

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z



كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

اسئلة ووراث محلولة

فيزياء البلازما

A 2 Z LIBRARY

مكتبة A to Z : Facebook Group

كلية العلوم (فيزياء ، كيمياء ، رياضيات ، علم الحياة)

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

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

جامعة طرطوس كلية العلوم - قسم الفيزياء السنة الرابعة فيزياء	اسم الطالب: امتحان مقرر بلازما - الدرجة: 90 - مدة الامتحان: ساعتان الدورة التكميلية للعام الدراسي 2024-2025م	
---	--	--

أجب عن الأسئلة الآتية:

السؤال الأول (30 درجة)

- عَرّف البلازما - اذكر الفرق بين البلازما وبين الغاز من حيث: درجة الحرارة - الموصلية الكهربائية - التأثير والتأثير بالحقول الكهرومغناطيسية.
- علل ما يلي:
أ- لحساب طول ديبي نستخدم درجة حرارة الإلكترونات وليس درجة حرارة الأيونات.
ب- نصف قطر لارمر $r_L = \frac{v_{\perp} m}{|q| B}$ للأيون أكبر من نصف قطر لارمر للإلكترون.
ت- للإلكترون وللأيون في البلازما نفس سرعة الانجراف $\vec{v}_D = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2}$.
ث- يقلل الحقل المغناطيسي التصادم بين الجسيمات المشحونة.
ج- البلازما مادة دايامغناطيسية.
ح- يُستخدم الحقل المغناطيسي لحصر البلازما.
- احسب القياس الفضائي (طول ديبي) λ_D ، والزمني τ ، والتردد f_{pe} ، واحسب عدد الإلكترونات N_D في كرة ديبي في غاز متأين درجة حرارة الإلكترونات فيه $T_e = 3 \times 10^4 K$ ، وكثافة الإلكترونات $n_e = 10^{19} m^{-3}$ (بإهمال تأثير الحقول الخارجية واعتبار هذا الغاز المتأين بمنزلة بلازما). ملاحظة: تعطى الثوابت في الجملة الدولية بالقيم الآتية:
 $m_e = 9.1 \times 10^{-31} kg$, $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} F/m$, $e = 1.6 \times 10^{-19} C$, $k_B = 1.38 \times 10^{-23} J/K$

السؤال الثاني (30 درجة)

- استنتج باستخدام قانون نيوتن الثاني في الحركة الدورانية ($m \frac{v_{\perp}^2}{r_L} = q v_{\perp} B$) للشحنة حول خطوط الحقل المغناطيسي نصف قطر لارمر r_L ، ناقش علاقة دوران الإلكترون والأيون من حيث: كبر كل من نصف القطر - وعدد الدورات - والسرعة لكل منهما.
- يخضع جسيم مشحون لحقل مغناطيسي $\vec{B}$ متجانس وموجه باتجاه المحور z، ولحقل كهربائي $\vec{E}$ ، أي أن:
 $\vec{E} = E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z$, $\vec{B} = B \vec{e}_z$
أ- أثبت بالاستفادة من معادلة الحركة في الحقل الكهربائي $\vec{F} = q[\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}]$ أن:
 $\dot{v}_x = \frac{q}{m} (E_x + B v_y)$, $\dot{v}_y = \frac{q}{m} (E_y - B v_x)$, $\dot{v}_z = \frac{q}{m} E_z$
وما هو نوع الحركة عندما $E_z = 0$ ؟
ب- اوجد مركبات السرعة v_x, v_y في المستوي (x, y) ، ماذا تستنتج؟
أ-

السؤال الثالث (30 درجة)

- يخضع وسط بلازما إلى حقل مغناطيسي ثابت ومتجانس، ولحقل كهربائي متغير مع الزمن وعمودي على $\vec{B}$. إذا علمت أن معادلة حركا الجسيم تُعطى بالصيغة $m \frac{d}{dt} \left(\frac{\vec{E}_{\perp} \times \vec{B}}{B^2} \right) = q \vec{v}_p \times \vec{B}$ ، حيث m كتلة الجسيم، q شحنته.
أ- أثبت أن سرعة الجسيم $\vec{v}_p$ (سرعة استقطاب الجسيم) في هذه الحالة تساوي إلى $\vec{v}_p = \frac{m}{q B^2} \frac{d\vec{E}_{\perp}}{dt}$
ب- فسر أن البلازما تصبح عازلاً مستقطباً في هذه الحالة (عندما $\vec{E}$ يتغير مع الزمن).
- تعطى معادلات ماكسويل في الفراغ بالصيغة:
(i) $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$, (ii) $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$, (iii) $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$, (iv) $\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$
بفرض أن الأمواج الكهرومغناطيسية تنتقل في اتجاه المحور z ولا تعتمد على x و y، أي أن: $\vec{E} = E_0 e^{i(kz - \omega t)} \vec{e}_x$, $\vec{B} = B_0 e^{i(kz - \omega t)} \vec{e}_y$
استنتج باستخدام قانون فاراداي $\left(\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right)$ العلاقة بين E_0 و B_0 (سعتي الحقل الكهربائي و الحقل المغناطيسي).

أ. د. محمد حسن فاهود

طرطوس في 15/11/2025

جواب السؤال الأول (30 درجة)

1. البلازما: هي حالة المادة المكونة من جسيمات مشحونة ومتعادلة، على أن يكون المجموع الجبري للشحنات الكهربائية يساوي صفراً. وعموماً فإن البلازما هي حالة المادة أثناء وجودها بدرجة عالية من التأين، أي عندما تتحول ذرات المادة الى أيونات موجبة مع إلكترونات سالبة. (6)

ويمكن أن تكون البلازما من الحالة الصلبة (أشباه الموصلات)، أو الحالة السائلة (المحاليل الألكتروليتية)، أو الحالة الغازية (طبقة الأيونوسفير).

- درجة حرارة البلازما أعلى من درجة حرارة الغاز.
- البلازما موصلة للكهرباء، بينما الغاز رديء التوصيل.
- البلازما تؤثر وتتأثر بالحقول الكهرومغناطيسية، في حين لا ينفذ الحقل المغناطيسي في البلازما إلا في حالة كون كثافة ودرجة حرارة البلازما قليلة، في حين أن الغازات لا تتأثر بالحقول الكهرومغناطيسية بأية كثافة.

2.

- أ- لأن كتلة الإلكترونات أقل من كتلة الأيونات وبالتالي فلها القدرة على الحركة أكثر من الأيونات، لذلك يُحسب طول ديبي على أساس الإلكترونات وليس على حساب الأيونات.
- ب- لأن كتل الأيون أكبر من كتلة الإلكترون.

ت- تُعطى سرعة الانجراف في البلازما بالعلاقة $\vec{v}_D = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2}$ ، لا تعتمد هذه السرعة على كتلة الجسيم أو شحنته،

لذلك فإن جميع الجسيمات المشحونة في البلازما تنجرف معاً بنفس السرعة (مقدار ثابت).

ث- لأن الحقل المغناطيسي يجعل الجسيمات تتحرك حركة دورانية بأنصاف أقطار تختلف عن بعضها وبالتالي لا تتصادم الجسيمات.

ج- ينتج عن دوران الجسيمات المشحونة تياراً كهربائياً يدور مما يولد حقلاً مغناطيسياً، يكون هذا الحقل معاكس للحقل المغناطيس المطبق من الخارج. لذا سميت البلازما مادة دايا مغناطيسية لأنها تولد حقلاً مغناطيسياً معاكساً للمجال المغناطيسي الأصلي المطبق من الخارج.

ح- لأنه يحول الطاقة الأفقية إلى طاقة عمودية.

$$3. \text{ طول ديبي } \lambda_D = \left(\frac{\epsilon_0 k_B T}{e^2 n} \right)^{1/2} = \left(\frac{8.85 \times 10^{-12} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 3 \times 10^4}{(1.6 \times 10^{-19})^2 \times 10^{19}} \right)^{1/2} \approx 14.3 \times 10^{-10} \text{ m}$$

لحساب τ و f_{pe} نحسب أولاً ω_{pe} فنجد:

$$\omega_{pe} = \left(\frac{e^2 n_e}{\epsilon_0 m_e} \right)^{1/2} = \left(\frac{(1.6 \times 10^{-19})^2 \times 10^{19}}{8.85 \times 10^{-12} \times 9.1 \times 10^{-31}} \right)^{1/2} = 18 \times 10^{10} \text{ Hz} \Rightarrow \tau = \frac{2\pi}{\omega_{pe}} = 0.35 \times 10^{-10} \text{ sec}$$

$$f_{pe} = \frac{1}{\tau} = 2.86 \times 10^{10} \text{ Hz} \Rightarrow N_D = \frac{4}{3} \pi \lambda_D^3 n_e = \frac{4}{3} \pi (4 \times 10^{-6})^3 \times 10^{19} \approx 2245$$

$$1. m \frac{v_{\perp}^2}{r_L} = q v_{\perp} B \Rightarrow r_L = \frac{m v_{\perp}}{q B} = \frac{v_{\perp}}{\omega_c}$$

ينتج أن نصف قطر الإلكترون (نصف قطر لارمر) أصغر من نصف قطر لارمر للأيون وأن تردد الإلكترون $\omega_c = \frac{qB}{m}$ أكبر من تردد الأيون، لأن كتلة الإلكترون أصغر من الأيون، وبالتالي تُعتبر سرعة الإلكترون والأيون متساوية $(v_{\perp} = \frac{qB}{m} r_L)$.

2. أ. نعوض عن $\vec{E}$ و $\vec{B}$ بدلالة المركبات في قانون لورنز فنحصل على:

$$m \frac{d}{dt} (v_x \vec{e}_x + v_y \vec{e}_y + v_z \vec{e}_z) = q \left[E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z \right] + \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ v_x & v_y & v_z \\ 0 & 0 & B \end{vmatrix} \Rightarrow$$

$$m \left(\dot{v}_x \vec{e}_x + \dot{v}_y \vec{e}_y + \dot{v}_z \vec{e}_z \right) = q \left[E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z + v_y B \vec{e}_x - v_x B \vec{e}_y \right] = q \left[(E_x + v_y B) \vec{e}_x + (E_y - v_x B) \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z \right]$$

بمساواة المركبات المتناظرة (المطابقة بين أمثال $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$ بين الطرفين)، نحصل على:

$$(1) \quad \dot{v}_x = \frac{q}{m} (E_x + B v_y), \dot{v}_y = \frac{q}{m} (E_y - B v_x), \dot{v}_z = \frac{q}{m} E_z$$

نجد من المعادلة الثالثة أن:

$$(2) \quad \dot{v}_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{q}{m} E_z \Rightarrow v_z = \frac{q}{m} E_z t + v_z(0)$$

تعني أن حركة الجسيمات متسارعة وفق المحور z (باتجاه B)، عندما $\vec{E} = 0$ فإن $v_z = v_z(0)$ أي أن الجسيم يتحرك بسرعة ثابتة باتجاه المحور z.

