كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : فيزياء البلازما

المحاضرة : الثانية/نظري/ كتابة

{{ مكتبة A to Z }}

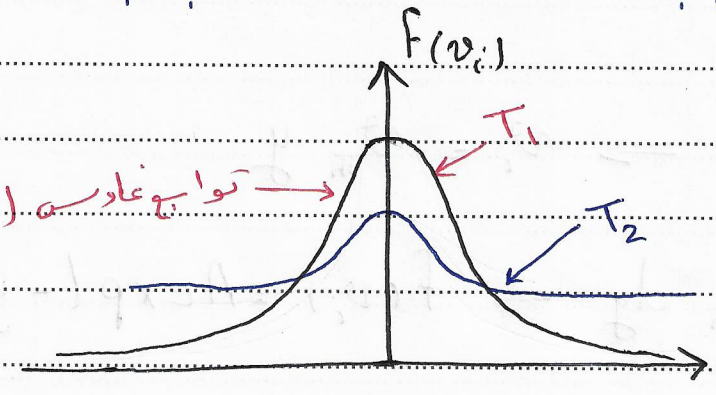
Facebook Group : مكتبة A to Z

2026

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

(2) درجة حرارة البلازما: plasma Temperature

يوصف عرض التوزع بوساطة المعامل T ندعوه بدرجة الحرارة



يمكن حساب الطاقة الحركية الوسطى من العلاقة:

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

تعرف السرعة الحرارية للإلكترونات كما يلي:

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

بالتالي:

$$\Rightarrow f(v_i) = A \exp\left(-\frac{\frac{1}{2} m v_i^2}{\frac{1}{2} m v_{Th}^2}\right)$$

$$= A \exp\left(-\frac{v_i^2}{v_{Th}^2}\right) \quad \dots (4)$$

بفرض أن:

$$y = \frac{v_i}{v_{Th}} \Rightarrow v_i = v_{Th}\, y$$

$$\Rightarrow dv_i = v_{Th}\, dy \Rightarrow f(v_i) = A \exp(-y^2) \quad \dots (5)$$

بالتعويض بالمعادلة (3):

$$E_{av} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2} m v_{Th}^2 y^2 A \exp(-y^2) v_{Th}\, dy}{\int_{-\infty}^{\infty} A \exp(-y^2) v_{Th}\, dy}$$

$$= \frac{\frac{1}{2} m A v_{Th}^2}{A v_{Th}} \cdot \frac{\int_{-\infty}^{\infty} y^2 e^{-y^2} dy}{\int_{-\infty}^{\infty} e^{-y^2} dy} \quad \dots (6)$$

تكامل بسط الكسر بطريقة التجزئة:

$$\left[\int u\, dv = [uv] - \int v\, du\right]$$

$$\Rightarrow \int_{-\infty}^{\infty} y^2 e^{-y^2}\, dy = \int_{-\infty}^{\infty} y\, e^{-y^2}\, y\, dy$$

$$= \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} y\, e^{-y^2}\, dy^2$$

$u \qquad dv$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \left[-\frac{1}{2} y e^{-y^2} \right]_{-\infty}^{\infty} - \int_{-\infty}^{\infty} -\frac{1}{2} e^{-y^2}\, dy \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ -\frac{1}{2} \frac{y}{e^{+y^2}} \Big|_{-\infty}^{\infty} + \int_{-\infty}^{\infty} e^{-y^2}\, dy \right\}$$

0

$$= \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-y^2}\, dy \quad \ldots (7)$$

بتعويض (7) بـ (6)

$$\Rightarrow E_{av} = \frac{1}{4} m \frac{v^2}{\pi} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} m \frac{v^2}{\pi} \quad \ldots (8)$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

وحسب تعريف السرعة الحرارية:

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

$$\Rightarrow E_{av} = \frac{1}{2} kT \quad \dots (9)$$

وهو متوسط الطاقة الحركية في بعد واحد ويمكن تعميم الدراسة السابقة على الحركة في ثلاثة أبعاد حيث يتم الحصول على أن متوسط الطاقة الحركية

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

ملاحظات:

1) طالما أن لكلٍّ من E و T يعتمد أحدهما على الآخر و k ثابت فيمكن إعطاء درجة حرارة واحدة الطاقة.

فلو وضع مثلاً إلكترون بين لوحين وطبق عليه فرق جهد مقداره 1eV كم ستكون درجة حرارة؟

لدينا $kT = 1eV$

$$\Rightarrow T = \frac{1eV}{k} = \frac{1,6 \times 10^{-19} J}{1,38 \times 10^{-23} \frac{J}{k}} \approx 11600 k^\circ$$

سؤال: احسب سرعة الإلكترون في درجة حرارة تساوي $1000 C^\circ$؟

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

سؤال: علل أن البلازما هي المادة الوحيدة التي تحتوي على عدة درجة حرارة بنفس الوقت؟

الجواب: لأن لكل من الأيونات والإلكترونات درجات حرارة مختلفة T_i ، T_e (بسبب فرق الكتلة حيث أن كتلة الإلكترون أقل بكثير من كتلة الأيون وبالتالي له القدرة على الحركة أسرع بالتالي درجة الحرارة أكبر من درجة حرارة الأيونات).

وكذلك عند تطبيق حقل مغناطيسي على البلازما فإنه يكون للإلكترونات المتحركة بحركة موازية للمجال والإلكترونات المتحركة بحركة معامدة للمجال درجات حرارة مختلفة.

