كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : فيزياء البلازما

المحاضرة : الثانية/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2025

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

درجة حرارة البلازما plasma temperature

نفرض أن غاز في حالة توازن ترموديناميكي (حرارة مركبة) يحتوي على جزيئات (أو ذرات) مختلفة السرعات، وتكون التوزيع الأكثر احتمالاً الذي يصف هذه السرعات هو توزيع ماكسويل.

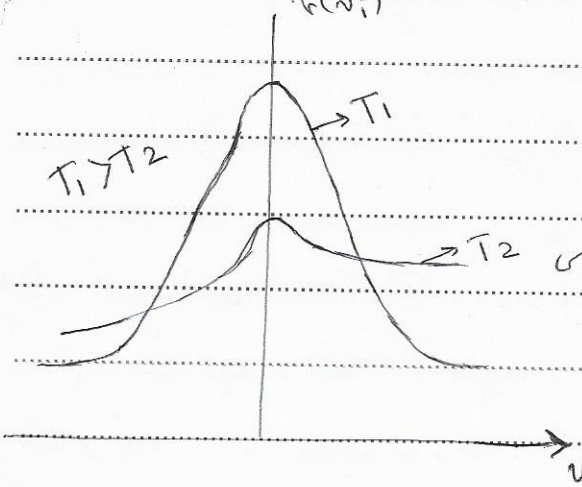
* يعطى تابع توزيع ماكسويل في بعد واحد بالصيغة

$$f(v_i) = n\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{1}{2}} \exp\left(\frac{-\frac{1}{2}mv_i^2}{kT}\right) \quad \ldots (1) \quad = A\, e^{-\frac{\frac{1}{2}mv_i^2}{kT}}$$

حيث أن $A = n\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{1/2}$ يسمى عوامل التوزيع أو ثابت المعايرة أو ثابت التوزيع

ويمثل $f(v_i)\,dv_i$ عدد الجسيمات في المتر المكعب (كثافة) والتي سرعتها تتراوح بين v_i و $v_i + dv_i$ وأن $\frac{1}{2}mv_i^2$ الطاقة الحركية للجسم.

وبالتالي: فإن كثافة الجسيمات يتم الحصول عليها (عدد الجسيمات في واحدة الحجم) من تكامل تابع التوزيع $\quad \ldots (2) \quad n = \int_0^\infty f(v_i)\,dv_i$ ويوصف عرض التوزيع بوساطة العامل T (درجة حرارة البلازما (حرارة مطلقة))



لاحظ الشكل:

يمكن حساب الطاقة الحركية الحادية الوسطى في درجة حرارية واحدة

بالعلاقة $\langle E \rangle = \frac{1}{2}kT$

ويمكن إثبات ذلك كما يلي:

تتعلق T بمعدل الطاقة الحركية (متوسط الطاقة الحركية E_{av} أو $\bar{E}$) بالعلاقة

$$E_{av} = \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{1}{2} m v_i^2\right) f(v_i)\, dv_i \quad \cdots (3)$$

وتعرف السرعة الجذرية: (هي السرعة الموزونية للحركة الجزيئية التي تشكل البلازما أو غاز أو ...) أو بصيغة أخرى: هي مقياس لسرعة الجزيء وتجتمع عرف القيمة في توزيع ماكسويل، كالتالي:

$$E_{th} = \frac{1}{2} m v_{th}^2 = kT \quad \cdots (4)$$

بالتعويض من (4) في (1) نجد:

$$f(v_i) = A e^{-\frac{v_i^2}{v_{th}^2}} \quad \cdots (5)$$

بالتعويض في (3) وبفرض أن

$$E_{av} = \frac{\frac{1}{2} m v_{th}^2 \int_{-\infty}^{\infty} y^2 \cdot e^{-y^2} dy}{\int_{-\infty}^{\infty} e^{-y^2} dy} \quad \cdots (**)$$

نكامل البسط بطريقة التجزئة:

$$\int_{-\infty}^{\infty} y^2 e^{-y^2} dy = \int_{-\infty}^{\infty} y \cdot e^{-y^2} y\, dy = u.v\Big|_{-\infty}^{\infty} - \int_{-\infty}^{\infty} v\, du \quad ; \quad v = -\frac{1}{2} e^{-y^2}$$

$$= u.v\Big|_{-\infty}^{\infty} + \frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\infty} e^{-y^2} dy = -\frac{1}{2} y e^{-y^2}\Big|_{-\infty}^{\infty} + \frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\infty} e^{+y^2} dy$$

$$\Rightarrow \int_{-\infty}^{\infty} y^2 e^{-y^2} dy = \frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\infty} e^{-y^2} dy \quad \cdots (6)$$