- يمكن الحصول على مركبات السرعة v_x و v_y من مفاضلة المعادلة الأولى في (1) بالنسبة للزمن.

$$(3) \quad \ddot{v}_x = \frac{qB}{m} v_y$$

بالتعويض عن v_y من المعادلة (1) في المعادلة (3) نحصل على:

$$\ddot{v}_x = \frac{qB}{m} \left[\frac{q}{m} (E_y - B v_x) \right] = \frac{q^2 B^2}{m^2} \left(\frac{E_y}{B} - v_x \right) \Rightarrow \ddot{v}_x + \omega_c^2 v_x = \omega_c^2 \frac{E_y}{B}$$

وهي معادلة تفاضلية غير متجانسة حلها العام مجموع حلين، حل عام هو $U \sin(\omega_c t + \phi)$ حيث U, ϕ ثابتي تكامل،

وحل خاص $v_x = \frac{E_y}{B}$ وبذلك يكون الحل العام لهذه المعادلة هو:

$$(4) \quad v_x = U \sin(\omega_c t + \phi) + \frac{E_y}{B}$$

ويمكن إيجاد v_y من المعادلة الأولى كما يلي:

$$v_x^* = \frac{q}{m}(E_x + Bv_y) \Rightarrow v_y = \frac{m}{qB}v_x - \frac{E_x}{B}$$

بالتعويض عن v_x من المعادلة (4) نحصل على:

$$v_y = U \cos(\omega_c - \phi) - \frac{E_x}{B} \quad (5)$$

② نلاحظ أن مركبتي السرعة في المستوي (x,y) العمودي على B تهتز بتواترات مساوية للتواتر السيكلوتروني ω_c ، إضافة إلى سرعة انجراف في هذا المستوي والتي تساوي إلى:

$$\vec{v}_D = \frac{E_y}{B} \vec{e}_x - \frac{E_x}{B} \vec{e}_y = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2}$$

نستنتج أن سرعة الانجراف $\vec{v}_D$ لا تعتمد على كتلة الجسيم ولا على نوع ومقدار الشحنة التي يحملها الجسيم.

جواب السؤال الثالث (30 درجة)

1.

$$أ. انطلاقاً من العلاقة $\vec{v}_p \times \vec{B} = \frac{m}{qB^2} \frac{d}{dt} (\vec{E}_\perp \times \vec{B})$$$

بضرب طرفي هذه العلاقة خارجياً من اليسار بالمتجه $\vec{B}$ (ثابت ومتجانس) يكون:

$$\vec{B} \times (\vec{v}_p \times \vec{B}) = \frac{m}{qB^2} \frac{d}{dt} [\vec{B} \times (\vec{E}_\perp \times \vec{B})]$$

$$\vec{v}_p (\vec{B} \cdot \vec{B}) - \vec{B} (\vec{B} \cdot \vec{v}_p) = \frac{m}{qB^2} \frac{d}{dt} [\vec{E}_\perp (\vec{B} \cdot \vec{B}) - \vec{B} (\vec{B} \cdot \vec{E}_\perp)] \Rightarrow B^2 \vec{v}_p = \frac{m}{qB^2} \frac{d}{dt} (B^2 \vec{E}_\perp) = \frac{m}{qB^2} B^2 \frac{d\vec{E}_\perp}{dt} \quad (3)$$

بما أن الحقل $\vec{B}$ لا يعتمد على الزمن (ثابت ومتجانس في الفضاء، وأن $\vec{B} \perp \vec{v}_p$ ، $\vec{B} \perp \vec{E}_\perp$). فإن:

$$\Rightarrow \vec{v}_p = \frac{m}{qB^2} \frac{d\vec{E}_\perp}{dt} \quad (3)$$

ب. تكون سرعة الانجراف $\vec{v}_p$ للجسيمات الموجبة بعكس جهة انجراف الجسيمات السالبة، وبالتالي يحدث استقطاب للوسط البلازمي، وتسمى سرعة انجراف الاستقطاب. ④

2. يمكن إيجاد العلاقة بين السعة للحقل الكهربائي E_0 وللحقل المغناطيسي B_0 باستخدام قانون فاراداي

$$\left(\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right)$$

لذلك نحسب الطرف اليساري من قانون فاراداي. نجد:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_0 e^{i(kz - \omega t)} & 0 & 0 \end{vmatrix} = 0\vec{e}_x - \left(\frac{\partial}{\partial x} 0 - \frac{\partial}{\partial z} E_0 e^{i(kz - \omega t)} \right) \vec{e}_y + \left(\frac{\partial}{\partial x} 0 - \frac{\partial}{\partial y} E_0 e^{i(kz - \omega t)} \right) \vec{e}_z$$

$$= 0\vec{e}_0 + ikE_0 e^{i(kz - \omega t)} \vec{e}_y + (0 - 0)\vec{e}_z = ikE_0 e^{i(kz - \omega t)} \vec{e}_y \quad (6) \quad (1)$$

ونجد من حساب الطرف اليميني في قانون فاراداي أن:

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} (B_0 e^{i(kz - \omega t)} \vec{e}_y) = -i\omega B_0 e^{i(kz - \omega t)} \vec{e}_y \quad (6) \quad (2)$$

بالتعويض من (1) و (2) في قانون فاراداي نجد أن:

$$ikE_0 e^{i(kz - \omega t)} = -(-i\omega B_0) e^{i(kz - \omega t)} \Rightarrow B_0 = \frac{k}{\omega} E_0 \quad (4)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{cT} = \frac{2\pi\nu}{C} = \frac{\omega}{C} \Rightarrow B_0 = \frac{\omega}{\omega C} E_0 = \frac{1}{C} E_0$$

أ. د. محمد حسن فاهود

طرس في 2025/10/15

جامعة طرطوس		امتحان فيزياء البلازما لطلاب السنة الرابعة فيزياء
كلية العلوم		الدورة الفصلية الثانية للعام الدراسي ٢٠٢٥ : ٢٠٢٤م
قسم الفيزياء		مدة الامتحان: ساعتان الدرجة العظمى: تسعون اسم الطالب:

اجب عن الاسئلة الآتية

السؤال الأول (٣٠ درجة)

- ١- عرّف البلازما - اذكر سببين من اسباب الاهتمام بدراسة البلازما - ما هو الفرق بين البلازما والغاز من حيث: درجة الحرارة ، الموصلية للكهرباء، التأثير بالمجالات الكهرومغناطيسية.
- ٢- انقل الجدول الآتي إلى ورقة إجابتك، وصل بين حالة المادة ودرجة الحرارة المناسبة لها وقوة الترابط بين مكوناتها الواردة في الجدول التالي:

حالة المادة	درجة الحرارة	قوة الترابط بين مكونات الحالة
صلبة	$T > 100C^0$	ضعيفة
سائلة	$T > 100000C^0$	قوية
غازية	$100C^0 > T > 0C^0$	معدومة
بلازما	$T < 0C^0$	معدومة

- ٣- أكمل العبارات التالية:
يتم الحصول على بلازما كثيفة، ويتم الحصول على بلازما قليلة التاين بواسطة.....، تعتبر البلازما بغياب التأثيرات الخارجيةجهرياً، وهذا يعني أن المجموع الجبري للجسيمات المشحونة يساوي.....، وعند النظر بشكل مجهرى للبلازما نجد أنها تحتوي على.....، نستخدم عند دراستنا لفيزياء البلازما معاملات ، وهي، تعتبر البلازما هي المادة الوحيدة التي تحتوي على عدة درجات حرارة بنفس الوقت، لأن.....، يكون احتمال التصادم بين الألكترونات والأيونات في البلازما صغير جداً، لأن.....، يعرف غلاف ديبيائي بأنه.....
- ٤- علل ما يأتي:

- a. البلازما مادة دايا مغناطيسية.
- b. لحساب طول ديبيائي نستخدم درجة حرارة الألكترونات وليس درجة حرارة الأيونات.
- c. تأثير المجال المغناطيسي على جسيم مشحون ساكن معدوم.
- d. يستخدم المجال المغناطيسي لحصر البلازما.

السؤال الثاني (٤٠ درجة)

١. يخضع وسط بلازما لتأثير مجالات كهرومغناطيسية. المطلوب:
- a. تُعطى معادلة حركة الجسيم بالصيغة $m \frac{d\vec{v}}{dt} = \dots\dots\dots$
 - b. اثبت أن الطاقة الحركية للجسيم المشحون لا تعتمد على شدة الحقل المغناطيسي.
 - c. بفرض أن المجال الكهربائي $\vec{E}$ ينتج من جهد كهربائي سلمي ϕ . استنتج قانون حفظ الطاقة الكلية.
 - d. يُطبق المجال $\vec{B}$ باتجاه المحور z ($\vec{B} = B\vec{e}_z$) ، وأن $\vec{E} = E\vec{e}_x + E\vec{e}_y + E\vec{e}_z$. احسب v_x, v_y, v_z (مركبات التسارع)، ثم احسب السرعة v_z ، ما هو نوع الحركة وفق المحور z ؟
 - e. بفرض أن $v_x = \frac{q}{m}(E_x + Bv_y)$ ، $v_y = \frac{q}{m}(E_y - Bv_x)$. أوجد المعادلتين التفاضليتين لـ v_x, v_y ، واكتب حلّهما العام x و y . ماذا تستنتج من مركبتى سرعة الجسيم في المستوي (x,y) العمودي على $\vec{B}$ ؟ هل تكون سرعة انجراف الألكترونات والأيونات مختلفة أم متساوية؟ علل ذلك. ما هي كثافة تيار الانجراف؟ وما هي قيمة تيار الانجراف للبلازما المتعادلة كهربائياً؟ علل إجابتك.
 ٢. احسب سرعة انجراف الإلكترون، إذا كان المجال الكهربائي يساوي $10 \frac{KV}{cm}$ ، والمجال المغناطيسي يساوي $20KG$ ، وبفرض أن $\vec{E} \perp \vec{B}$ ، ثم احسب الطاقة الحركية الناتجة عن حركة الانجراف.

$$1T = 10^4 G = \frac{1 \text{ Weber}}{m^2} = \frac{V \cdot sec}{m^2} , m_e = 9.1 \times 10^{-31} kg$$

السؤال الثالث (٢٠ درجة)

يخضع وسط بلازما إلى مجال مغناطيسي $\vec{B}$ ثابت ومتجانس، وللمجال كهربائي $\vec{E}$ متغير ببطء مع الزمن وعمودي على $\vec{B}$.

اثبت باستخدام العلاقة: $q\vec{v}_p \times \vec{B} = m \frac{d}{dt} \left(\frac{\vec{E}_\perp \times \vec{B}}{B^2} \right)$: أن $\vec{v}_p = \frac{m}{qB^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ ، ماذا تستنتج من هذه العلاقة؟ هل تكون حركة الشحنات الموجبة والسالبة بنفس الجهة؟ ماذا ينتج عن ذلك؟ احسب كثافة تيار الاستقطاب.

أ.د. محمد حسن فاهود

تمنياتي لكم بالتوفيق والنجاح

طرطوس في ٢٩ / ٧ / ٢٠٢٥

جواب السؤال الأول (30 درجة)

1. البلازما: هي حالة المادة المكونة من جسيمات مشحونة ومتعادلة، على أن يكون المجموع الجبري للشحنات الكهربائية يساوي صفراً. وعموماً فإن البلازما هي حالة المادة أثناء وجودها بدرجة عالية من التأين، أي عندما تتحول ذرات المادة إلى أيونات موجبة مع إلكترونات سالبة. (2)
- ويمكن أن تكون البلازما من الحالة الصلبة (أشياء الموصلات)، أو الحالة السائلة (المحاليل الألكتروليتية)، أو الحالة الغازية (طبقة الأيونوسفير).

- يتم الاهتمام بالبلازما للأسباب الآتية (يذكر الطالب سببين):
 - البلازما هي الحالة الأكثر شيوعاً للمادة في الكون عند درجات الحرارة العالية.
 - البلازما موصلة جيدة للتيار الكهربائي ومصدر للضوء.
 - هي نظام ديناميكي تتحكم به قوى كهرومغناطيسية.
 - لمعالجة مسائل تقانية مهمة مثل المسائل التي تواجهنا لبناء مفاعلات الاندماج النووي الحراري والتحول المغنوهيدروديناميكي للطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية.
 - المقارنة بين البلازما والغاز من حيث:
 - درجة حرارة البلازما أعلى من درجة حرارة الغاز.
 - البلازما موصلة للكهرباء، بينما الغاز رديء التوصيل.
 - البلازما تؤثر وتتأثر بالحقول الكهرومغناطيسية، في حين لا ينفذ الحقل المغناطيسي في البلازما إلا في حالة كون كثافة ودرجة حرارة البلازما قليلة، في حين أن الغازات لا تتأثر بالحقول الكهرومغناطيسية بأية كثافة.
- 2.