وكذلك للأيونات أي يوجد $T_{e\perp}$ و $T_{e\parallel}$ وكذلك $T_{i\perp}$ و $T_{i\parallel}$ للأيونات وبالتالي فإن احتمالية التصادم في البلازما بين الإلكترونات والأيونات قليلة جداً أقل من احتمالية التصادم بين الإلكترونات نفسها أو بين الأيونات نفسها وهذا يؤدي إلى أن كلاً من الإلكترونات والأيونات يأخذ نظام توزيع خاص به عند التوازن الحراري (الترموديناميكي).

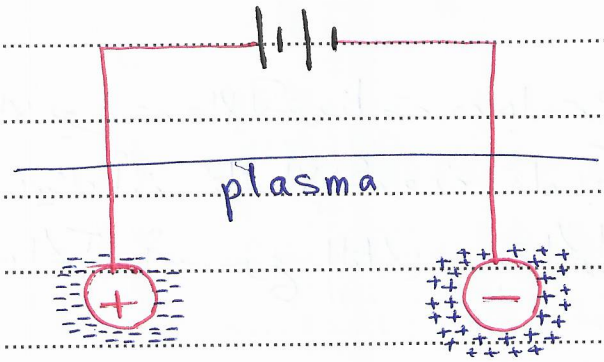
غلاف ديباي (نصف قطر ديباي λ_D) Debye shielding:

تعتبر من الميزات الأساسية للبلازما هو قدرتها على إلغاء أي جهد كهربائي يطبق عليها وحصره في منطقة صغيرة تسمى غلاف ديباي أو كرة ديباي يمكن تعريف غلاف ديباي أو نصف قطر ديباي بأنه معدل المسافة التي يقع فيها تأثير المجال الكهربائي لجسيم مشحون.

فعند تطبيق مجال كهربائي من خلال إمرار تيار كهربائي داخل البلازما وذلك بإدخال كرتين مشحونتين إحداهما موجبة وأخرى سالبة موصولتين

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

بطارية كما هو بالشكل



حيث أن كلاً من الشحنتين ستجذب الشحنات المعاكسة لها فتكون سحابة من الأيونات الموجبة تحيط بالكرة السالبة وسحابة من الإلكترونات تحيط بالكرة الموجبة وسوف تتشكل طبقة عازلة حول الشحنتين بحيث تبقى البلازما بمأمن من تأثير الجهد الكهربائي بين الكرتين.

لنحسب بشكل تقريبي سماكة غمد ديباي

لذلك نفرض وجود بلازما متجانسة أو متماثلة مع الإلكترونات بدرجة حرارة T_e وكثافة n_e وكثافة أيونات n_i بعد أن تتوازن البلازما بوجود شحنة الاختبار (الشحنات المدخلة) يعطى جهدها بوساطة معادلة بواسون

$$\nabla^2 \phi = -\frac{\rho}{\varepsilon_0} = -\frac{e}{\varepsilon_0}\left(n_i - n_e(x)\right) \quad \cdots (1)$$

ويعطى تابع توزيع الإلكترونات التي لم تدخل غلاف ديباي بالعلاقة

$$f(v) = A \exp\left(\frac{-\frac{1}{2} m v^2}{kT}\right)$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

وبوجود المجال الكهربائي (الكمون الكهربائي ϕ) لأي نقطة ضمن الغلاف فسوف يضاف للإلكترونات طاقة إضافية (طاقة موضعية) وأن مقدار الطاقة المضافة للإلكترونات ضمن غلاف دياي $q\phi$ ويعطى تابع التوزيع للإلكترونات التي تدخل الغلاف بالصيغة :

يعني لها علاقة بالموضع

x موضع الشحنة

$$f(v) = A\exp\left(\frac{-\left(\frac{1}{2}mv^2 + q\phi\right)}{kT}\right) \quad \cdots (2)$$

بالتكامل بالنسبة لـ v يمكن إيجاد عدد الإلكترونات بدلالة الموضع

(الإلكترونات الموضعية) بوضع $n_e(x)$ و $q = -e$

$$\Rightarrow n_e = A\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[\left(-\frac{1}{2}mv^2 + e\phi\right)/kT\right] dv$$

$$= A\, e^{e\phi(x)/kT} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}mv^2/kT}\, dv =$$

n_i

$$\Rightarrow n_e = n_i\, e^{e\phi(x)/kT}$$

بتعويض العلاقة (1)

$$\nabla^2\phi = -\frac{e}{\varepsilon_0}\left(n_i - n_i\, e^{e\phi/kT}\right)$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

نشر الحد الأسي وفق سلسلة تايلور والاكتفاء حتى الحد الخطي لـ ϕ إذن $1 \gg \frac{e\phi(x)}{kT}$ السبب التكون يتناقص مع زيادة x.

$$\Rightarrow \nabla^2\phi = -\frac{e}{\varepsilon_0}\left[n_i - n_i\left(1+\frac{e\phi}{kT}\right)\right]$$

$$\nabla^2\phi = n_i\frac{e^2\phi}{\varepsilon_0 kT}$$

بفرض أن الثوابت تساوي إلى

$$\lambda_D^2 = \frac{\varepsilon_0 kT}{e^2 n_e}$$

وبالتالي فإن

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

يسمى نصف قطر حيابي وواحدة قياس هذا المقدار المتر

أثبت ذلك؟

وهذه العلاقة معطاة بالجملة الدولية SI

وتعطى بالجملة الغيثة (CGS) بـ

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

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

$$\lambda_D = \left[\frac{\frac{J}{k} \cdot k}{c^2 \, m^{-3}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

و $J = N.m$

و $F = \frac{q_1 q_2}{r^2}$

$\Rightarrow N = \frac{c^2}{m^2}$

$\Rightarrow c^2 = N.m^2$

$$= \left[\frac{N.m}{N m^2 \, m^{-3}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left[m^2 \right]^{\frac{1}{2}} = m$$

وهو المطلوب

انتهت المحاضرة

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة