مفهوم درجة حرارة البلازما

تعتبر درجة الحرارة من المفاهيم الفيزيائية المهمة في دراسة البلازما . ان اي غاز في حالة التوازن الحراري تكون الجزيئات او الذرات في سرع مختلفة وفي كل الاتجاهات وان اقرب توزيع لهذه السرع ممثله بأعداد الجسيمات يمكن التعبير عنه بتوزيع ماكسويل في فضاء ثلاثي الابعاد اي بثلاث محاور . نفرض ان حركة الغاز بمستوى واحد و ربما هذا الافتراض ليس صحيحا بالنسبة للغاز ولكن يمكن افتراضه على البلازما باعتبار وجودها في مجال مغناطيسي يجعلها تتحرك بمستوى واحد حيث يستطيع هذا المجال جعل حركة الالكترونات والايونات الموجبة بمستوى واحد يعطى توزيع ماكسويل في بعد واحد بالمعادلة التالية:.

$$f(u) = A\exp\left[\frac{-\frac{1}{2}mu^2}{KT}\right] \qquad \ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث ان:

$f(u)\ du$ تمثل عدد الجسيمات في المتر المكعب الواحد و التي سرعتها تتراوح بين$(u \to u + \Delta u)$.

$\frac{1}{2}mu^2$ تمثل الطاقة الحركية للجسيمات ، K ثابت بولتزمان.

A : كمية ثابتة تسمى عمق التوزيع و تحددها درجة الحرارة .

m : كتلة الالكترون $(m = 0.91\times10^{-27}g)$.

ويمكن حساب الطاقة الحركية للجسيمات في البلازما من خلال :

E= ½ m v^2 ..... (2)

حيث:

- E : E: هو الطاقة الحركية (بالجول)
- m : هو كتلة الجسيم,
- v: هو سرعة الجسيم.

س\ لو وضع الكترون e بين لوحين وسلط عليه (1 فولت) كم سيكتسب طاقة ?

KT = 1 e.V

$$\therefore T = \frac{1.6 \times 10^{-19}\ J}{1.38 \times 10^{-23}\ J/K^{\circ}} = 11600\ \ K^{\circ}$$

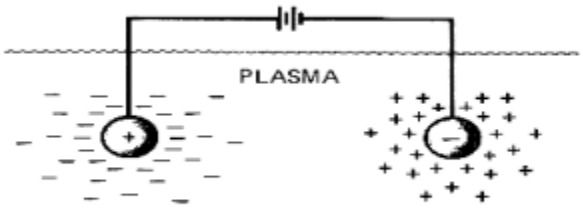
غلاف ديباي Debye shielding

يمكن للبلازما الغاء اي جهد كهربائي مسلط عليها وتجمعه في منطقة صغيرة تسمى غلاف ديباي حيث يمثل معدل المسافة التي يقع فيها تاثير المجال الكهربائي لجسيم مشحون وهذا يعني ان الجسيمات المشحونة تترتب بحيث تلغي اي مجال كهروستاتيكي خارجي ضمن مسافة تعادل طول ديباي

ونوضح ذلك عندما تكون البلازما مشحونة وتتعرض لمجال كهربائي خارجي، فإن الجسيمات المشحونة (الإلكترونات والأيونات) تعيد ترتيب نفسها بحيث تعاكس المجال الخارجي وتلغيه. هذا التأثير يحدث ضمن مسافة معينة تُعرف باسم "طول ديباي". طول ديباي هو المسافة التي يُعتبر عندها المجال الكهربائي الناتج عن جسيم مشحون في البلازما ضعيفًا جدًا بحيث يكون تأثيره ضئيلًا على الجسيمات الأخرى.

يمكن ملاحظة طول ديباي عندما نقوم بتسخين قطعة من الحديد على النار فعندما تصبح هذه القطعة حمراء بسبب التسخين فسوف نلاحظ منطقة عديمة اللون تقع بين النار والقطعة الحديدية وهذه المنطقة تسمى طول ديباي

عند وضع مجال كهربائي من خلال امرار تيار كهربائي داخل البلازما وذلك من خلال ادخال كرتين مشحونتين احدهما موجبة والاخرى سالبة مربوطتين ببطارية كما موضح بالشكل اعلاه , حيث ان كل من الكرتين ستجذب الشحنات المضادة لها مكونة سحابة من الايونات الموجبة تحيط بالكرة السالبة وسحابة من الالكترونات تحيط بالكرة الموجبة حيث انها سوف تشكل طبقة عازلة بحيث تبقى البلازما بمأمن من الجهد الكهربائي بين الكرتين وبالتالي تلغي اي مجال كهربائي يمكن ان يحدث بين الكرتين



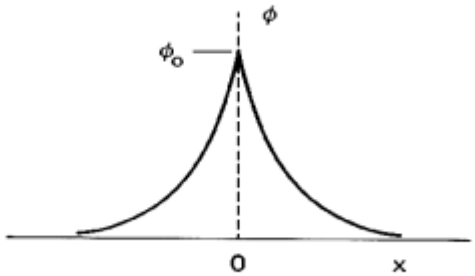
Debye shielding.

وعند وضع اقطاب مشحونة كهروستاتيكية (كهربائية مستقرة) فان الالكترونات تتجمع حول القطب الموجب والايونات تتجمع حول القطب السالب لإلغاء المجال المطبق

كذلك عند وضع قطعة سلك موصل في البلازما فان عدد كبير من الالكترونات يصطدم بهذا الموصل ويجعله سالبا حيث ان عدد الالكترونات المصطدمة به اكبر من عدد الايونات بسبب صغر كتلة الالكترون وبذلك نتوقع تكوين غلاف سالب حول الموصل يعتمد سمك هذا الغلاف على كثافة الالكترونات ودرجة حرارتها .

