên nhận thức này chỉ nói lên tính chất của plasma, ta cần tìm hiểu thêm về mặt nhiệt độ

-Nub qualct động tác phân tử ta có:

$$\frac{(Z_{ie}e)^2}{r} \ll kT$$

\bar{r} : khoảng cách trung bình giữa các hạt

$$\bar{r} = \frac{1}{N^{\frac{1}{3}}}$$

N: nồng độ của plasma

$$N = n_e + n_i$$

-Xét mặt hình cầu: sẽ có một lớp điện tích hình cầu sinh ra xung quanh hạt, dày của lớp này phụ thuộc vào nhiệt độ và nồng độ hạt. Dày của lớp tiếp xúc phải giúp nó chịu sự khác nhau, có khả năng làm màn chắn cho hạt. Bán kính của hình cầu đó chính là bán kính Debye

Th Coulomb: $\varphi_0 = \frac{Z_{ie}e}{r}$

Th Debye: $\varphi = \frac{Z_{ie}e}{r} \exp\left(-\frac{r}{D}\right)$

D: là bán kính Debye

Khi $r=D$

Thì $\frac{\varphi_0}{\varphi} = e$

-Về ý nghĩa của lớp điện tích bao quanh hạt sẽ làm màn chắn cho hạt đó trên khoảng cách xác định

Trong trường hợp tổng quát thì bán kính Debye có tính bằng công thức

$$D = \left(\sum D_{ie}^{-2} \right)^{\frac{1}{2}} D_{ie} = \left\{ \frac{KT_{ie}}{4\pi (Z_{ie})^2 n_{ie}} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

D_{ie} là bán kính Debye của các thành phần của plasma

Nguyên tử:

$$N \gg \frac{1}{\frac{4}{3}\pi D^3}$$

- Công thức này cho thấy rằng mật độ của màn chắn thì sẽ trái dấu trong hình của bán kính Debye phải lớn. Nếu trong bán kính Debye quá lớn thì không còn khả năng làm màn chắn thì lúc này nó không còn gọi là plasma. Vậy plasma phải thỏa mãn điều kiện sau:

- Thỏa mãn điều kiện gần trung hòa

- Bán kính Debye phải nhỏ hơn nhiều lần so với kích thước của miền chứa tập hợp đó

$$D \ll L$$

IV. Sự tương tác giữa các hạt trong plasma

1. Thời gian va chạm

Khái niệm về thời gian va chạm là rất quan trọng. Nó có liên quan cho quá trình va chạm trong chất khí

Nguyên nhân của ý nghĩa hình học của thời gian va chạm. Sự va chạm giữa hai hạt khi gặp nhau xảy ra trong khoảng cách giữa hai tâm hạt nhỏ hơn hoặc bằng một khoảng cách cố định nào đó. Khoảng cách cố định này là bán kính hiệu dụng của sự va chạm. Nếu các hạt có dạng hình cầu thì bán kính là r_1, r_2 , sự va chạm xảy ra khi các hạt cách nhau một khoảng nhỏ hơn $r_1 + r_2$

$$\text{Khi đó: } \sigma = \pi(r_1 + r_2)^2$$

2. Khoảng cách trung bình

Khoảng cách trung bình của hạt xác định những khoảng cách của hạt giữa hai va chạm chia cho tổng số hạt đó

Thời gian va chạm càng lớn thì sự va chạm xảy ra càng nhiều, sự va chạm của các hạt xảy ra càng nhiều thì khoảng cách trung bình càng nhỏ, ngược lại khoảng cách trung bình phụ thuộc vào thời gian va chạm và mật độ của các hạt

$$\lambda = \frac{1}{N\sigma}$$

3. Tần số va chạm

Tần số va chạm là sự va chạm trong một đơn vị thời gian. Nếu hạt chuyển động với vận tốc v , thì tần số va chạm sẽ bằng:

$$\nu = vN\sigma = \frac{v}{\lambda}$$

4. Va chạm đàn hồi

Là va chạm không làm thay đổi tính chất của hạt, là va chạm mà trong đó các hạt tương tác chỉ làm thay đổi góc nhìn, đóng vai trò chủ yếu.

Chúng ta dùng khái niệm của nghiên cứu va chạm đàn hồi, vì lý thuyết của nó không áp dụng cho các mômen nguyên tử

nên chấp dụng lý thuyết cổ điển khi:

$$\left(\frac{h}{mv}\right)^2 \ll \sigma$$

V lý thuyết cổ điển ứng dụng trong trường hợp hạt va chạm l và tỉ lệ diện tích bề mặt tỉ lệ với v^{-2} .

