كلية العلوم

القسم : **الفيزياء**

السنة : **الرابعة**

المادة : فيزياء البلازما

المحاضرة : الرابعة/نظري/

{{ A to Z مكتبة }}

Facebook Group : A to Zمكتبة

حل المسائل (تكملة المحاضرة السابقة):

① احسب طول ديباي λ_D في بلازما غير متساوية درجة الحرارة و بلازما متساوية درجة الحرارة

الحل: نعلم أنه في البلازما غير المتساوية درجة الحرارة تكون درجة حرارة الإلكترونات $T_e \gg T_i$ علل ذلك: لأن للإلكترونات كتلة أقل وبالتالي لها القدرة على الحركة أكثر وكثافة كل من الإلكترونات والأيونات يساوي إلى

تركيز الإلكترونات $n_e = n\, e^{\frac{e\phi}{KT_e}}$ $\qquad n_i = n\, e^{\frac{-e\phi}{KT_i}}$

وأن $n = \int_{-\infty}^{\infty} e^{\frac{-\frac{1}{2}mv^2}{KT}}$ كتلة الجسيمات خارج غلاف كرة ديباي

وبالتالي فإن:

$$n_i - n_e = n \cdot e^{\frac{-e\phi}{KT_i}} - n \cdot e^{\frac{e\phi}{KT_e}} = n\left[e^{\frac{-e\phi}{KT_i}} - e^{\frac{e\phi}{KT_i}}\right]$$

ننشر الأس داخل القوسين المتوسطين والاكتفاء بالنشر حتى المرتبة الأولى نحصل على:

$$n_i - n_e = n\left[1 - \frac{e\phi}{KT_i} - \left(1 + \frac{e\phi}{KT_e}\right)\right] = \frac{-ne\phi}{k}\left(\frac{1}{T_i} + \frac{1}{T_e}\right)$$

توحيد المقامات

$$n_i - n_e = \frac{-ne\phi}{k}\left(\frac{T_e + T_i}{T_e T_i}\right) \qquad \text{ف} \qquad \frac{1}{T} = \frac{T_e + T_i}{T_e \cdot T_i}$$

$$T = \frac{T_e \cdot T_i}{T_i + T_e}$$

نلاحظ أن:

وبالتالي نصف قطر ديباي يساوي في الحالة السخنة

$$\lambda_D = \left(\frac{kT}{4\pi e^2 n}\right) = \left(\frac{k T_i T_e}{4\pi e^2 n (T_e + T_i)}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\simeq \left(\frac{kT_i}{4\pi e^2 n}\right)^{\frac{1}{2}} = 69\left(\frac{T_i}{n}\right)^{\frac{1}{2}} = 69\left(\frac{3\times 10^2}{10^{16}}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 69\,(3\times 10^{-14})^{\frac{1}{2}} = 119.5\times 10^{-7}\ m$$

وهو طول ديباي من أجل البلازما غير متساوية درجة الحرارة.

* أما من أجل البلازما متساوية درجة الحرارة $T_i = T_e \Leftarrow T = \frac{1}{2}T_e = \frac{1}{2}T_i$

وبالتالي نعوض في λ_D فيكون طول ديباي:

$$T_i = T_e \text{ ف } \lambda_D = \left(\frac{kT_i}{8\pi e^2 n}\right)^{\frac{1}{2}} = 119.5\times 10^{-7}\ m \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$= 119.5\times 10^{-7} \times 0.70 = \boxed{84.5\times 10^{-7}\ m}$$

$\boxed{2}$ يعطى عدد الجسيمات الموجودة في كرة ديباي بالعلاقة التالية:

$$N = \frac{4}{3}\pi \lambda_D^3 \cdot n \simeq \frac{4}{3}\pi (84.5\times 10^{-7}\ m)^3 \cdot 10^{16}\ m^{-3}$$

$$\simeq \frac{4}{3}\pi (603350.125\times 10^{-21})\ m^3 \times 10^{16}\ m^{-3}$$

$$= 25 \text{ جسيمة}$$

المسألة الثانية: احسب تردد البلازما وطول ديباي في الحالات الآتية:

