

قشرة ديبياي :

أن أكثر الخصائص المهمة في البلازما هو قشرة ديبياي لكل شحنة مقابل سحابة من الجسيمات المشحونة المتعاكسة الذي يتمثل بجهد ديبياي الناتج من ايون موجب في البلازما محاطا بالالكترونات ، أن البلازما المتعادلة عينياً يسبب تساوي عدد الايونات الموجبة والسالبة هي ليست بالضرورة خالية من المجالات الكهربائية الموضعية داخل البلازما والناتجة عن تواجد الايونات والالكترونات وأن لهذه المجالات مدياتها أقل بكثير من مدى جهد كولوم للشحنات المستقرة ولمعرفة المدى الذي يكون خلاله الجهد الكهربائي للشحنة مؤثراً داخل البلازما فأننا سوف نختار جسم مشحون معين والمجال الكهربائي الناتج عن هذا الايون سوف يؤدي إلى تفريغ الشحنات الموجبة في منطقة المجال المحيط به وذلك بسبب تنافر الايون مع الشحنات الموجبة الأخرى المتواجدة في البلازما من جهة الجاذبية مع الالكترونات السالبة من جهة أخرى . ولهذا يحدد بقياس خاص يدعى بطول ديبياي (λ_D) ويخمن في اتجاه واحد هو (λ) بواسطة تكافئ الجهد على الشحنة المنفصلة :

$$E_P = e\phi(\lambda_D) \quad \text{----- (1-1)}$$

لأعلى مسافة حجب (λ_D) مع طاقة حركية للجسم ($2K_B T/1$) ، وفي تقريبات المجال الكهربائي $E(x)$ لبلازما الهيدروجين كمثال ($n=n_i=n_e$) نحصل على :

$$\nabla \cdot E = Q/\epsilon_o = ne/\epsilon_o \approx E_{(x)}/x \quad \text{----- (2-1)}$$

وعليه فأن محصلة الطاقة الكامنة (Potential energy) تكون :

$$E_P = e\phi(\lambda_D) = e \int_0^{\lambda_D} E_{(x)} dx = ne^2 \lambda_D^2 / (2\epsilon_o) \quad \text{----- (3-1)}$$

ونستنتج أن

$$\lambda_D = \left(\frac{\epsilon_o K_B T}{ne^2} \right)^{1/2} \quad \text{----- (4-1)}$$

ومن الحلول معادلة بوسن (Poisson's equation)

$$\Delta\phi = \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{d\phi}{dr} \right) = \lambda_D^{-2} \phi \quad \text{----- (5-1)}$$

تعطي طول ديبياي الكلي

$$\lambda_D^{-2} = \lambda_{De}^{-2} + \lambda_{Di}^2 \quad \text{----- (6-1)}$$

تعوض قيم طول ديبياي للإلكترونات والايونات بالصيغة التالية :

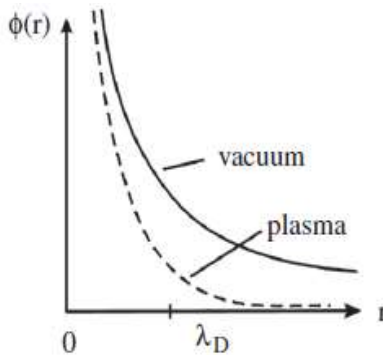
$$\lambda_{De,i} = \left(\frac{\epsilon_0 K_B T_{e,i}}{n_{e,i} e^2} \right)^{1/2} \quad \text{----- (7-1)}$$

وتوزيع الجهد يكون

$$\phi(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r} \exp\left(-\frac{r}{\lambda_D}\right) \quad \text{----- (8-1)}$$

ويمكن توضيح المعادلة أعلاه في شكل رقم (2-1) ويوضح الخط المنقط جهد كولوم لكل شحنة (q) من الجسم في البلازما ، وعليه فإن البلازما تكون شبه متعادلة ، لذلك فإن القياس المجهرى لتأثير البلازما (L) يكون $L \gg \lambda_D$ عندما تظهر البلازما طبيعية (تدعى البلازما الغير طبيعية عندما تحتوي على مجالات كهرومغناطيسية متقاطعة مع الجسيمات شبه المتعادلة) .

أما الخط المستمر يمثل توزيع الجهد للجسيمات المشحونة في الفراغ .