حالة المادة	درجة الحرارة	قوة الترابط بين مكونات الحالة
صلبة	$T < 0^\circ C$	قوية
سائلة	$100^\circ C > T > 0^\circ C$	ضعيفة
غازية	$T > 100^\circ C$	معدومة
بلازما	$T > 100000^\circ C$	معدومة

3. يتم الحصول على بلازما كثيفة نتيجة تصادم الإلكترونات والأيونات بالذرات المتعادلة، والذرات المتعادلة فيما بينها، ويتم الحصول على بلازما قليلة التأين بواسطة يسمى التأين في المجالات الكهربائية، أو التأين بالإشعاع ذي الطاقة الكافية للتأين، تُعتبر البلازما بغياب التأثيرات الخارجية متعادلة جبرياً، وهذا يعني أن المجموع الجبري للجسيمات المشحونة يساوي صفراً، وعند النظر بشكل مجهرى للبلازما نجد أنها تحتوي على جسيمات مشحونة ومتعادلة، نستخدم عند دراستنا لفيزياء البلازما معاملات، وهي تركيز الأيونات الموجبة والسالبة، ودرجة التأين، درجة الحرارة، نصف قطر ديبي، معامل البلازما η ، تُعتبر البلازما هي المادة الوحيدة التي تحتوي على عدة درجات حرارة بنفس الوقت، لأن الإلكترونات والأيونات درجات حرارة مختلفة، يكون احتمال التصادم بين الإلكترونات والأيونات في البلازما صغير جداً، لأن سرعة الإلكترونات تختلف عن سرعة الأيونات، يُعرف غلاف ديبي بأنه معدل المسافة التي يقع فيها تأثير المجال الكهربائي لجسيم مشحون.
- 4.

- a. ينتج عن دوران الجسيمات المشحونة تياراً كهربائياً يدور مما يولد حقلاً مغناطيسياً، يكون هذا الحقل معاكس للحقل المغناطيس المطبق من الخارج. لذا سميت البلازما مادة دايا مغناطيسية لأنها تولد حقلاً مغناطيسياً معاكساً للمجال المغناطيسي الأصلي المطبق من الخارج. (8)
- b. لأن كتلة الإلكترونات أقل من كتلة الأيونات ولها القدرة على الحركة أكثر من الأيونات، لذلك يُحسب طول ديبي على أساس الإلكترونات وليس على أساس الأيونات.
- c. لأن المجال المغناطيسي يؤثر على الجسيمات المشحونة والمتحركة بسرعة.

d. لأنه يحول الطاقة الأفقية إلى طاقة عمودية.

جواب السؤال الثاني (40 درجة)

1.

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = q[\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}] \quad \text{a.} \quad (2)$$

b. بضرب طرفي معادلة الحركة السابقة $m \frac{d\vec{v}}{dt} = q[\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}]$ سلمياً بمتجه السرعة $\vec{v}$ نحصل على:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = q \vec{v} \cdot \vec{E} \quad \text{نجد أن الطاقة الحركية للجسيم المشحون لا تعتمد على شدة الحقل المغناطيسي.} \quad (3)$$

c. بالتعويض عن $(\vec{E} = -\vec{\nabla} \phi)$ في عبارة تفاضل الطاقة الحركية $\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = q \vec{v} \cdot \vec{E}$ نحصل على

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = -q \vec{v} \cdot \vec{\nabla} \phi = -q \left(\frac{d\vec{r}}{dt} \cdot \frac{d\phi}{d\vec{r}} \right) \quad \text{بمبادلة التفاضل بين الإحداثيات الزمانية والمكانية نجد:} \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = -q \left(\frac{d\phi}{dt} \right) \Rightarrow \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 + q\phi \right) = 0$$

والكامنة الناتجتين عن المجال الكهربائي يبقى ثابتاً وهو قانون حفظ الطاقة.

d. بالتعويض عن $\vec{E}$ و $\vec{B}$ في معادلة الحركة نجد:

$$m \frac{d}{dt} (v_x \vec{e}_x + v_y \vec{e}_y + v_z \vec{e}_z) = q [E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z] + q \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ v_x & v_y & v_z \\ 0 & 0 & B \end{vmatrix} \quad (3)$$

$$\Rightarrow v_x \vec{e}_x + v_y \vec{e}_y + v_z \vec{e}_z = \frac{q}{m} [E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z + v_y B \vec{e}_x - v_x B \vec{e}_y]$$

بمساواة مركبات المتجهات المتناظرة بين طرفي المعادلة، نجد:

$$v_x = \frac{q}{m} (E_x + B v_y), \quad v_y = \frac{q}{m} (E_y - B v_x), \quad v_z = \frac{q}{m} E_z \quad (3)$$

$$v_z = \frac{q}{m} E_z t + v_z(0) \quad \text{نستنتج أن الجسيم يتحرك باتجاه z حركة متسارعة بتسارع } \frac{q}{m} E_z \quad (2)$$

e. يمكن الحصول على v_x'' و v_y'' من مفاضلة v_x بالنسبة للزمن فنجد $v_x'' = \frac{qB}{m} v_y'$ بالتعويض عن v_y' ينتج أن:

$$v_x'' = \frac{qB}{m} v_y' = \frac{qB}{m} \left[\frac{q}{m} (E_y - B v_x) \right] = \frac{q^2 B^2}{m^2} \left(\frac{E_y}{B} - v_x \right) \Rightarrow v_x'' + \omega_c^2 v_x = \omega_c^2 \frac{E_y}{B} \quad (3)$$

وهي معادلة تفاضلية غير متجانسة حلها العام هو مجموع حلين، حل عام للمتجانسة $v_x'' + \omega_c^2 v_x = 0$ هو

$U \sin(\omega_c t + \phi)$ حيث ϕ و U ثابتي تكامل، ويعطى الحل الخاص بـ $v_x = \frac{E_y}{B}$ وبذلك يكون الحل العام لهذه المعادلة

مساوياً إلى: $v_x = U \sin(\omega_c t + \phi) + \frac{E_y}{B}$ ويمكن إيجاد v_y من المعادلة

$$v_x' = \frac{q}{m} (E_x + B v_y) \Rightarrow v_y = \frac{m}{qB} v_x' - \frac{E_x}{B} = \frac{m}{qB} U \omega_c \cos(\omega t - \phi) - \frac{E_x}{B} = U \cos(\omega t - \phi) - \frac{E_x}{B} \quad (4)$$

نلاحظ أن مركبتي السرعة في المستوي (xy) العمودي على B تهتز بتواترات مساوية للتواتر السيكلوتروني ω_c إضافة

$$\vec{v}_D = \frac{E_y}{B} \vec{e}_x - \frac{E_x}{B} \vec{e}_y = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2} \text{ إلى: } \vec{v}_D = \frac{E_y}{B} \vec{e}_x - \frac{E_x}{B} \vec{e}_y = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2}$$

نستنتج أن سرعة انجراف الإلكترونات والأيونات واحدة، لأن سرعة الانجراف لا تتعلق بكتلة الجسيم أو شحنته. وتُعطى كثافة تيار الانجراف بالصيغة: $\vec{J}_D = \sum_{\alpha} n_{\alpha} q_{\alpha} \vec{v}_D$. تكون قيمة تيار الانجراف للبلازما المتعادلة معدومة، لأن الكثافة الكلية للتيار الكهربائي تساوي صفر ($\vec{J}_D = 0$).

$$|\vec{v}_D| = \left| \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2} \right| = \frac{E}{B} = \frac{10 \frac{\text{KV}}{\text{cm}}}{20 \text{ KG}} = \frac{1 \frac{\text{V}}{10^{-2} \text{ m}}}{2 \times 10^{-4} \text{ T}} = \frac{10^2 \frac{\text{V}}{\text{m}}}{2 \times 10^{-4} \frac{\text{web}}{\text{m}^2}} = \frac{1}{2} \times 10^6 \frac{\frac{\text{V}}{\text{m}}}{\frac{\text{V.s}}{\text{m}^2}} = 5 \times 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad 2.$$

$$T_e = \frac{1}{2} m_e v_D^2 = \frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} \text{ Kg} \left(5 \times 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 113.75 \times 10^{-21} \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} =$$

$$= 113.75 \times 10^{-21} \text{ N.m} = 113.75 \times 10^{-21} \text{ J} = \frac{113.75 \times 10^{-21} \text{ J} \times \text{eV}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}} = 71 \times 10^{-2} \text{ eV}$$

جواب السؤال الثالث (20 درجة)

$$m \frac{d}{dt} \left(\frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2} \right) = q \vec{v}_p \times \vec{B} \Rightarrow \vec{v}_p \times \vec{B} = \frac{m}{q B^2} \frac{d}{dt} (\vec{E}_{\perp} \times \vec{B})$$

$$\vec{B} \times (\vec{v}_p \times \vec{B}) = \frac{m}{q B^2} \frac{d}{dt} [\vec{B} \times (\vec{E}_{\perp} \times \vec{B})]: \text{ يكون } \vec{B} \text{ اليسار بالمتجه } \vec{B}$$

باستخدام خواص الضرب المتجهي لثلاثة متجهات (قاعدة جيبس) نجد:

$$\vec{v}_p (\vec{B} \cdot \vec{B}) - \vec{B} (\vec{B} \cdot \vec{v}_p) = \frac{m}{q B^2} \frac{d}{dt} [\vec{E}_{\perp} (\vec{B} \cdot \vec{B}) - \vec{B} (\vec{B} \cdot \vec{E}_{\perp})] \Rightarrow B^2 \vec{v}_p = \frac{m}{q B^2} \frac{d}{dt} (B^2 \vec{E}_{\perp})$$

$$= \frac{m}{q B^2} B^2 \frac{d \vec{E}_{\perp}}{dt}$$

$$\Rightarrow \vec{v}_p = \frac{m}{q B^2} \frac{d \vec{E}_{\perp}}{dt} \text{ بما أن المجال } \vec{B} \text{ لا يعتمد على الزمن (ثابت ومتجانس في الفضاء). فان:}$$

نعم تتصرف البلازما في هذه الحالة كعازل مستقطب، لأن سرعة الانجراف $\vec{v}_p$ للجسيمات الموجبة تكون بعكس جهة انجراف الجسيمات السالبة، وبالتالي يحدث استقطاب للوسط البلازمي، وتسمى سرعة انجراف الاستقطاب.

$$\vec{J}_p = \frac{1}{V} \sum_i q_i \vec{v}_{pi} = \left(\frac{1}{V} \sum_i m_i \right) \frac{1}{B^2} \left(\frac{\partial \vec{E}_{\perp}}{\partial t} \right) = \frac{\rho_m}{B^2} \left(\frac{\partial \vec{E}_{\perp}}{\partial t} \right) \text{ تُعطى كثافة تيار الاستقطاب بالعلاقة:}$$

جواب السؤال الأول (35 درجة)

1. البلازما: هي حالة المادة المكونة من جسيمات مشحونة ومتعادلة، على أن يكون المجموع الجبري للشحنات الكهربائية يساوي صفراً. وعموماً فإن البلازما هي حالة المادة أثناء وجودها بدرجة عالية من التأين، أي عندما تتحول ذرات المادة إلى أيونات موجبة مع إلكترونات سالبة.

ويمكن أن تكون البلازما من الحالة الصلبة (أشباه الموصلات)، أو الحالة السائلة (المحاليل الألكتروليتية)، أو الحالة الغازية (طبقة الأيونوسفير).

- يتم الحصول على البلازما بالتأين، وذلك كما يلي: نحصل على بلازما كثيفة (تامة التأين) نتيجة تصادم الإلكترونات والأيونات بالذرات المتعادلة وكذلك من تصادم الذرات المتعادلة فيما بينها. أما للحصول على بلازما قليلة التأين، فيتم بواسطة ما يسمى بالتأين في المجالات الكهربائية، أو التأين بالإشعاع ذي الطاقة الكافية للتأين.
- يتم الاهتمام بالبلازما للأسباب الآتية (يكفي ذكر سببين):

أ- البلازما هي الحالة الأكثر شيوعاً للمادة في الكون عند درجات الحرارة العالية.