وبالتالي وفق (**)

$$\Rightarrow E_{av} = \frac{1}{4} m v_{th}^2 \quad \cdots (7)$$

بالاستفادة من تعريف السرعة الجذرية العلاقة (4) نجد

$$\frac{1}{2} m v_{th}^2 = kT$$

$$\Rightarrow \boxed{E_{av} = \frac{1}{2} kT}$$

وهو متوسط الطاقة الحركية في بعد واحد

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

ملاحظة: ① يعطى متوسط الطاقة الحركية في ثلاثة أبعاد بالعلاقة الآتية

$$E_{av} = \frac{3}{2}kT$$

② علماً أن T ترتبط ارتباطاً وثيقاً بـ E_{av} وفق $E_{av} = \frac{1}{2}kT$ من الشائع في فيزياء البلازما التعبير عن درجة الحرارة بواحدات الطاقة

$$2E_{av} = kT = 1eV = 1.6\times10^{-19}\ J$$

$$\Rightarrow T = \frac{1.6\times10^{-19}\ J}{1.38\times10^{-23}\ J/K} = 11600\ K^{\circ}$$

وهذا يعني أن $1eV \Leftrightarrow 11600\ K^{\circ}$

$$2eV = kT \Rightarrow E_{av} = 3eV$$

سؤال: ما هو تابع التوزع الذي يصف لنا جسيمات البلازما؟ تابع ماكسويل

① يفرض أن الطاقة الحركية المتوسطة للجسيمات في البلازما تعطى بالعلاقة التالية

علاقة ③:

$$E_{av} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty}\left(\frac{1}{2}mv_i^2\right)f(v_i)\,dv_i}{\int_{-\infty}^{\infty}f(v_i)\,dv_i}$$

وإن السرعة الحرارية تعرف بالعلاقة:

$$\frac{1}{2}mv_{th}^2 = kT$$

سؤال: فسر أن البلازما هي المادة الوحيدة التي تحتوي على عدة درجات حرارة في نفس الوقت؟

لأن لكل من الأيونات والإلكترونات درجات حرارة مختلفة T_i و T_e وكذلك عند تطبيق حقل مغناطيسي على البلازما يكون للإلكترونات الحركة الحرة للحقل المغناطيسي ويطبق عليها درجات حرارة مختلفة وكذلك الأيونات أي يوجد $T_{e\perp}$ و $T_{e\parallel}$ وكذلك $T_{i\parallel}$ و $T_{i\perp}$

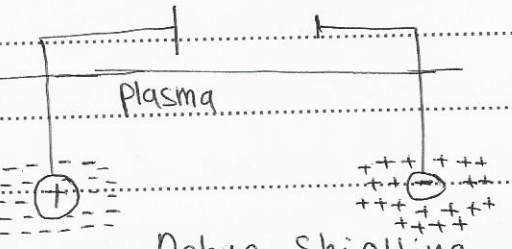
TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

غلاف ديباي أو رقم قطر ديباي Debye shielding

من الميزات الأساسية للبلازما هي قدرتها على إخفاء أي جهد كهربائي يطبق عليها من الخارج فتحصر في منطقة صغيرة (كرة) يسمى الغلاف ديباي وتعرف ((بعد المسافة التي يقع فيها تأثير المجال الكهربائي طبيعي مسكون داخل البلازما))

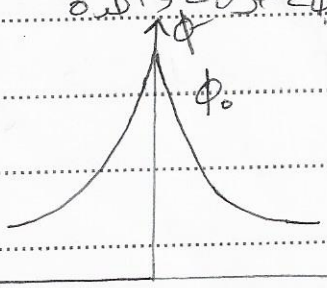
وأن الجسيمات داخل كرة ديباي لا تتوسط بلازما أما خارجها تتوسط بلازما

ويمكن توضيح غلاف ديباي من خلال تطبيق مجال كهربائي وذلك بإمرار تيار كهربائي داخل البلازما وذلك بإدخال كرتين مشحونتين إحداهما موجبة والأخرى سالبة موصولتين ببطارية كما هو موضح بالشكل ، حيث أن كلا من الكرتين تبدأ السخانات المعاكسة (أيونات سحابة إلكترونات) تحيط بالكرة الموجبة و سوف تشكل طبقة عازلة كبيرة تمنع البلازما من التأثير بأي مجال كهربائي (المجال الكهربائي) بين الكرتين ، وبالتالي تلغي أي مجال كهربائي حيث بين الكرتين.



لتبسيط تقريب حماكة غلاف ديباي (نصف قطر ديباي) لأي من الجسيمات

* نفرض أن قيمة الجهد عند المستوى $x=0$ هي ϕ_0 (جهد الكون) وحسب تابو تغير هذا الجهد مع المسافة x ، إذا فرضنا أن الأيونات لا تتحرك والإلكترونات فقط هي التي تتحرك يكون حسابه من معادلة بواسون في درجة حرية واحدة بالصيغة التالية:



$$\nabla^2\phi = \frac{d^2\phi}{dx^2} = -4\pi e(n_i - n_e) \quad \cdots (1)$$ بالحالة العامة

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

أو بالحالة العادية: $\nabla^2\phi = -\frac{e}{\varepsilon_0}(n_i - n_e)$

n_e: كثافة الإلكترونات

n_i: كثافة الأيونات

ملاحظة هامة: إن هذه المعادلة صحيحة عندما يكون هناك فرق بين عدد الإلكترونات وعدد الأيونات.