شكل رقم (2-1) يمثل توزيع الجهد للجسم مشحون في الفراغ (الخط المستمر) والبلازما (بالخط المنقط)

1 - 6 عامل البلازما : The plasma parameter

إن عامل البلازما N_D يوضح عدد الجسيمات في كرة ديبي، ويمكن تشبيهه شحنة الايون الأحادي في البلازما بذرة الهيدروجين ($n=n_i=n_e$) و N_D تعطى بما يلي :

$$N_D = \frac{4}{3} \pi n \lambda_D^3 \quad \text{----- (9-1)}$$

$$\lambda_{De,i} = \left(\frac{\epsilon_0 K_B T_{e,i}}{n e^2} \right)^{1/2} \quad \text{----- (10-1) مع}$$

ويمكن تطبيق مسافة الجسيم (لنصف قطر ويكنر يستيز Wigner – Seitz) والذي يتمثل :

$$a = (4\pi n/3)^{-1/3} \quad \text{----- (11-1)}$$

$$N_D = \left(\frac{\lambda_D}{a} \right)^3 \quad \text{----- (12-1)}$$

ويمكن أظهار مخطط عامل البلازما في أنواع أبلازما بشكل رقم (3-1) وتوضح الخطوط الثابتة لقيمة نصف القطر ديبي λ_D والخطوط المنقطة هي عامل البلازما N_D .

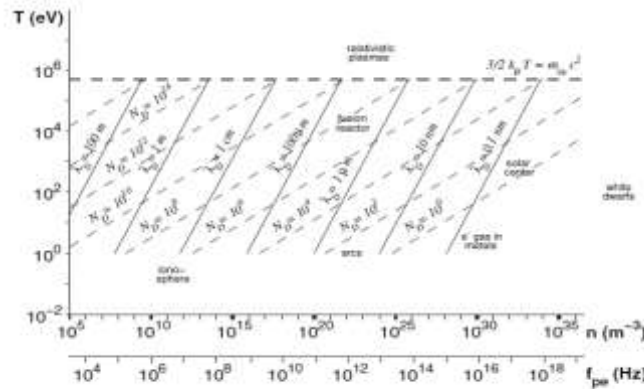


Fig. 1.4. Lines of constant Debye length λ_D and plasma parameter N_D , respectively, in the diagram of typical plasmas

(الخطوط الثابتة لطول ديبي λ_D مع عامل البلازما N_D للخطوط المنقطة لأنواع مختلفة من البلازما)

7-1 وجود البلازما و معادلة ساهي: Suha equation

أن الالكترونات في الذرة ترتبط بقوة مع النواة ومع بعضها البعض نسبة إلى الكثافة العليا للبلازما ، وتنفصل بقوة عن بعضها البعض بسبب السرعة العالية للجسيمات الحارة . وبواسطة التمثيل الضوئي أو التوزيع الكهربائي تتحطم خواص البلازما انتهائها .

أن البلازما هي أكثر الحالات السائدة في الكون من حيث الحجم والكتلة فكل النجوم عبارة عن بلازما وحتى الفضاء الموجود بين النجوم مملوء بالبلازما ، وتم تقدير حسابات المواد التي ليست بحالة البلازما في المنظومة الشمسية وكوكب المشتري هي بحوالي 5.1% من الكتلة و (1.0–15.0) % من الحجم ضمن مدار الكوكب بلوتو .

أن وجود البلازما بشكل طبيعي على سطح الكرة الأرضية يقتصر على عملية تأين جزيئات الهواء المحيطة بالكرة الأرضية والناتج عن سقوط الأشعة فوق البنفسجية على الطبقة الهوائية المحيطة بالأرض كما يحدث في منطقة الايونسفير ، أما على سطح الأرض فلا يمكن أن تتواجد البلازما إلا في المختبرات أو الحبرات الصناعية . وفي حالة التوازن الحراري (Thermal equilibrium) يمكننا إيجاد نسبة التأين المتوقعة في الغازات وذلك باستخدام معادلة ساهي وكما توضحه المعادلة التالية :