ب- البلازما موصلة جيدة للتيار الكهربائي ومصدر للضوء.

ت- هي نظام ديناميكي تتحكم به قوى كهرومغناطيسية.

ث- لمعالجة مسائل تقانية مهمة مثل المسائل التي تواجهنا لبناء مفاعلات الاندماج النووي والحراري والتحول المغنوهيدروديناميكي للطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية.

يُعرف طول ديبي بأنه معدل المسافة التي يقع فيها تأثير المجال الكهربائي لجسيم مشحون. يُعطى في الجملة السفلية بالصيغة

$$\lambda_D = \left(\frac{KT_e}{4\pi e^2 n_e} \right)^{1/2} \text{ وتساوي قيمته من أجل المعطيات إلى } \lambda_D = 37.82 \times 10^{-7} m$$

2.

حالة المادة	درجة الحرارة	قوة الترابط بين مكونات المادة
صلبة	$T < 0^\circ C$	قوية
سائلة	$100^\circ C > T > 0^\circ C$	ضعيفة
غازية	$T > 100^\circ C$	معدومة
بلازما	$T > 100000^\circ C$	معدومة

3.

- ينتج عن دوران الجسيمات المشحونة تياراً كهربائياً يدور مما يولد مجالاً مغناطيسياً، يكون هذا المجال معاكساً للمجال المغناطيس المطبق من الخارج. لذا سميت البلازما مادة دايا مغناطيسية.
- لأن كتلة الإلكترونات أقل من كتلة الأيونات ولها القدرة على الحركة أكثر من الأيونات، لذلك يُحسب طول ديبي على أساس الإلكترونات وليس على حساب الأيونات.
- لأن المجال المغناطيسي يؤثر على الجسيمات المشحونة المتحركة بسرعة فقط.
- لأنه يحول الطاقة الأفقية إلى طاقة عمودية.

1.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = q \vec{v} \cdot \vec{E} \quad , \quad m \frac{d\vec{v}}{dt} = q [\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}] \quad , \quad \vec{F}_m = q \vec{v} \times \vec{B} \quad , \quad \vec{F}_e = q \vec{E} \quad (8)$$

بالتعويض في المعادلة السابقة أن $\vec{E} = -\vec{\nabla}\phi$ نحصل على $\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = -q (\vec{v} \cdot \vec{\nabla}\phi) = -q \left(\frac{dr}{dt} \frac{d\phi}{dr} \right)$ بين الإحداثيات المكانية والزمانية نجد: $\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 + q\phi \right) = 0$ نستنتج من هذه المعادلة أن مجموع الطاقتين الحركية والكمونية الناتجتين عن المجال الكهربائي يبقى ثابتاً، وهو قانون حفظ الطاقة في المجال المحافظ. (4)

2.

أ. نجد من التعويض عن $\vec{E}$ و $\vec{B}$ في معادلة الحركة $m \frac{d\vec{v}}{dt} = q [\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}]$ أن:

$$m \frac{d}{dt} (v_x \vec{e}_x + v_y \vec{e}_y + v_z \vec{e}_z) = q [E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z] + q \begin{bmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ v_x & v_y & v_z \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \dot{v}_x \vec{e}_x + \dot{v}_y \vec{e}_y + \dot{v}_z \vec{e}_z = \frac{q}{m} [E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z + v_y B \vec{e}_x - v_x B \vec{e}_y]$$

نجد بمساواة مركبات المتجهات المتناظرة بين طرفي المعادلة:

$$\dot{v}_x = \frac{q}{m} (E_x + B v_y) \quad , \quad \dot{v}_y = \frac{q}{m} (E_y - B v_x) \quad , \quad \dot{v}_z = \frac{q}{m} E_z \quad (6)$$

يمكن من المعادلة الثالثة إيجاد سرعة الجسيم وفق المحور z وذلك بإجراء التكامل مباشرة فنحصل على: $v_z = \frac{q}{m} E_z t + v_z(0)$ نستنتج أن الجسيم يتحرك باتجاه z حركة متسارعة بتسارع $\frac{q}{m} E_z$. وعندما $\vec{E}_z = 0$ ، فإن الجسيم يتحرك حركة مستقيمة منتظمة. (4)

ب. للحصول على $\dot{v}_x$ نشق معادلة $\dot{v}_x$ ونعوض عن $\dot{v}_y$ من المعادلة الثانية في المعادلات الثلاث أعلاه، فنحصل

$$\dot{v}_x = \frac{qB}{m} \dot{v}_y = \frac{qB}{m} \left[\frac{q}{m} (E_y - B v_x) \right] = \frac{q^2 B^2}{m^2} \left(\frac{E_y}{B} - v_x \right)$$

$$\Rightarrow \dot{v}_x = -\omega_c^2 v_x + \omega_c^2 \frac{E_y}{B}$$

حيث $\omega_c = \left| \frac{qB}{m} \right|$ مقدار ثابت يسمى التردد السيكلتروني للبلازما الممغنطة، وتمثل المعادلة أعلاه معادلة تفاضلية غير متجانسة حلها العام هو مجموع حلين: الأول حل عام للمعادلة المتجانسة ويُعطى بالصيغة: $U \sin(\omega_c - \phi)$ حيث U و ϕ ثابتا تكامل، والحل الثاني هو الحل الخاص $\frac{E_y}{B}$ ، وبذلك يكون الحل العام للمعادلة أعلاه هو: $v_x = U \sin(\omega_c - \phi) + \frac{E_y}{B}$ ويمكن إيجاد v_y من المعادلة الأولى من المعادلات الثلاث السابقة كما يلي:

$$\dot{v}_x = \frac{q}{m} (E_x + B v_y) \Rightarrow v_y = \frac{m}{qB} \dot{v}_x - \frac{E_x}{B} = \frac{1}{\omega_c} \dot{v}_x - \frac{E_x}{B}$$

باشتقاق v_x من الحل السابق والتعويض نجد أن السرعة وفق المحور y تساوي إلى:

$$v_y = U \cos(\omega_c - \phi) - \frac{E_x}{B} \quad (3)$$

نستنتج أن مركبتي سرعة الجسيم في المستوي العمودي على $\vec{B}$ (المستوي XY) تهتزان بتواترات مساوية للتواتر السكتروني ω_c إضافة إلى سرعة انجراف في هذا المستوي تساوي إلى: $\vec{v}_D = \frac{E_y}{B} \vec{e}_x - \frac{E_x}{B} \vec{e}_y = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2}$. يتبين أن سرعة انجراف الجسيمات لا تعتمد على سرعتها ولا على كتلتها. (3)

$$v_G = \frac{EB}{B^2} = \frac{E}{B} = \frac{100 \frac{V}{cm}}{2 \frac{web}{m^2}} = 50 \frac{10^{-2} m}{\frac{web}{m^2}} = 50 \times 10^2 \frac{w}{m^2} = 5 \times 10^3 \frac{m}{s} \quad (4)$$

$$1T = \frac{1web}{m^2}, 1V = \frac{Web}{sec} \quad \text{لأن:}$$

جواب السؤال الثالث (20 درجة)

1.

$$m \frac{d}{dt} \left(\frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2} \right) = q \vec{v}_p \times \vec{B} \Rightarrow \vec{v}_p \times \vec{B} = \frac{m}{qB^2} \frac{d}{dt} (\vec{E}_\perp \times \vec{B})$$

$$\vec{B} \times (\vec{v}_p \times \vec{B}) = \frac{m}{qB^2} \frac{d}{dt} [\vec{B} \times (\vec{E}_\perp \times \vec{B})] \quad \text{بضرب طرفي هذه العلاقة خارجياً من اليسار بالمتجه } \vec{B} \text{ يكون:}$$

باستخدام خواص الضرب المتجهي لثلاثة متجهات (قاعدة جيبس) نجد: (10)

$$\vec{v}_p (\vec{B} \cdot \vec{B}) - \vec{B} (\vec{B} \cdot \vec{v}_p) = \frac{m}{qB^2} \frac{d}{dt} [\vec{E}_\perp (\vec{B} \cdot \vec{B}) - \vec{B} (\vec{B} \cdot \vec{E}_\perp)] \Rightarrow B^2 \vec{v}_p = \frac{m}{qB^2} \frac{d}{dt} (B^2 C) = \frac{m}{qB^2} B^2 \frac{d\vec{E}_\perp}{dt}$$

$$\Rightarrow \vec{v}_p = \frac{m}{qB^2} \frac{d\vec{E}_\perp}{dt} \quad \text{بما أن المجال } \vec{B} \text{ لا يعتمد على الزمن (ثابت ومتجانس في الفضاء). فان:} \quad (2)$$

نعم تتصرف البلازما في هذه الحالة كعازل مستقطب، لأن سرعة الانجراف $\vec{v}_p$ للجسيمات الموجبة تكون بعكس جهة انجراف الجسيمات السالبة، وبالتالي يحدث استقطاب للوسط البلازمي، وتسمى سرعة انجراف الاستقطاب. (4)

$$\vec{j}_p = \frac{1}{V} \sum_i q_i \vec{v}_{pi} = \left(\frac{1}{V} \sum_i m_i \right) \frac{1}{B^2} \left(\frac{\partial \vec{E}_\perp}{\partial t} \right) = \frac{\rho_m}{B^2} \left(\frac{\partial \vec{E}_\perp}{\partial t} \right) \quad \text{تُعطي كثافة تيار الاستقطاب بالعلاقة:} \quad (4)$$

امتحان فيزياء البلازما لطلاب السنة الرابعة فيزياء		جامعة طرابلس
الدورة الفصلية الثانية للعام الدراسي 2023 - 2024م		كلية العلوم
مدة الامتحان: ساعتان		قسم الفيزياء
الدرجة العظمى: تسعون		
أسم الطالب:		

أجب عن الأسئلة التالية

السؤال الأول (35 درجة)

- 1- عرّف البلازما، - اذكر سببين من أسباب الاهتمام بدراسة البلازما - ما هو الفرق بين البلازما والغاز من حيث: درجة الحرارة، الموصلية للكهرباء، التأثير بالمجالات الكهرومغناطيسية.
- 2- صل بين حالة المادة ودرجة الحرارة المناسبة لها وقوة الترابط بين مكوناتها الواردة في الجدول التالي:

حالة المادة	درجة الحرارة	قوة الترابط بين مكونات الحالة
صلبة	$T > 100C^0$	ضعيفة
سائلة	$T > 100000 C^0$	قوية
غازية	$100 C^0 > T > 0 C^0$	معدومة
بلازما	$T < 0 C^0$	معدومة

3- أكمل العبارات التالية:

يتم الحصول على بلازما كثيفة نتيجة.....، ويتم الحصول على بلازما قليلة الكثافة بواسطة.....، تعتبر البلازما بغياب التأثيرات الخارجية..... جهرياً، وهذا يعني أن المجموع الجبري للجسيمات المشحونة يساوي.....، وعند النظر بشكل مجهري للبلازما نجد أنها تحتوي على.....، تستخدم عند دراستنا لفيزياء البلازما معاملات، وهي.....، تعتبر البلازما هي المادة الوحيدة التي تحتوي على عدة درجات حرارة بنفس الوقت، لأن.....، يكون احتمال التصادم بين الإلكترونات والأيونات في البلازما صغيراً جداً، لأن.....، يُعرف غلاف ديبيائي بأنه.....

4- علل ما يأتي:

- a. البلازما مادة دايا مغناطيسية.
- b. لحساب طول ديبيائي نستخدم درجة حرارة الإلكترونات وليس درجة حرارة الأيونات.
- c. تأثير المجال المغناطيسي على جسيم مشحون ساكن معدوم.
- d. يستخدم المجال المغناطيسي لحصر البلازما.