* عندما يكون $n_i = n_e \Leftarrow \nabla^2\phi = 0$ معادلة لابلاس.

سؤال: اكتب صيغة معادلة بواسون داخل غلاف ديباي وفرع لمعرفتها وهل معادلة بواسون صحيحة خارج غلاف ديباي خارج البلازما؟ علل ذلك وماذا تساوي هذه المعادلة عندئذ؟

داخل غلاف ديباي عدد الإلكترونات ≠ عدد الأيونات

خارج غلاف ديباي عدد الإلكترونات = عدد الأيونات

* يعطى نصف قطر ديباي بالصيغة التالية:

$$\lambda_D = \left(\frac{kT_e}{4\pi e^2 n_e}\right)^{1/2}$$

ولنجد المقدار واحدة قياس الطول، يمكن إثبات ذلك كما يلي:

$$\lambda_D = \left(\frac{kT_e}{4\pi e^2 n_e}\right)^{1/2} = \left(\frac{\left(\frac{J}{K}\cdot K\right)^{\frac{1}{2}}}{(C^2\cdot m^{-3})^{1/2}}\right) = \left(\frac{N\cdot m}{C^2\cdot m^{-3}}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left(\frac{C^2\cdot m}{m^2\cdot m^{-3}}\right)^{\frac{1}{2}} = (m^2)^{\frac{1}{2}} = m$$

بالحالة العادية $\lambda_D = \left(\frac{\varepsilon_0 kT}{e^2 n_e}\right)^{\frac{1}{2}}$

ملاحظة: يمكن كتابة نصف قطر ديباي بإحدى الصيغ الثلاثة الآتية:

① .. $\lambda_D = 69\left(\frac{T_e}{n_e}\right)^{\frac{1}{2}}$; $[T_e]nK^\circ$

بشرط أن تكون T_e مقدرة بالكلفن وكثافة الإلكترونات n_e بالـ m^{-3}

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

② $\lambda_D = 743 \left(\frac{kT_e}{n_e}\right)^{\frac{1}{2}}$

على أن تكون kT بالإلكترون فولت ev و n_e بـ m^{-3}

③ $\lambda_D = 74 \left(\frac{kT_e}{n_e}\right)^{\frac{1}{2}}$

على أن تقدر kT بـ ev و n_e بـ cm^{-3}

لنثبت أن $\lambda_D = \left(\frac{kT}{4\pi e^2 n_e}\right)^{\frac{1}{2}} = 69 \left(\frac{T_e}{n_e}\right)^{\frac{1}{2}}$

$$\lambda_D = \left(\frac{8.62 \times 10^{-5}\ eV \times T(K)}{4 \times 3.14 \times 14.4 \times 10^{-10}\ eV \times m \times m^{-3}}\right)^{\frac{1}{2}} = 6.04766013 \times 10^{5})^{\frac{1}{2}}$$

$\simeq 69$

* حيث يتم الحصول على مربع شحنة الإلكترون في الجملة الدولية بالقيمة $e^2 = 14.4 \times 10^{-10}\ ev.m$ وكيف أتيت بذلك كالتالي:

تعطى شحنة الإلكترون كما نعلم في الجملة SI بالقيمة $e = 1.6 \times 10^{-19}$ ولو أخذنا قيمة هذه الشحنة في الجملة (C.G.S) حيث أن $1C = 3 \times 10^9\ statcoul$ وأن $1\ statcoul = cm\sqrt{dyne}$ حيث dyne واحدة قياس القوة في الجملة (C.G.S)

$$1c = 3 \times 10^8\ cm\sqrt{dyne} \Rightarrow e = 1.6 \times 10^{-19} \times 3 \times 10^8\ cm\sqrt{dyne}$$

$$= 4.8 \times 10^{-10}\ cm\sqrt{dyne}$$

وبالتالي: $e^2 = 23.04 \times 10^{-20}\ cm^2\ dyne$

$dyne \times cm = 1\ erg \Rightarrow e^2 = 23.04 \times 10^{-20} \times 10^{-7}\ erg \times cm$

$$= 23.04 \times 10^{-20}\ J \times 10^{-2}\ m$$

$$= 23.04 \times 10^{-29}\ J/m = \frac{23.04 \times 10^{-29}}{1.6 \times 10^{-19}} = 14.4 \times 10^{-10}\ ev$$

سؤال: على نستخدم درجة حرارة الإلكترونات وليس درجة حرارة الأيونات عند حساب طول ديباي؟ لأن كتلة الإلكترونات أصغر بكثير من كتلة الأيونات وبالتالي لها القدرة على الحركة أكثر من الأيونات.

— انتهت المحاضرة —

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

مكتبة A to Z