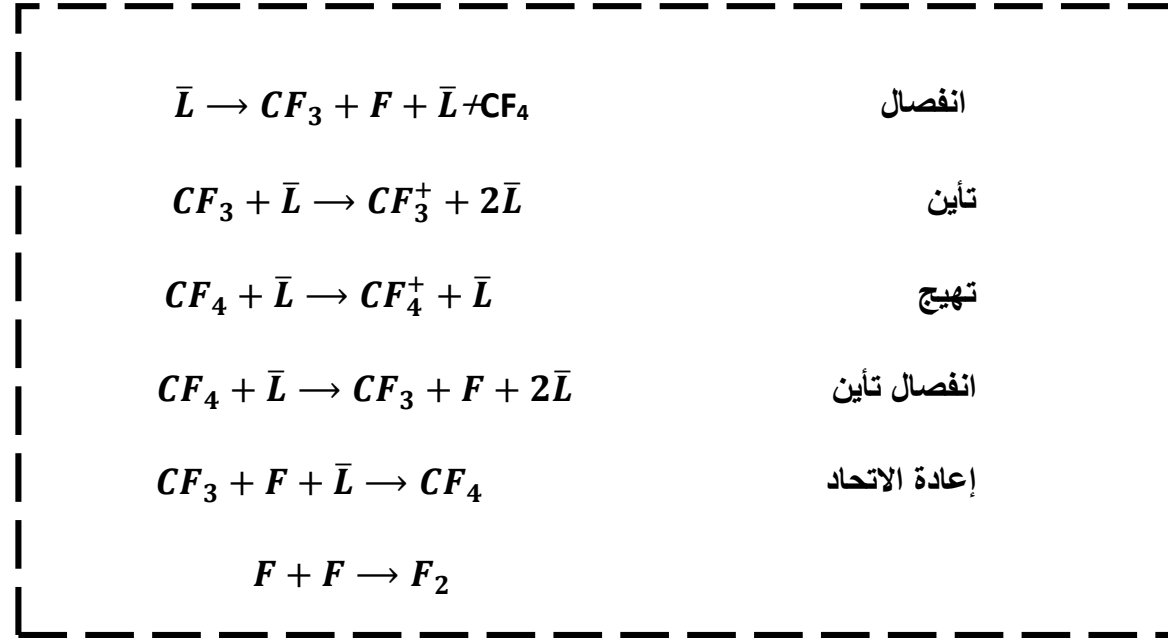
$$\frac{N_i}{N_n} \approx 2.4 \times 10^{12} \frac{T^{3/2}}{N_i} e^{-V_i/KT} \text{----- (13-1)}$$

أن معادلة ساهي فيزيائياً تعني أن ذرات الغاز تمتلك طاقات حرارية منفصلة وعندما تكون هذه الطاقات قليلة فإن التصادمات الطاقية (Energetic Collision) سوف تكون نادرة الحدوث لأن الذرة يجب أن تكون معجلة الطاقة أعلى من معدل طاقة التأين بواسطة التصادمات ، أما عندما تكون الطاقات الحرارية عالية فإن الذرة تتأين عند تصادمها مع الالكترونات طاقة عالية . والجزء الأسّي $e^{iv_i/KT}$ يوضح أن عدد الذرات ذات السرعة العالية تهبط أسياً مع (K_i/V_i) وأن الذرة المتباعدة تبقى مشحونة حتى تلتقي مع الالكترونات وتعيد اتحادها معه لتصبح متعادلة مرة أخرى ، أن معدل إعادة الاتحاد (Recombination Rate) يكون معتمداً على كثافة الالكترونات التي يمكن جعلها مساوية لـ (N_i) لذلك فإن تعادل كثافة الايون سوف يقل مع N_i .

مما تقدم فإن معادلة ساهي تبين أن ارتفاع درجة حرارة الغاز تؤدي إلى زيادة كثافة الجسيمات المتأينة وبعد أن يتجاوز درجة الحرارة لطاقة التأين تسمى في هذه الحالة البلازما ، وقد تكون هذه البلازما ضعيفة أو

جزئية أو كاملة التأين اعتماداً على (Ni) (كثافة الجسيمات المتأينة) . ولتوليد البلازما مختبرياً نقوم بتسليط فرق جهد على غاز تحت ضغط معين بحيث تكون الطاقة كافية لإثارة (excecition) ذرات الغاز و بزيادة الطاقة يزداد تهيج الجسيمات الذرية أو الجزيئية .

ويحصل انفصال لجزيئه الغاز فيؤدي إلى حدوث عملية التأين ولكي تبقى البلازما في حالة شبه مستقرة تنتج عملية إعادة الاتحاد (Recombination) بين الجسيمات المشحونة والمتعادلة حيث تتكون أزواج أيون – إلكترون بشكل مستمر ، وبواسطة عمليات الانفصال والاتحاد لعملية التأين . والشكل رقم (4-1) يوضح مثال على هذه العمليات .



الشكل رقم (4-1) يوضح العمليات التي تحدث داخل محيط البلازما CF_4 .