السؤال الثاني (30 درجة)

يخضع وسط بلازما لتأثير مجالات كهرومغناطيسية. المطلوب:

- a. تُعطى معادلة حركة الجسيم بالصيغة $m \frac{d\vec{v}}{dt} = \dots\dots\dots$
- b. اثبت أن الطاقة الحركية للجسيم المشحون لا تعتمد على شدة الحقل المغناطيسي.
- c. بفرض أن المجال الكهربائي $\vec{E}$ ينتج من جهد كهربائي سلمي $(\vec{E} = -\vec{\nabla}\phi)$. استنتج قانون حفظ الطاقة الكلية.
- d. يُطبق المجال $\vec{B}$ باتجاه المحور z ($B = B\vec{e}_z$)، وأن $\vec{E} = E\vec{e}_x + E\vec{e}_y + E\vec{e}_z$. احسب v_x, v_y, v_z (مركبات التسارع)، ثم احسب السرعة v_z ، ما هو نوع الحركة وفق المحور z ؟
- e. بفرض أن $v_x = \frac{q}{m}(E_x + Bv_y)$ ، $v_y = \frac{q}{m}(E_y - Bv_x)$. أوجد المعادلتين التفاضليتين لـ v_x و v_y واكتب حلها العام x و y . ماذا تستنتج من مركبتي سرعة الجسيم في المستوي (x,y) العمودي على $\vec{B}$ ؟
- f. يؤثر مجال مغناطيسي مقداره $2T$ على بلازما بوجود مجال كهربائي مقداره $\left(100 \frac{V}{cm}\right)$ ، ما هو مقدار سرعة الانحراف للجسيمات؟ هل تكون سرعة الانحراف للإلكترونات وللأيونات متساوية في هذه الحالة؟ علل إجابتك.

علماً أن $1T = \frac{1V \cdot sec}{m^2}$

يتبع على الصفحة الثانية

السؤال الثالث (25 درجة)

1. يخضع وسط بلازمي إلى مجال مغناطيسي $\vec{B}$ ثابت ومتجانس، ولـمجال كهربائي $\vec{E}$ متغير ببطء مع الزمن وعمودي على $\vec{B}$.

a. أثبت باستخدام العلاقة $m \frac{d}{dt} \left(\frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2} \right) = q \vec{v}_p \times \vec{B}$ أن سرعة الجسيم $\vec{v}_p$ تساوي إلى: $\vec{v}_p = \frac{m}{qB^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

b. هل تتصرف البلازما في هذه الحالة كعازل مستقطب؟ علل ذلك.

2. يمثل $d^6 N_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t) = f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t) d^3 r d^3 v$ عدد الجسيمات من النوع α في اللحظة الزمنية t داخل عنصر الحجم $d^3 r d^3 v$ في فضاء الطور حول الإحداثيات $(\vec{r}, \vec{v})$. وبفرض أن كل جسيم يتعرض لقوة خارجية $\vec{F}$ وبغياب التفاعل بين الجسيمات، سيتم العثور على الجسيم بعد فاصل dt عند إحداثيات جديدة $(\vec{r}', \vec{v}')$ والمطلوب:

a. يكون $\vec{r}'(t+dt) = \dots\dots\dots$, $\vec{v}'(t+dt) = \dots\dots\dots$

b. إذا أخذنا نفس الجسيمات عند t وعند $t+dt$ فيكون عندئذٍ $f_\alpha(\vec{r}', \vec{v}', t+dt) d^3 r' d^3 v' = \dots\dots\dots$

c. وتعطى العلاقة بين عنصر الحجم الجديد وعنصر الحجم الابتدائي بالصيغة $d^3 r' d^3 v' = \dots\dots\dots$ ، وعندما يكون الجاكوبي $|J| = 1$ ، فإننا نحصل في هذه الحالة على: $[f_\alpha(\vec{r}', \vec{v}', t+dt) - f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t)] d^3 r d^3 v = \dots\dots\dots$

d. استخدم منشور تايلور للحد $f_\alpha(\vec{r}', \vec{v}', t+dt)$ في الطلب c حول $f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t)$ مختفياً بالنشر حتى المرتبة الأولى لاستنتاج معادلة بولتزمان التالية:

$$\frac{\partial f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t)}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t) + \vec{a} \cdot \vec{\nabla}_v f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t) = 0$$

e. اكتب معادلة بولتزمان السابقة باستخدام المؤثر التالي $\frac{D}{Dt} = \frac{\partial f}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} + \vec{a} \cdot \vec{\nabla}_v$ ، ماذا نستنتج؟

f. احسب الثابت c لتابع توزيع سرعة الجسيمات في الحالة التالية $f(v) = \begin{cases} c \sin(v) & \text{for } v \in [0, \pi] \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$

تمنياتي لكم بالتوفيق والنجاح

أ. د. محمد حسن فاهود

طرطوس في 2024/7/17



جواب السؤال الأول (35 درجة)

(4)

1. البلازما: هي حالة المادة المكونة من جسيمات مشحونة ومتعادلة، على أن يكون المجموع الجبري للشحنات الكهربائية يساوي صفراً. وعموماً فإن البلازما هي حالة المادة أثناء وجودها بدرجة عالية من التأين، أي عندما تتحول ذرات المادة إلى أيونات موجبة مع إلكترونات سالبة.

ويمكن أن تكون البلازما من الحالة الصلبة (أشباه الموصلات)، أو الحالة السائلة (المحاليل الألكتروليتية)، أو الحالة الغازية (طبقة الأيونوسفير).

• يتم الاهتمام بالبلازما للأسباب الآتية:

(4)

- البلازما هي الحالة الأكثر شيوعاً للمادة في الكون عند درجات الحرارة العالية.
- البلازما موصلة جيدة للتيار الكهربائي ومصدر للضوء.
- هي نظام ديناميكي تتحكم به قوى كهرومغناطيسية.
- لمعالجة مسائل تقانية مهمة مثل المسائل التي تواجهنا لبناء مفاعلات الاندماج النووي الحراري والتحول المغنوهيدروديناميكي للطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية.
- المقارنة بين البلازما والغاز من حيث:

درجة حرارة البلازما أعلى من درجة حرارة الغاز.

(2)

البلازما موصلة للكهرباء، بينما الغاز رديء التوصيل.

(2)

البلازما تؤثر وتتأثر بالحقول الكهرومغناطيسية، في حين لا ينفذ الحقل المغناطيسي في البلازما إلا في حالة كون كثافة ودرجة حرارة البلازما قليلة، في حين أن الغازات لا تتأثر بالحقول الكهرومغناطيسية بأية كثافة.

(2)

2.

حالة المادة	درجة الحرارة	قوة الترابط بين مكونات الحالة
صلبة	$T < 0^\circ\text{C}$	قوية
سائلة	$100^\circ\text{C} > T > 0^\circ\text{C}$	ضعيفة
غازية	$T > 100^\circ\text{C}$	معدومة
بلازما	$T > 100000^\circ\text{C}$	معدومة

(5)

3. يتم الحصول على بلازما كثيفة نتيجة تصادم الإلكترونات والأيونات بالذرات المتعادلة والذرات المتعادلة فيما بينها،

ويتم الحصول على بلازما قليلة التأين بوساطة ما يسمى التأين في المجالات الكهربائية، أو التأين بالإشعاع ذي الطاقة الكافية للتأين. تعتبر البلازما بغياب التأثيرات الخارجية متعادلة جبرياً، وهذا يعني أن المجموع الجبري للجسيمات المشحونة يساوي صفراً، وعند النظر بشكل مجهرى للبلازما نجد أنها تحتوي على جسيمات مشحونة ومتعادلة، نستخدم عند دراستنا لفيزياء البلازما معاملات، وهي تركيز الأيونات الموجبة والسالبة، ودرجة التأين، درجة الحرارة، نصف قطر ديبي، معامل البلازما n ، تعتبر البلازما هي المادة الوحيدة التي تحتوي على عدة

(8)

درجات حرارة بنفس الوقت، لأن للإلكترونات وللايونات درجات حرارة مختلفة، يكون احتمال التصادم بين الإلكترونات والأيونات في البلازما صغير جداً، لأن سرعة الإلكترونات تختلف عن سرعة الأيونات، يعرف غلاف ديبي بأنه معدل المسافة التي يقع فيها تأثير المجال الكهربائي لجسيم مشحون.

- a. ينتج عن دوران الجسيمات المشحونة تياراً كهربائياً يدور مما يولد حقلاً مغناطيسياً، يكون هذا الحقل معاكساً للحقل المغناطيس المطبق من الخارج. لذا سميت البلازما مادة دايا مغناطيسية لأنها تولد حقلاً مغناطيسياً معاكساً للمجال المغناطيسي الأصلي المطبق من الخارج.
- b. لأن كتلة الإلكترونات أقل من كتلة الأيونات ولها القدرة على الحركة أكثر من الأيونات، لذلك يُحسب طول ديبراي على أساس الإلكترونات وليس على أساس الأيونات.
- c. لأن المجال المغناطيسي يؤثر على الجسيمات المشحونة والمتحركة بسرعة.
- d. لأنه يحول الطاقة الأفقية إلى طاقة عمودية.

جواب السؤال الثاني (30 درجة)

$$2 \quad a. \quad m \frac{d\vec{v}}{dt} = q[\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}]$$

- b. بضرب طرفي معادلة الحركة السابقة $m \frac{d\vec{v}}{dt} = q[\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}]$ سلميياً بمتجه السرعة $\vec{v}$ نحصل على:
- $$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = q \vec{v} \cdot \vec{E}$$
- نجد أن الطاقة الحركية للجسيم المشحون لا تعتمد على شدة الحقل المغناطيسي.

- c. بالتعويض عن $(\vec{E} = -\vec{\nabla} \phi)$ في عبارة تفاضل الطاقة الحركية $\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = q \vec{v} \cdot \vec{E}$ نحصل على

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = -q \vec{v} \cdot \vec{\nabla} \phi = - \left(\frac{d\vec{r}}{dt} \cdot \frac{d\phi}{d\vec{r}} \right)$$

بمبادلة التفاضل بين الإحداثيات الزمانية والمكانية نجد:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = -q \left(\frac{d\phi}{dt} \right) \Rightarrow \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 + q\phi \right) = 0$$

- والكامنة الناتجتين عن المجال الكهربائي يبقى ثابتاً وهو قانون حفظ الطاقة.
- d. بالتعويض عن $\vec{E}$ و $\vec{B}$ في معادلة الحركة نجد:

$$m \frac{d}{dt} (v_x \vec{e}_x + v_y \vec{e}_y + v_z \vec{e}_z) = q [E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z] + q \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ v_x & v_y & v_z \\ 0 & 0 & B \end{vmatrix}$$

$$\Rightarrow v_x \dot{\vec{e}}_x + v_y \dot{\vec{e}}_y + v_z \dot{\vec{e}}_z = \frac{q}{m} [E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z + v_y B \vec{e}_x - v_x B \vec{e}_y]$$

بمساواة مركبات المتجهات المتناظرة بين طرفي المعادلة، نجد:

$$v_x \dot{\vec{e}}_x = \frac{q}{m} (E_x + B v_y) , \quad v_y \dot{\vec{e}}_y = \frac{q}{m} (E_y - B v_x) , \quad v_z \dot{\vec{e}}_z = \frac{q}{m} E_z$$

$$2 \quad v_z = \frac{q}{m} E_z t + v_z(0) \quad \text{نستنتج أن الجسيم يتحرك باتجاه z حركة متسارعة بتسارع } \frac{q}{m} E_z$$

- e. يمكن الحصول على v_x و v_y من مفاضلة v_x بالنسبة للزمن فنجد $v_x \dot{\vec{e}}_x = \frac{qB}{m} v_y$ بالتعويض عن v_y ينتج

$$2 \quad \text{أن: } v_x \dot{\vec{e}}_x = \frac{qB}{m} v_y = \frac{qB}{m} \left[\frac{q}{m} (E_y - B v_x) \right] = \frac{q^2 B^2}{m^2} \left(\frac{E_y}{B} - v_x \right) \Rightarrow v_x \dot{\vec{e}}_x + \omega_c^2 v_x = \omega_c^2 \frac{E_y}{B}$$