① $KT_e = 0.2\,eV \quad , n_e = 10^6\ m^{-3}$

يمكن حساب تردد البلازما في الجملة SI من العلاقة التالية:

$$\omega_{pe} = \left(\frac{n e^2}{\varepsilon_0 m_e}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{10^{12}\ m^{-3} \times (1.6\times 10^{-19} c)^2}{8.85\times 10^{-12}\frac{F}{m} \times 9.1\times 10^{-31}\ kg}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left(0.032\times 10^{12-48+43}\ \frac{A^2 . S^2 . m^{-3}}{\frac{kg^{-1} . m^{-2} S^4 A^2 . kg}{m}}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 5.66\times 10^7\ \frac{1}{S}$$

لذلك $1F = kg^{-1}\, m^{-2}\, S^{4}\, A^{2}$

$C = A.S$

ويمكن حساب W_{pe} في الجملة CGS من العلاقة:

$$W_{pe} = \left(\frac{4\pi n e^2}{m_e}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{4\pi \times 10^{12}\, m^{-3} (14.4 \times 10^{-10}\, eV.m}{9.1 \times 10^{-31}\, kg}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left(19.89 \times 10^{33} \frac{eV.m^{-2}}{kg}\right)^{\frac{1}{2}} = 19.89 \times 10^{33} \frac{eV.m^{-2}}{kg}\Big)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 19.89 \times 10^{33} \times 1.6 \times 10^{-19}\, J.m^{-2}/kg\Big)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 5.64 \times 10^{7} \left(\frac{kg.m.s^{-2}.m.m^{-2}}{kg}\right)^{\frac{1}{2}} = 5.64 \times 10^{7}\, \frac{1}{s}$$

ونكمل بقية الطلبات كالحل السابق.

الفصل الثاني : حركة جسيم مشحون في المجالات الكهرومغناطيسية

charged particleMotion in Electromagnatic fields

الشحنة الكهربائية الساكنة تتولد حولها مجال كهربائي وعندما تتحرك الشحنة ينتج عنها تيار كهربائي، تعتبر طريقة دراسة البلازما في المجالات الكهرومغناطيسية واحدة من الطرائق الرئيسية لمعالجة مسائل البلازما الكهرطيسية، يمكن تقسيم المجالات الكهرومغناطيسية إلى نوعين

1. مجالات النوع الأول (حقول النوع الأول): هي مجالات يتم تطبيقها على البلازما بمؤثرات خارجية لأهداف عديدة أهمها احتواء البلازما (حصر البلازما)
2. مجالات النوع الثاني: هي مجالات تتولد داخلياً في البلازما بفعل تأثير حركة الجسيمات بعضها على بعض وسوف نعالج في هذا الفصل الأسس المتعلقة ببعض خواص البلازما من خلال دراسة حركة جسيم مشحون خاضع لتأثير مجالات كهرومغناطيسية.

Charged particle Motion حركة جسيم مشحون

تتأثر الجسيمات المشحونة في البلازما والكاثودية بمجالات كهرومغناطيسية إلى:

أ) قوة كهربائية ناتجة عن تأثير مجال كهربائي $\vec{E}$ وتعطى بالعلاقة:

$$\vec{F_e} = q.\vec{E} \quad ...(1)$$

ب) قوة مغناطيسية: تؤثر على الجسيمات المتحركة بسرعة $\vec{v}$ تعطى هذه القوة بالعلاقة

$$\vec{F_m} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad ...(2)$$

علل: يكون تأثير القوة المغناطيسية على الجسيمات الساكنة معدومة؟

لأن القوة المغناطيسية لا تؤثر إلا على الجسيمات المشحونة المتحركة بسرعة $\vec{v}$

نتيجة تأثير قوة لورانتز باستخدام قانون نيوتن الثاني

قوة لورانتز $\vec{F} = q[\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}]$

$$m\frac{d\vec{v}}{dt} = q[\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}] \quad ...(3)$$

سؤال: (1) استنتج من قانون نيوتن وقوة لورانتز أن الطاقة الحركية للجسيم المشحون كيف تتعلق بكل من الحقل الكهربائي والحقل المغناطيسي

(2) ويفرض أن $\vec{E}$ يشتق من كمون سلمي استنتج قانون حفظ الطاقة

الحل: نضرب طرفي العلاقة (3) سلمياً بالسرعة $\vec{v}$ فنجد:

$$\vec{v} \cdot m\frac{d\vec{v}}{dt} = q[\vec{v}E + \vec{v}(\vec{v} \times \vec{B})]$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}mv^2\right) = q\vec{v}.\vec{E} + 0$$