Tán xạ đàn hồi của ion và ion

Va chạm đàn hồi giữa electron và phân tử hoặc nguyên tử là một trong những va chạm thường gặp nhất trong plasma

Xét 2 hạt tương tác với nhau

$$\text{nguyên tử toàn phần của hạt: } U = \frac{1}{2} m_r v_r'^2$$

v_r vận tốc tương đối của hai hạt trước va chạm

Tổng nguyên tử và thế năng

$$U_0 = \frac{1}{2} m_r v_r'^2 + \varphi(r)$$

$$U_0 = \frac{1}{2} m_r r'^2 + \varphi_{eff}$$

Khi $r' = 0$ thì

$$U_0 = \varphi(r) + \frac{P_0^2}{2m_r r^2}$$

$$\varphi(r) \sim \frac{1}{r} \text{ và } \varphi(r) \sim \frac{1}{r^2}$$

Góc lệch toàn phần có tính bằng công thức:

$$\chi = \pi - 2\theta_m$$

$$\text{Với } \theta_m = \int_{r_m}^{\infty} dr \frac{d\theta}{dr}$$

$$\chi = \pi - 2b \int_{r_m}^{\infty} \frac{\frac{dr}{r^2}}{\left\{1 - \frac{\varphi(r)}{U_0} - \frac{b^2}{r^2}\right\}^{\frac{1}{2}}}$$

b gọi là thông số va chạm

Ta có $\varphi(r) \sim r^n$

$$(\chi, v) \sim v^{-4/n}$$

Do $\sigma(\chi, v)$ tỉ lệ thuận với v^2 nên

$$\sigma(\chi, kv_0) = k^{-4/n} \sigma(\chi, v_0)$$

Suy ra $\sigma \sim \frac{1}{v}$

Vậy vận tốc chi u động tỉ lệ nghịch với vận tốc electron

5. Va chạm không đàn hồi

a) Va chạm không đàn hồi ion-ion

Là va chạm làm thay đổi tính chất của một hay nhiều hạt. Như vào sự va chạm không đàn hồi mà các quá trình như: sự ion hóa, sự kích thích, sự phân li, sự hóa học... có thể xảy ra

Trong va chạm không đàn hồi ion-ion khi kích thích hoặc ion hóa thì một phần năng lượng chuyển vào thành năng lượng khác

Theo định luật bảo toàn năng lượng

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2} + \Delta \epsilon$$

Theo định luật bảo toàn xung lượng

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

Ta nhận được $\Delta \epsilon = \frac{m_2}{m_1 + m_2} W_1 = \delta_H W_1$

δ_H là hệ số truyền năng lượng khi va chạm không đàn hồi

điều kiện để vận tốc truyền năng lượng trong va chạm đàn hồi là:

$$\delta_H W_1 \leq eV_i$$

Thời gian hạt bay trong vùng tương tác của trường nguyên tử: $\tau = \frac{b}{v_r}$

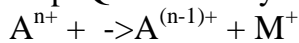
Thời gian chuyển động từ quỹ đạo này lên quỹ đạo khác, hoặc tách nó

ra khỏi nguyên tử $\tau' = \frac{h}{\Delta \epsilon}$

Trong va chạm không đàn hồi $\tau = \tau'$

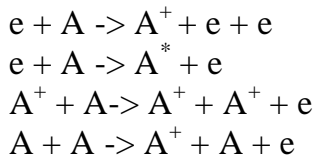
Sự chuyển ion tích của hạt

- Sự chuyển ion tích của hạt là sự truyền ion tích từ ion chuyển nhanh cho các nguyên tử chuyển chậm. Kết quả là ion có năng lượng cao có thể bị ion thành nguyên tử trung hòa, ion mới hình thành trong plasma có năng lượng thấp. Quá trình này đóng vai trò quan trọng trong plasma phân tử như



Theo sát chúng ta kết luận rằng cùng với tăng lên của vận tốc proton, lúc đầu thì tỉ lệ truyền ion tích tăng nhanh khi vận tốc proton tăng một giá trị nào đó thì tỉ lệ truyền ion tích giảm đi, và sau đó bắt đầu giảm nhanh. Vận tốc proton thì tỉ lệ truyền ion tích giảm dần như thể gọi là vận tốc truyền ion

* Sự kích thích



...

Khi va chạm vi mô trong, electron s gây ra s kích thích h t ó, nh v y h t có n ng l ng cao h n tr c khi va chạm

Nguyên t hay ion c kích thích thích có th chuy n v m c n ng l ng không kích thích nh h n, nh ó n ng l ng ánh sáng c phát x

* S ion hóa

Quá trình ion hóa là s tách electron kh i nguyên t ho c phân t khí, nó óng m t vai trò c bi t, thi u quá trình ion hóa thì không th có plasma

+plasma m c: s ion hóa ch t khí sinh ra do tác đ ng va chạm gi a các nguyên t ho c nguyên t trung hòa v i các electron

+plasma quá loãng: tác đ ng b c x c c ng n là nguyên nhân gây ra s ion hóa

b) Va chạm không àn h i lo i 2

- Khi va chạm th n ng c a h t kích thích chuy n qua h t khác đ i đ ng th n ng hay ng n ng, sau khi va chạm h t kích thích s tr v tr ng thái c b n. N u h t kích thích va chạm v i nguyên t s cung c p ng n ng cho i n t . N u va chạm v i nguyên t ho c ion thì chúng s b kích thích ho c ion hóa. Va chạm không àn h i lo i 2 làm s n sinh thêm h t nhanh trong plasma

-Va chạm không àn h i lo i 2 óng vai trò r t quan tr ng trong phóng i n khí ch y u là:

+ Hí u ng Penning : là hí u ng ion hóa nguyên t phân t khí t p ch t do va chạm lo i 2 v i nguyên t khí siêu b n c b n. Là ph ng pháp làm gi m th cháy, th m i phóng i n

+ D p t t khí siêu b n: khi m c n ng l ng khí siêu b n c b n n m r t g n m c n ng l ng kích thích c a nguyên t t p ch t, nguyên t khí siêu b n c b n s m t n ng l ng c a mình và không nh h ng lên phóng i n. Là ph ng pháp làm t ng th cháy, th m i phóng i n ho c làm gi m th i gian kh ion hóa c a phóng i n n

+ Thành l p môi tr ng o l n c a laser khí: s truy n kích thích do va chạm không àn h i lo i 2 gi a các h t khí c b n thành l p m t o l n c a laser khí

V. S tái h p

- Là quá trình k t h p ion v i electron thành nguyên t ho c phân t trung hòa. Quá trình này c coi là quá trình ng c v i quá trình ion hóa. Khi tái h p n i n ng toàn ph n c a h gi m. Vì v y quá trình có th x y ra v i ng n ng c a h t t ng tác nh b t kì, xác su t tái h p l n nh t khi chuy n ng c a các h t là ch m nh t. N ng l ng th a có th gi i phóng đ i các đ ng khác nhau: b c x i n t , kích thích, chuy n sang h t th ba, t ng ng n ng c a các h t trung h òa m i thành l p. Trong tr ng h p tái h p ion nguyên t , n ng l ng th a chính là n ng l ng c n thi t tách ion âm và ion đ ng ra kh i nguyên t

- S tái h p óng vai trò quan tr ñng trong môi tr ñng plasma áp su t l ñn có 4 đ ñng tái h p
- + Tái h p kèm theo b c x : s tái h p tr c ti p c a electron t do v i ion d ñng, nh ó n ñng l ñng đ th a c a electron c b c x đ i đ ñng l ñng t , quá trình này không óng vai trò quan tr ñng trong plasma
- + Tái h p v i kích thích hai l ñn : s tái h p này x y ra khi ion d ñng tác ñng ñng th i vào 2 electron. Khi ó ion d ñng trung hòa v i l trong 2 electron, còn electron kia thu n ñng l ñng ion hóa t a ra trong quá trình ó bay ra kh i v i v n t c l ñn h ñn. Quá trình này x y ra khi m t electron trong plasma khá cao
- + Tái h p do va ch m ba h t: nh h t th ba mang n ñng l ñng th a ñn quá trình tái h p x y ra khá hi u đ ñng
- + Tái h p phân ly: Khi va ch m v i i n t , ion d ñng không chuy ñn m c có kèm b c x ,mà b r i vào tr ñng thái không b n v ñng r i b phân ly, trong quá tr ñnh này h s tái h p r t l ñn