وهي معادلة تفاضلية غير متجانسة حلها العام هو مجموع حلين، حل عام للمتجانسة $v_x + \omega_c^2 v_x = 0$ هو $v_x = \frac{E_y}{B}$ وبذلك يكون الحل العام لهذه

المعادلة مساوياً إلى: $v_x = U \sin(\omega_c t + \phi) + \frac{E_y}{B}$ ويمكن إيجاد v_y من المعادلة

$$v_y = \frac{q}{m} (E_x + B v_x) \Rightarrow v_y = \frac{m}{qB} v_x - \frac{E_x}{B} = \frac{m}{qB} U \omega_c \cos(\omega_c t + \phi) - \frac{E_x}{B} = U \cos(\omega_c t + \phi) - \frac{E_x}{B}$$

نلاحظ أن مركبتي السرعة في المستوي (x, y) العمودي على B تهتز بتواترات مساوية للتواتر السيكلوتروني

2. إضافة إلى سرعة انجراف في هذا المستوي والتي تساوي إلى: $\vec{v}_D = \frac{E_y}{B} \hat{x} - \frac{E_x}{B} \hat{y} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2}$

f. ب- يكون مقدار هذه السرعة عندما $\vec{E} \perp \vec{B}$ مساوياً إلى: $v_D = \frac{E}{B} = \frac{10^4 T m}{2 T s} = 5 \times 10^3 m s^{-1}$

جواب السؤال الثالث (30 درجة)

1.

a. انطلاقاً من العلاقة $m \frac{d}{dt} \left(\frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2} \right) = q \vec{v}_p \times \vec{B}$ وبضرب طرفي هذه العلاقة خارجياً من اليسار بـ $\vec{B}$ يكون:

$$\vec{B} \times (\vec{v}_p \times \vec{B}) = \frac{m}{qB} \frac{d}{dt} [\vec{B} \times (\vec{E} \times \vec{B})]$$

$$\vec{v}_p (\vec{B} \cdot \vec{B}) - B (\vec{B} \cdot \vec{v}_p) = \frac{m}{qB^2} \frac{d}{dt} [\vec{E} (\vec{B} \cdot \vec{B}) - \vec{B} (\vec{B} \cdot \vec{E})] \Rightarrow B^2 \vec{v}_p = \frac{m}{qB^2} \frac{d}{dt} (B^2 \vec{E}) = \frac{m}{qB^2} B^2 \frac{d\vec{E}}{dt}$$

بما أن الحقل $\vec{B}$ لا يعتمد على الزمن (ثابت ومتجانس في الفضاء). فإن:

$$\Rightarrow \vec{v}_p = \frac{m}{qB^2} \frac{d\vec{E}}{dt}$$

b. نعم تتصرف البلازما في هذه الحالة كعازل مستقطب، لأن سرعة الانجراف $\vec{v}_p$ للجسيمات الموجبة تكون بعكس

جهة انجراف الجسيمات السالبة، وبالتالي يحدث استقطاب للوسط البلازمي، وتسمى سرعة انجراف الاستقطاب.

2.

$$\vec{r}'(t+dt) = \vec{r}(t) + \vec{v} dt \quad a.$$

$$\vec{v}'(t+dt) = \vec{v}(t) + \vec{a} dt \quad b.$$

$$f_\alpha(\vec{r}', \vec{v}', t+dt) d^3 r' d^3 v' = f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t) d^3 r d^3 v \quad c.$$

$$d^3 r' d^3 v' = |J| d^3 r d^3 v$$

$$[f_\alpha(\vec{r}', \vec{v}', t+dt) - f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t)] d^3 r d^3 v = 0 \quad d.$$

$$f_\alpha(\vec{r}', \vec{v}', t+dt) = f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t) + \left[\frac{\partial f_\alpha}{\partial t} + \left(v_x \frac{\partial f_\alpha}{\partial x} + v_y \frac{\partial f_\alpha}{\partial y} + v_z \frac{\partial f_\alpha}{\partial z} \right) + \left(a_x \frac{\partial f_\alpha}{\partial v_x} + a_y \frac{\partial f_\alpha}{\partial v_y} + a_z \frac{\partial f_\alpha}{\partial v_z} \right) \right] dt \quad e.$$

بإستخدام $\vec{V} = e_x \frac{\partial}{\partial x} + e_y \frac{\partial}{\partial y} + e_z \frac{\partial}{\partial z}$ نحصل من المنشور السابق على:

$$f_a(\vec{r}', \vec{v}', t + dt) = f_a(\vec{r}, \vec{v}, t) + \left[\frac{\partial f_a(\vec{r}, \vec{v}, t)}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla f_a(\vec{r}, \vec{v}, t) + \vec{a} \cdot \nabla f_a(\vec{r}, \vec{v}, t) \right] dt$$

$$\frac{\partial f_a(\vec{r}, \vec{v}, t)}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla f_a(\vec{r}, \vec{v}, t) + \vec{a} \cdot \nabla f_a(\vec{r}, \vec{v}, t) = 0$$

$$\frac{Df_a(\vec{r}, \vec{v}, t)}{dt} = 0$$

نحصل على e

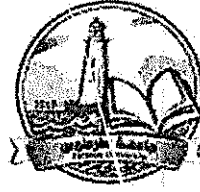
تُعبّر هذه العلاقة عن قانون حفظ الكثافة للنقاط الممثلة في فضاء الطور وتعرف هذه النتيجة بنظرية ليوفيل.

$$n = c \int_0^\pi \sin v dv = -c \cos v \Big|_0^\pi = [-1 - 1]c = -2c \Rightarrow c = \frac{n}{2} \quad .f$$

أ. د. محمد حسن فاهود

طرطوس في 17 / 7 / 2024م

مكتبة
A102



أجب عن الأسئلة التالية

السؤال الأول (30 درجة)

- 1- عرّف البلازما، واذكر باختصار كيف يتم الحصول على البلازما. اذكر سببين من أسباب الاهتمام بدراسة البلازما - ما هو الفرق بين البلازما والغاز من حيث: درجة الحرارة، الموصلية للكهرباء، التأثير والمجالات الكهرومغناطيسية.
- 2- علل ما يأتي:

- أ- البلازما مادة دايامغناطيسية.
 - ب- لحساب طول ديبي نستخدم درجة حرارة الإلكترونات وليس درجة حرارة الأيونات.
 - ت- تأثير المجال المغناطيسي على جسيم مشحون ساكن معدوم.
 - ث- يستخدم المجال المغناطيسي لحصر البلازما.
- 3- احسب λ_D و ω_{pe} (طول ديبي و تردد البلازما) لبلازما طبقة أيونوسفير الأرض، علماً أن التركيز الإلكتروني $n_e = 10^6 \text{ cm}^{-3}$ ودرجة حرارة الإلكترونات $KT_e = 0.2 \text{ eV}$.

النسبة: في الجملة الدولية

$$m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}, \quad \epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}, \quad e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}, \quad k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

يمكن اعتبار $e^2 = 14.4 \times 10^{-10} \text{ eV.m}$ في الجملة الثغنية.

السؤال الثاني (30 درجة)

يتحرك جسيم شحنته q وكتلته m بسرعة $\vec{v}$ ، ويخضع لمجالات كهرومغناطيسية، المطلوب:

- أ- اكتب فقط صيغة معادلة حركة الجسيم.
- ب- يُطبق المجال $\vec{B}$ باتجاه المحور z ($B = B\vec{e}_z$)، وأن $\vec{E} = E\vec{e}_x + E\vec{e}_y + E\vec{e}_z$. احسب $\vec{v}_x, \vec{v}_y, \vec{v}_z$ ثم احسب السرعة v_z ، ماهو نوع الحركة وفق المحور z ؟

- ت- يفرض أن $\vec{E} = 0$ و $\vec{B}$ ثابت ومنتظم. وتكون حركة الجسيم دائرية حول $\vec{B}$. احسب من معادلة الحركة الدورانية نصف قطر الدوران (r_L نصف قطر لارمر). هل يكون نصف قطر لارمر للإلكترون وللايونات؟ علل اجابتك.

- ث- أعطى سرعة الجسيم نتيجة تأثير مجالات كهرومغناطيسية ثابتة ومنتظمة بالصيغة:

$$\vec{v}(t) = \vec{\omega} \times \vec{r}_c + \frac{\vec{E}_\perp \times \vec{B}}{B^2} + \frac{q\vec{E}_\parallel}{m}t + \vec{v}_\parallel(0)$$

ماذا يمثل كل حد من حدود هذه السرعة؟ هل تعتمد سرعة انجراف الجسيم على كتلته أو على نوع شحنته؟ ما هي كثافة تيار الانجراف في هذه الحالة؟

يتبع على الصفحة الثانية

السؤال الثالث (30 درجة)

1. يخضع وسط بلازمي إلى مجال مغناطيسي $\vec{B}$ ثابت ومتجانس، ومجال كهربائي $\vec{E}$ متغير ببطء مع الزمن وعمودي على $\vec{B}$.

أ- اثبت باستخدام العلاقة $\vec{E} \times \vec{B} = q \vec{v}_p \times \vec{B}$ أن سرعة الجسيم $\vec{v}_p$ تساوي إلى: $\vec{v}_p = \frac{m}{qB^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

ب- هل تتصرف البلازما في هذه الحالة كعازل مستقطب؟ علل ذلك.

ت- إذا أمكن التعبير عن سرعة الحركة المستقطبة للجسيم في المستوي (xy) على النحو:

$$\vec{v}_\perp = \vec{v}_m + \frac{q}{m} \vec{E}_{0R} t e^{-i\omega_c t} \quad \text{for } q < 0 \quad \vec{v}_\perp = \vec{v}_m + \frac{q}{m} \vec{E}_{0L} t e^{-i\omega_c t} \quad \text{for } q > 0$$

كيف تتغير سرعة الجسيم مع مرور الزمن؟ ما هو مسار الجسيم في هذه الحالة؟ وما هي الفائدة من تطبيق مجالات مغناطيسية متغيرة مع الزمن على البلازما؟

2. يمثل $d^6 N_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t) = f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t) d^3 r d^3 v$ عدد الجسيمات من النوع α في اللحظة الزمنية t داخل عنصر الحجم $d^3 r d^3 v$ في فضاء الطور حول الإحداثيات $(\vec{r}, \vec{v})$. وفرض أن كل جسيم يتعرض لقوة خارجية $\vec{F}$ وبغياب التفاعل بين الجسيمات، سيتم العثور على الجسيم بعد فاصل dt عند إحداثيات جديدة $(\vec{r}', \vec{v}')$ والمطلوب:

أ- يكون $\vec{r}'(t+dt) = \dots\dots\dots$, $\vec{v}'(t+dt) = \dots\dots\dots$

ب- إذا أخذنا نفس الجسيمات عند t وعند $t+dt$ فيكون عندئذٍ $f_\alpha(\vec{r}', \vec{v}', t+dt) d^3 r' d^3 v' = \dots\dots\dots$

ت- وتعطى العلاقة بين عنصر الحجم الجديد وعنصر الحجم الابتدائي بالصيغة $d^3 r' d^3 v' = \dots\dots\dots$ وعندما يكون الجاكوبي $|J| = 1$ ، فإننا نحصل في هذه الحالة على:

$$[f_\alpha(\vec{r}', \vec{v}', t+dt) - f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t)] d^3 r d^3 v = \dots\dots\dots$$

ث- استخدم منشور تاييلور للحد $f_\alpha(\vec{r}', \vec{v}', t+dt)$ في الطلب ت حول $f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t)$ مكتفياً بالنشر حتى المرتبة الأولى لاستنتاج معادلة بولتزمان التالية:

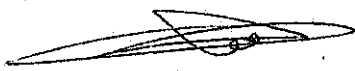
$$\frac{\partial f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t)}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t) + \vec{a} \cdot \vec{\nabla}_v f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t) = 0$$

ج- اكتب معادلة بولتزمان السابقة باستخدام المؤثر التالي $\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} + \vec{a} \cdot \vec{\nabla}_v$ ، ماذا تستنتج؟

تمنياتي لكم بالتوفيق والنجاح

أ.د. محمد حسن فاهود

طرس في 2024/2/18



جواب السؤال الاول (30 درجة)

1. البلازما: هي حالة المادة المكونة من جسيمات مشحونة ومتعادلة، على أن يكون المجموع الجبري للشحنات الكهربائية يساوي صفراً. وعموماً فإن البلازما هي حالة المادة أثناء وجودها بدرجة عالية من التأين، أي عندما تتحول ذرات المادة إلى أيونات موجبة مع الكترولونات سالبة. (4)

ويمكن أن تكون البلازما من الحالة الصلبة (أشباه الموصلات)، أو الحالة السائلة (المحاليل الألكترونية)، أو الحالة الغازية (طبقة الأيونوسفير).