نستنتج أن الطاقة الحركية لا تتعلق بالمجال الكهرومغناطيسي

من أجل قانون حفظ الطاقة نكتب:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}mv^2\right) = -q(\vec{v}.\vec{\nabla}\phi) = -q\left(\frac{d\vec{r}}{dt} . \frac{d\phi}{dr}\vec{e_r}\right)$$

$$\vec{E} = -grad\,\phi = -\vec{\nabla}\phi \text{ و}$$

$$= -q\frac{d\vec{r}}{r} . \frac{d\phi}{dt} = -q\frac{d\phi}{dt}$$

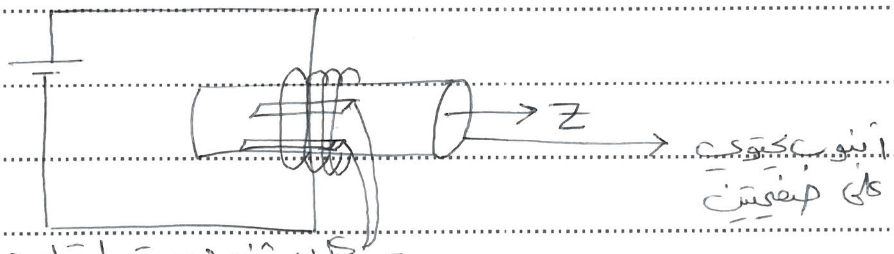
$$\Rightarrow \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}mv^2 + q\phi\right) = 0 \quad \ldots (4)$$

نستنتج أن مجموع الطاقة الحركية والطاقة الكمونية الناتجين عن المجال الكهربائي يبقى ثابتاً وهو قانون "حفظ الطاقة في المجال الكهربائي".

* حركة جسيم مشحون في المجالات الكهرومغناطيسية ثابتة ومنتظمة :

نفرض أن المحور z هو المحور الموازي لاتجاه المجال المغناطيسي $\vec{B}$ يكون عندئذ $\vec{B}$ يوازي $z\vec{e_z}$ أي $(\vec{B} \parallel z\vec{e_z}) \ldots (5)$

يمكن الحصول على هذه الحالة الفيزيائية مخبرياً من خلال تركيب ملف سلكي حول أنبوب يحتوي على صفيحتين متوازيتين كما في الشكل التالي



S سلك مستقيم لتوليد مجال كهربائي منتظم

(الشكل (1) توليد مجالات كهرومغناطيسية مخبرياً)

بالتعويض عن $\vec{E}$ و $\vec{B}$ من (5) في (3) ينتج أن :

$$m\frac{d}{dt}(v_x\vec{e_x} + v_y\vec{e_y} + v_z\vec{e_z})$$

$$= q\left[E_x\vec{e_x} + E_y\vec{e_y} + E_z\vec{e_z} + \begin{vmatrix} \vec{e_x} & \vec{e_y} & \vec{e_z} \\ v_x & v_y & v_z \\ 0 & 0 & B \end{vmatrix}\right.$$

$$\Rightarrow \frac{d}{dt}(v_x\vec{e_x} + v_y\vec{e_y} + v_z\vec{e_z}) = \frac{q}{m}\left[(E_z + v_y B)\vec{e_x} + (E_y - v_x B)\vec{e_y} + E_z\vec{e_z}\right]$$

بالمطابقة بين أمثال كل من $\vec{e_x}$ و $\vec{e_y}$ و $\vec{e_z}$ بين طرفي المساواة نحصل على

$$\dot{v}_x = \frac{q}{m}(E_x + v_y B)$$
$$\dot{v}_y = \frac{q}{m}(E_y - v_x B) \quad ⑥ \Rightarrow \quad y'' + \alpha y' + \beta = 0$$
$$\dot{v}_z = \frac{q}{m} E_z$$

تعطي وهي معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية.

بمكاملة المعادلة الثالثة من العلاقة ⑥ نجد أن:

$$v_z = \frac{q}{m} E_z t + v_z(0) \quad \dots ⑦$$

حيث $v_z(0)$ هي سرعة الجسيم عند اللحظة $t=0$ (سرعة ابتدائية) تبين العلاقة ⑦ أن الجسيم المشحون يتحرك باتجاه المحور z (على طول $\vec{B}$) بسرعة بحركة متسارعة تسارعها $a = \frac{q}{m} E_z$

- انتهت المحاضرة -