حساب سمك ديباي

ان الجهد عندما $x=0$ اعلى مايمكن والمطلوب هنا ايجاد دالة لتغير هذا الجهد مع المسافة x :



Potential distribution near a grid in a plasma.

ويمكن كتابة معادلة بوازن في بعد واحد :

$$\nabla^2\phi = \frac{d^2\phi}{dx^2} = -4\pi e(n_i - n_e)$$

ni : عدد الايونات

ne:عدد الالكترونات

وتعتبر هذه المعادلة صحيحة عندما يكون هنالك فرق بين عدد الالكترونات وعدد الايونات داخل الغلاف حيث تمثل توزيع الشحنات الكهربائية على الجهد الكهربائي وان الاختلاف بين عدد الايونات وعدد الالكترونات يعبر عن توزيع غير متوازن في منطقة معينة وهذا مايؤدي الى تغيرات في الجهد . اما في البلازما فان

.ni= ne= n∞

ان كثافة الايونات الموجبة لا تتأثر فهي نفس كثافة البلازما خارج الغلاف حيث ان :

ni =n∞

اما كثافة الالكترونات داخل الغلاف فهي اكثر ولكنها مساوية لكثافة البلازما عند حافة الغلاف اي عندما يكون الجهد صفر

$$n_e(\phi \Rightarrow 0) = n_\infty$$

بوجود الجهد الكهربائي φ لاي نقطة تقع ضمن الغلاف يعني ان الالكترون سوف يكون له جهد طاقة مضافة الى الطاقة الموضعية الاصلية , ان مقدار الطاقة المضافة تساوي ($q\varphi$) وعليه يكون توزيع ماكسويل للإلكترونات داخل الغلاف بالشكل التالي:

هذه دالة توزيع الألكترونات التي لم تدخل الغلاف

$$f(u) = A \exp -\left(\tfrac{1}{2} mu^2 \Big/ KT \right)$$

هذه دالة توزيع الألكترونات التي تدخل الغلاف حيث ستكتسب طاقة اضافية

$$f(u) = A\exp-\left(\tfrac{1}{2} mu^2 + q\phi \Big/ KT \right)$$

بالتكامل لاستخراج الكثافة لهذه الالكترونات

$$n = \int A \exp -\tfrac{1}{2} mu^2 + q\phi \Big/ KT$$

$$\therefore n_e = n_\infty \exp \frac{e\phi}{KT}$$

بالتعويض

$$\nabla^2 \Phi = \frac{d^2\Phi}{dx^2} = -4\pi e(n_i - n_e) = -4\pi e\left(n_\infty - n_\infty \exp \frac{e\phi}{KT} \right)$$

Using Taylor expansion when eØ / KT << 1 in the sheath

$$\Rightarrow \qquad \left(\exp \frac{e\phi}{KT} - 1 \right) \approx e\phi \Big/ KT$$

$$\therefore \nabla^2 \phi = 4\pi e n_\infty \frac{e\phi}{KT}$$

لنفرض ان مجموعة الثوابت تساوي λ_D وكما يلي

$$\lambda_D = \left(\frac{KT_e}{4\pi e^2 n} \right)^{\frac{1}{2}}$$

ان لهذه المادلة حل عام وكما يلي

$$\therefore \nabla^2 \phi = \frac{\phi}{\lambda_D^2} \Rightarrow \phi = \phi_\circ \exp\left(-\frac{|X^2|}{\lambda_D^2} \right)$$

وهذا يعني ان المسافة التي يكون فيها الجهد يساوي صفرا تقع على بعد λ_D وهي تمثل طول ديباي

$$\lambda_D = \left(\frac{KT_e}{4\pi e^2 n}\right)^{\frac{1}{2}}$$

ملاحظة : عندما تكون البلازما الكثيفة غنية بالالكترونات فانها تستطيع القضاء على الجهد بمسافة اقل , بزيادة الكثافة يقل طول ديباي وهذا يعني بزيادة الكثافة تكون طبقات البلازما غنية بالالكترونات وباستطاعتها القضاء على المجال الكهربائي بمسافة اقل .

ويزداد طول ديباي بزيادة درجة حرارة الالكترونات التي لها طاقة كبيرة تحتاج الى مسافة كبيرة نسبيا للتغلب على الجهد الذي تصنعه ولحساب طول ديباي تستخدم درجة حرارة الالكترونات وليس الايونات وذلك لان الالكترونات لها كتلة اقل من الايونات ايضا لها القابلية على الحركة اكبر من الايونات ولذلك يحسب طول ديباي على اساس الالكترونات وليس الايونات .

كرة ديباي

يمكن ان تعرف كرة ديباي على انها كرة نصف قطرها طول ديباي وحجمها هو

$$\frac{4}{3}\pi\left(\frac{KT_e}{4\pi e^2 n}\right)^{\frac{3}{2}}$$

عدد ديباى

N_Dهو عدد الجسيمات الموجودة في كرة ديباي ويرمز_له

$$N_D = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{KT_e}{4\pi e^2 n}\right)^{\frac{3}{2}} n$$

$$\therefore N_D = 1.38\times10^6 \frac{T^{3/2}}{n^{1/2}} \qquad \text{T in K}^\circ \text{ , n in m}^{-3}$$

س: لماذا تُعتبر البلازما هي المادة الوحيدة التي تحتوي على عدة درجات حرارة بنفس الوقت ؟

س: لماذا أنابيب الفلورسنت ليست ساخنة على الرغم من إنها تمتلك درجات حرارية عالية ؟