- يتم الحصول على البلازما بالتأين، وذلك كما يلي: نحصل على بلازما كثيفة نتيجة تصادم الإلكترونات والأيونات بالذرات المتعادلة وكذلك من تصادم الذرات المتعادلة فيما بينها. أما للحصول على بلازما قليلة التأين فيتم بواسطة ما يسمى بالتأين في المجالات الكهربائية، أو التأين بالإشعاع ذي الطاقة الكافية للتأين.
- يتم الاهتمام بالبلازما للأسباب الآتية (تُعطى العلامة عند ذكر اثنين مما يلي):

- أ- البلازما هي الحالة الأكثر شيوعاً للمادة في الكون عند درجات الحرارة العالية.
- ب- البلازما موصلة جيدة للتيار الكهربائي ومصدر للضوء.
- ت- هي نظام ديناميكي تتحكم به قوى كهرومغناطيسية.
- ث- لمعالجة مسائل تقانية مهمة مثل المسائل التي تواجهنا لبناء مفاعلات الاندماج النووي الحراري والتحول المغنوهيدروديناميكي للطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية.

- المقارنة بين البلازما والغاز

 - أ- درجة حرارة البلازما أعلى من درجة حرارة الغاز.
 - ب- البلازما موصلة للكهرباء، بينما الغاز رديء التوصيل.
 - ت- البلازما تؤثر وتتأثر بالحقول الكهرومغناطيسية، في حين لا ينفذ المجال المغناطيسي في البلازما إلا في حالة كون كثافة ودرجة حرارة البلازما قليلة، في حين أن الغازات لا تتأثر بالمجالات الكهرومغناطيسية بأية كثافة.

2.

- أ- ينتج عن دوران الجسيمات المشحونة تياراً كهربائياً يدور مما يولد مجالاً مغناطيسياً، يكون هذا المجال معاكساً للمجال المغناطيس المطبق من الخارج. لذا سميت البلازما مادة دايا مغناطيسية.
- ب- لأن كتلة الإلكترونات أقل من كتلة الأيونات ولها القدرة على الحركة أكثر من الأيونات، لذلك يُحسب طول ديبي على أساس الإلكترونات وليس على حساب الأيونات.
- ت- لأن المجال المغناطيسي يؤثر على الجسيمات المشحونة المتحركة بسرعة فقط وذلك حسب قانون لورنتز

$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$$

ث- لأنه يحول الطاقة الأفقية إلى طاقة عمودية.

$$\lambda_D = \left(\frac{k_B T}{4\pi e^2 n} \right)^{1/2} = \left(\frac{0.2}{4\pi \times 14.4 \times 10^{-10} \times 10^{18}} \right)^{1/2} \approx 0.033 \times 10^{-4} m$$

3. طول ديبي (3)
تردد البلازما : ω_{pe}

$$\omega_{pe} = \left(\frac{e^2 n_e}{\epsilon_0 m_e} \right)^{1/2} = \left(\frac{(1.6 \times 10^{-19})^2 \times 10^{12}}{8.85 \times 10^{-12} \times 9.1 \times 10^{-31}} \right)^{1/2} = (0.032 \times 10^{17})^{1/2} = 0.565 \times 10^8 \text{ Hz}$$

جواب السؤال الثاني (30 درجة)

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

ب- نجد من التعويض عن $\vec{E}$ و $\vec{B}$ في معادلة الحركة أن:

$$m \frac{d}{dt} (v_x \vec{e}_x + v_y \vec{e}_y + v_z \vec{e}_z) = q [E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z] + q \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ v_x & v_y & v_z \\ 0 & 0 & B \end{vmatrix} \quad \text{(3)}$$

$$\Rightarrow v_x \vec{e}_x + v_y \vec{e}_y + v_z \vec{e}_z = \frac{q}{m} [E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z + v_y B \vec{e}_x - v_x B \vec{e}_y]$$

نجد بمساواة مركبات المتجهات المتناظرة بين طرفي المعادلة:

$$v_x = \frac{q}{m} (E_x + B v_y) , \quad v_y = \frac{q}{m} (E_y - B v_x) , \quad v_z = \frac{q}{m} E_z \quad \text{(3)}$$

$$v_z = \frac{q}{m} E_z t + v_z(0) \quad \text{(3)}$$

ت- لدينا من معادلة الحركة الدورانية $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \Rightarrow m \vec{a}_n = q v_\perp B$ حيث

$$a_n = \frac{v_\perp^2}{r} \Rightarrow m \frac{v_\perp^2}{r} = q v_\perp B \Rightarrow r_L = \frac{m v_\perp}{q B} = \frac{v_\perp}{\omega_c} \quad \text{(4)}$$

حيث $\omega_c = \frac{|q|B}{m}$ نجد أن نصف لارمر للإلكترون أصغر من نصف قطر لارمر للأيون لأن كتلة الإلكترون أصغر من كتلة الأيون. (4)

ث- يُعبر الحد الأول عن حركة دورانية للجسيم حول المجال $\vec{B}$ ، ويُعبر الحد الثاني عن سرعة انجراف مركز التوجيه باتجاه عمودي على كل من $\vec{E}$ و $\vec{B}$ ، ويُعبر الحد الثالث عن حركة متسارعة باتجاه المركبة الموازية للمجال $\vec{E}$ ، ويُعبر الحد الأخير عن سرعة ابتدائية. لا تعتمد سرعة الانجراف على كتلة الجسيم ولا على نوع شحنته، وتكون الكثافة الكلية لتيار الانجراف $\vec{J}_D = \sum_\alpha n_\alpha q_\alpha \vec{v}_D$ مساوية للصفر. (10)

جواب السؤال الثالث (30 درجة)

1.

$$\text{أ. انطلاقاً من العلاقة } \left(\frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2} \right) = q \vec{v}_p \times \vec{B} \Rightarrow \vec{v}_p \times \vec{B} = \frac{m}{q B^2} \frac{d}{dt} (\vec{E}_\perp \times \vec{B})$$

بضرب طرفي هذه العلاقة خارجياً من اليسار بالمتجه $\vec{B}$ يكون:

$$\vec{B} \times (\vec{v}_p \times \vec{B}) = \frac{m}{q B^2} \frac{d}{dt} [\vec{B} \times (\vec{E}_\perp \times \vec{B})] \quad \text{(2)}$$

باستخدام خواص الضرب المتجهي لثلاثة متجهات (قاعدة جيبس) نجد:

$$\dot{v}_p (\dot{B} \cdot \dot{B}) - \dot{B} (\dot{B} \cdot \dot{v}_p) = -\frac{m}{qB^2} \frac{d}{dt} [\dot{E}_\perp (\dot{B} \cdot \dot{B}) - \dot{E}_\perp (\dot{B} \cdot \dot{E}_\perp)] \Rightarrow B^2 \dot{v}_p = \frac{m}{qB^2} \frac{d}{dt} (B^2 \dot{E}_\perp) = \frac{m}{qB^2} B^2 \frac{d\dot{E}_\perp}{dt} \quad (3)$$

بما أن المجال $\vec{B}$ لا يعتمد على الزمن (ثابت ومتجانس في الفضاء). فإن:

$$\Rightarrow \dot{v}_p = \frac{m}{qB^2} \frac{d\dot{E}_\perp}{dt} \quad (2)$$

ب. نعم تتصرف البلازما في هذه الحالة كعازل مستقطب، لأن سرعة الانجراف $\vec{v}_p$ للجسيمات الموجبة تكون بعكس جهة انجراف الجسيمات السالبة، وبالتالي يحدث استقطاب للوسط البلازمي، وتسمى سرعة انجراف الاستقطاب. (3)

ب. تزداد سرعة الجسيم بشكل غير محدود مع الزمن، وبالتالي يتحرك الجسيم حركة دورانية حول المجال $\vec{B}$ في دوائر لها أنصاف أقطار متزايدة باستمرار مع زيادة الزمن. (2)

2.

$$\vec{r}'(t+dt) = \vec{r}(t) + \vec{v} dt$$

$$\vec{v}'(t+dt) = \vec{v}(t) + \vec{a} dt$$

$$f_\alpha(\vec{r}', \vec{v}', t+dt) d^3r' d^3v' = f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t) d^3r d^3v$$

$$d^3r' d^3v' = |J| d^3r d^3v$$

$$[f_\alpha(\vec{r}', \vec{v}', t+dt) - f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t)] d^3r d^3v = 0$$

$$f_\alpha(\vec{r}', \vec{v}', t+dt) = f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t) + \left[\frac{\partial f_\alpha}{\partial t} + \left(v_x \frac{\partial f_\alpha}{\partial x} + v_y \frac{\partial f_\alpha}{\partial y} + v_z \frac{\partial f_\alpha}{\partial z} \right) + \left(a_x \frac{\partial f_\alpha}{\partial v_x} + a_y \frac{\partial f_\alpha}{\partial v_y} + a_z \frac{\partial f_\alpha}{\partial v_z} \right) \right] dt \quad (3)$$

$$\text{باستخدام } \vec{\nabla} = \vec{e}_x \frac{\partial}{\partial x} + \vec{e}_y \frac{\partial}{\partial y} + \vec{e}_z \frac{\partial}{\partial z} \quad (2) \quad \vec{\nabla}_v = \vec{e}_x \frac{\partial}{\partial v_x} + \vec{e}_y \frac{\partial}{\partial v_y} + \vec{e}_z \frac{\partial}{\partial v_z} \quad \text{نحصل من المنشور السابق على:}$$

$$\text{بالتعويض في العلاقة في الطلب } f_\alpha(\vec{r}', \vec{v}', t+dt) = f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t) + \left[\frac{\partial f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t)}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t) + \vec{a} \cdot \vec{\nabla}_v f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t) \right] dt \quad (2)$$

$$\frac{\partial f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t)}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t) + \vec{a} \cdot \vec{\nabla}_v f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t) = 0$$

أ. نحصل على

$$\frac{Df_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t)}{dt} = 0 \quad (1)$$

تعبّر هذه العلاقة عن قانون حفظ الكثافة للنقاط الممثلة في فضاء الطور وتعرف هذه النتيجة بنظرية ليوفيل.

أ. د. محمد حسن فاهود

طرطوس في: 18/2/2024م

سلم تصحيح امتحان أسئلة مقر البلازما لطلاب السنة الرابعة فيزياء - الدورة التكميلية للعام الدراسي 2022-2023

جواب السؤال الأول (30 درجة)

1. البلازما: هي حالة المادة المكونة من جسيمات مشحونة ومتعادلة، على أن يكون المجموع الجبري للشحنات الكهربائية يساوي صفراً. وعموماً فإن البلازما هي حالة المادة أثناء وجودها بدرجة عالية من التأين، أي عندما تتحول ذرات المادة إلى أيونات موجبة مع إلكترونات سالبة.