8-1 شروط البلازما :

أن البلازما هو غاز شبه متعادل بالنسبة للجسيمات المتعادلة والمشحونة والتي تظهر بسلوك جماعي ، وشبه متعادل يعني أن عدد الايونات والالكترونات متساوية تقريباً غير أن القوى الالكترونية المغناطيسية تبقى خارجاً أو ليس من الضروري أن يكون كل غاز متأين هو بلازما إلا بعد توفر الشروط الآتية :

1- أن يكون طول ديبياي صغيراً جداً عند مقارنته بطول المنظومة أي $\lambda_D \ll L$

2- أن يكون عدد الجسيمات في كرة ديباي أكبر بكثير من الواحد ($N_D \gg 1$)

N_D : هي كرة ديباي التي يكون نصف قطرها مساوياً إلى طول ديباي والتي تحجب المجالات الالكتروستاتيكية التي تنشأ خارجها وعن الجسيمات المشحونة ويمكن حسابها من العلاقات الآتية :

$$N_D = (3/4)\pi n \lambda_D^3 \quad \text{----- (14-1)}$$

3- أن يكون تردد البلازما أكبر من تردد التصادمات بين الالكترونات والدقائق المتعادلة

$$w_p = \left[\frac{n_e e^2}{m \epsilon_0} \right]^{1/2} \text{ rad/sec} \quad \text{----- (15-1)}$$

ولكي تتحقق حالة البلازما يجب أن تكون :

$$\tilde{L} : \text{ زمن تصادم الجسيمات لبلازما } \tilde{L} > 1$$

وهذا يعني أن تردد البلازما المشحونة والمتعادلة أعلى من تردد التصادم والذي يمنع اضمحلال السلوك الجماعي .

9-1 أنواع البلازما:

a- البلازما الباردة (Cold Plasma)

وهي غالباً ما تكون متأينة (غير تامة التأين) تتراوح درجة حرارتها بين عدة مئات إلى عدة آلاف أو عشرات الآلاف من الدرجات المئوية ويطلق عليها (التفريغ الغازي الأيوني) وأن مقياس درجة الحرارة هو (إلكترون – فولت) وتقابل تلك البلازما طاقة حركية مقدارها (1ev) ، ويمكن وجودها في فضاء بين النجوم والفراغات العالية .

b- البلازما الحارة (Hot Plasma)

وتتصف بأنها تامة التأين وتمثل الوسط الأساسي الذي يمكن أن يحدث فيه تفاعلات الاندماج النووي والانفصال مثال على ذلك منظومة التوكوماك (Tokmak) وتتراوح درجة حرارتها بين عدة مئات وملايين الدرجات الحرارية وبطاقة حركية بحدود (10Mev) وعند الوصول إلى بضع من المئات (إلكترون – فولت) لا

يمكن احتواء تلك البلازما بأي نوع من الجدران والتي لا تستطيع أن تقاوم الدرجات الحرارية العالية وتتم معالجتها بواسطة احتواءها بمجالات مغناطيسية وحصرها ضمن خطوط المجال بصورة حلزونية وموجه بمسارات حسابية بحيث لا تتصادم جسيمات بلازما الحادة مع بعضها وبجسيمات أخرى .

أن المكون الرئيسي للشمس و النجوم المضائه من البروتونات والنيوترونات والالكترونات المتفاعلة من البلازما الساخنة . ويمكن أن يلتصق بروتون مع إلكترون مكوناً ذرة الهيدروجين أو قد يساهم مع نيوترون فتتشكل ذرة ديتيريوم وهو النظير الأول للهيدروجين ، ويمكن أن تتفاعل ذرة ديتيريوم مع أخرى لتشكيل ذرة الهليوم .

ويمكن أن تظهر نواتج أخرى في حالة الاندماج العالية مثل تكون ذرة التريتيوم وهو ناتج من اندماج نيوترونين مع بروتون لنظير الهيدروجين ، وأغلب ما تجري هذه التفاعلات النووية في داخل الشمس والتي تشكل مصدر من مصادر الطاقة العظمى (الطاقة الناتجة من تغيرات الكتلة نتيجة التفاعلات النووية تساوي التغير في الكتلة مضروباً بمربع سرعة الضوء) ، وقد يكون هذا التغير كبير فيكافئ جسيماً جديداً ينتج عن التفاعل (مثلاً بروتون أو إلكترون أو نيوترون) وقد يكون صغيراً فيصدر على هيئة أشعاع كهرومغناطيسي .

ومن خلال ذلك يمكن إنتاج بلازما شديدة البرودة باستخدام الليزر لإمسك وتبريد الذرات المحايدة إلى درجة حرارة (1 ملي كلفن) أو أقل وليزر أخر يأتي الذرات بواسطة إعطاء الالكترونات إلا بعد إعطاء طاقة كافية للخروج من محلها الذري .

ويمكن أن تتصف البلازما شديدة البرودة بما يلي :

1- تكون معالجة لتنظيم الذرات بدقة بواسطة الليزر .

2- السيطرة على الطاقة الحركية الالكترونية المتحررة باستخدام ليزر نبضي معين .

1- أنتاج طاقة الكترونية بدرجة حرارة قليلة نسبياً . فالأيون يحافظ على درجة حرارة تساوي (1

ملي كلفن) في الذرة المحايدة وهذا النوع من البلازما ينشأ بسرعة .