ويمكن أن تكون البلازما من الحالة الصلبة (أشباه الموصلات)، أو الحالة السائلة (المحاليل الألكتروليتية)، أو الحالة الغازية (طبقة الأيونوسفير).

- درجة حرارة البلازما أعلى من درجة حرارة الغاز.
- البلازما موصلة للكهرباء، بينما الغاز رديء التوصيل.
- البلازما تؤثر وتتأثر بالحقول الكهرومغناطيسية، في حين لا ينفذ الحقل المغناطيسي في البلازما إلا في حالة كون كثافة ودرجة حرارة البلازما قليلة، في حين أن الغازات لا تتأثر بالحقول الكهرومغناطيسية بأية كثافة.

2.

- أ- لأن كتلة الإلكترونات أقل من كتلة الأيونات وبالتالي فلها القدرة على الحركة أكثر من الأيونات، لذلك يُحسب طول ديبي على أساس الإلكترونات وليس على حساب الأيونات.
- ب- لأن كتل الأيون أكبر من كتلة الإلكترون.

ت- تُعطى سرعة الانحراف في البلازما بالعلاقة $\vec{v}_D = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2}$ ، لا تعتمد هذه السرعة على كتلة الجسيم أو شحنته،

لذلك فإن جميع الجسيمات المشحونة في البلازما تتحرك معاً بنفس السرعة (مقدار ثابت).

ث- لأن الحقل المغناطيسي يجعل الجسيمات تتحرك حركة دورانية بأنصاف أقطار تختلف عن بعضها وبالتالي لا تتصادم الجسيمات.

- ج- ينتج عن دوران الجسيمات المشحونة تياراً كهربائياً يدور مما يولد حقلاً مغناطيسياً، يكون هذا الحقل معاكساً للحقل المغناطيسي المطبق من الخارج. لذا سميت البلازما مادة دايا مغناطيسية لأنها تولد حقلاً مغناطيسياً معاكساً للمجال المغناطيسي الأصلي المطبق من الخارج.
- ح- لأنه يحول الطاقة الأفقية إلى طاقة عمودية.

$$3. \text{ طول ديبي } \lambda_D = \left(\frac{\epsilon_0 k_B T}{e^2 n} \right)^{1/2} = \left(\frac{8.85 \times 10^{-12} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 3 \times 10^4}{(1.6 \times 10^{-19})^2 \times 10^{19}} \right)^{1/2} \approx 14.3 \times 10^{-10} \text{ m}$$

لحساب τ و f_{pe} نحسب أولاً ω_{pe} فنجد:

$$\omega_{pe} = \left(\frac{e^2 n_e}{\epsilon_0 m_e} \right)^{1/2} = \left(\frac{(1.6 \times 10^{-19})^2 \times 10^{19}}{8.85 \times 10^{-12} \times 9.1 \times 10^{-31}} \right)^{1/2} = 18 \times 10^{10} \text{ Hz} \Rightarrow \tau = \frac{2\pi}{\omega_{pe}} = 0.35 \times 10^{-10} \text{ sec}$$

$$f_{pe} = \frac{1}{\tau} = 2.86 \times 10^{10} \text{ Hz} \Rightarrow N_D = \frac{4}{3} \pi \lambda_D^3 n_e = \frac{4}{3} \pi (4 \times 10^{-6})^3 \times 10^{19} \approx 2245$$

جواب السؤال الثاني (30 درجة)

$$1. \quad m \frac{v_{\perp}^2}{r_L} = q v_{\perp} B \Rightarrow r_L = \frac{m v_{\perp}}{q B} = \frac{v_{\perp}}{\omega_c} \quad (2)$$

ينتج أن نصف قطر الإلكترون (نصف قطر لارمر) أصغر من نصف قطر لارمر للأيون وأن تردد الإلكترون أكبر من تردد الأيون، لأن كتلة الإلكترون أصغر من الأيون، وبالتالي تُعتبر سرعة الإلكترون والأيون متساوية ($v_{\perp} = \frac{qB}{m} r_L$).

2. أ. نعوض عن $\vec{E}$ و $\vec{B}$ بدلالة المركبات في قانون لورنتز فنحصل على:

$$m \frac{d}{dt} (v_x \vec{e}_x + v_y \vec{e}_y + v_z \vec{e}_z) = q [E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z] + \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ v_x & v_y & v_z \\ 0 & 0 & B \end{vmatrix} \Rightarrow$$

$$m (v_x \vec{e}_x + v_y \vec{e}_y + v_z \vec{e}_z) = q [E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z + v_y B \vec{e}_x - v_x B \vec{e}_y] = q [(E_x + v_y B) \vec{e}_x + (E_y - v_x B) \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z]$$

بمساواة المركبات المتناظرة (المطابقة بين أمثال $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$ بين الطرفين)، نحصل على:

$$v_x = \frac{q}{m} (E_x + B v_y), \quad v_y = \frac{q}{m} (E_y - B v_x), \quad v_z = \frac{q}{m} E_z \quad (1)$$

نجد من المعادلة الثالثة أن:

$$v_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{q}{m} E_z \Rightarrow v_z = \frac{q}{m} E_z t + v_z(0) \quad (2)$$

تعني أن حركة الجسيمات متسارعة وفق المحور z (باتجاه B)، عندما $\vec{E} = 0$ فإن $v_z = v_z(0)$ أي أن الجسيم يتحرك بسرعة ثابتة باتجاه المحور z. (2)

- يمكن المركبات للـ (2) الأولى في (1) بالنسبة إيجاد للزمن.

$$v_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{q}{m} E_z \Rightarrow v_z = \frac{q}{m} E_z t + v_z(0)$$

$$(3) \quad \text{بالتعويض عن } v_y \text{ من المعادلة (1) في المعادلة (3) نحصل على:}$$

$$v_x = \frac{qB}{m} \left[\frac{q}{m} (E_y - B v_x) \right] = \frac{q^2 B^2}{m^2} \left(\frac{E_y}{B} - v_x \right) \Rightarrow v_x + \omega_c^2 v_x = \omega_c^2 \frac{E_y}{B} \quad (2)$$

وهي معادلة تفاضلية غير متجانسة حلها العام مجموع حلين، حل عام هو $U \sin(\omega_c t + \varphi)$ حيث U ثابتي تكامل، وحل خاص $v_x = \frac{E_y}{B}$ وبذلك يكون الحل العام لهذه المعادلة هو:

$$v_x = U \sin(\omega_c - \varphi) + \frac{E_y}{B} \quad (2) \quad (4)$$

ويمكن إيجاد v_y من المعادلة الأولى
كما يلي:

$$v_x = \frac{q}{m} (E_x + B v_y) \Rightarrow v_y = \frac{m}{qB} v_x - \frac{E_x}{B}$$

بالتعويض عن v_x من المعادلة (4) نحصل على:

$$v_y = U \cos(\omega_c - \varphi) + \frac{E_y}{B} \quad (2) \quad (5)$$

نلاحظ أن مركبتي السرعة في المستوي (x,y) العمودي على B تهتز بتواترات مساوية للتواتر السيكلوتروني ω_c ، إضافة إلى سرعة انجراف في هذا المستوي والتي تساوي إلى:

$$\vec{v}_D = \frac{E_y}{B} \vec{e}_x - \frac{E_x}{B} \vec{e}_y = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2} \quad (2)$$

نستنتج أن سرعة الانجراف $\vec{v}_D$ لا تعتمد على كتلة الجسيم ولا على نوع ومقدار الشحنة التي يحملها الجسيم.

جواب السؤال الثالث (30 درجة)

1.

$$أ. انطلاقاً من العلاقة $\frac{d}{dt} \left(\frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2} \right) = q \vec{v}_p \times \vec{B} \Rightarrow \vec{v}_p \times \vec{B} = \frac{m}{qB^2} \frac{d}{dt} (\vec{E}_\perp \times \vec{B})$$$

بضرب طرفي هذه العلاقة خارجياً من اليسار بالمتجه $\vec{B}$ (B ثابت ومتجانس) يكون:

$$B \times (\vec{v}_p \times \vec{B}) = \frac{m}{qB^2} \frac{d}{dt} [B \times (\vec{E}_\perp \times \vec{B})]$$

$$\vec{v}_p (\vec{B} \cdot \vec{B}) - \vec{B} (\vec{B} \cdot \vec{v}_p) = \frac{m}{qB^2} \frac{d}{dt} [\vec{E}_\perp (\vec{B} \cdot \vec{B}) - \vec{B} (\vec{B} \cdot \vec{E}_\perp)] \Rightarrow B^2 \vec{v}_p = \frac{m}{qB^2} \frac{d}{dt} (B^2 \vec{E}_\perp) = \frac{m}{qB^2} B^2 \frac{d\vec{E}_\perp}{dt}$$

بما أن الحقل $\vec{B}$ لا يعتمد على الزمن (ثابت ومتجانس في الفضاء، وأن $\vec{B} \perp \vec{E}_\perp$ ، $\vec{B} \perp \vec{v}_p$) فإن:

$$\Rightarrow \vec{v}_p = \frac{m}{qB^2} \frac{d\vec{E}_\perp}{dt}$$

ب. تكون سرعة الانجراف $\vec{v}_p$ للجسيمات الموجبة بعكس جهة انجراف الجسيمات السالبة، وبالتالي يحدث استقطاب للوسط البلازمي، وتسمى سرعة انجراف الاستقطاب.

2. يمكن إيجاد العلاقة بين السعة للحقل الكهربائي E_0 وللحقل المغناطيسي B_0 باستخدام قانون فاراداي

$$\cdot \text{ لذلك نحسب الطرف اليساري من قانون فاراداي. نجد: } \left(\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_0 e^{i(kz - \omega t)} & 0 & 0 \end{vmatrix} = 0\vec{e}_x - \left(\frac{\partial}{\partial x} 0 - \frac{\partial}{\partial z} E_0 e^{i(kz - \omega t)} \right) \vec{e}_y + \left(\frac{\partial}{\partial x} 0 - \frac{\partial}{\partial y} E_0 e^{i(kz - \omega t)} \right) \vec{e}_z$$

$$= 0\vec{e}_x + ikE_0 e^{i(kz - \omega t)} \vec{e}_y + (0 - 0)\vec{e}_z = ikE_0 e^{i(kz - \omega t)} \vec{e}_y \quad (1)$$

ونجد من حساب الطرف اليميني في قانون فاراداي أن:

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} (B_0 e^{i(kz - \omega t)} \vec{e}_y) = -i\omega B_0 e^{i(kz - \omega t)} \vec{e}_y \quad (2')$$

بالتعويض من (1) و (2) في قانون فاراداي نجد أن:

$$ikE_0 e^{i(kz - \omega t)} = -(-i\omega B_0) e^{i(kz - \omega t)} \Rightarrow B_0 = \frac{k}{\omega} E_0$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{cT} = \frac{2\pi\nu}{C} = \frac{\omega}{C} \Rightarrow B_0 = \frac{\omega}{\omega C} E_0 = \frac{1}{C} E_0$$

أ. د. محمد حسن فاهود

طرس في 2023/9/14

الاسم :		جامعة طرابلس
امتحان مقرر بلازما - الدرجة: 90 - مدة الامتحان: ساعتان		كلية العلوم - قسم الفيزياء
الدورة الفصلية الثانية للعام الدراسي 2022-2023م		السنة الرابعة فيزياء

اجب عن الأسئلة الآتية:

السؤال الأول (30 درجة)

- 1- عرّف البلازما، - اذكر الفرق بين البلازما وبين الغاز من حيث: درجة الحرارة - الموصلية الكهربائية - التأثير والتأثير بالحقول الكهرومغناطيسية.
- 2- علل ما يلي:
 - أ- لحساب طول ديبيي نستخدم درجة حرارة الالكترونات وليس درجة حرارة الأيونات.
 - ب- نصف قطر لامرر $r_L = \frac{v_{\perp} m}{|q| B}$ للأيون أكبر من نصف قطر لامرر للإلكترون.
 - ت- للإلكترون وللأيون في البلازما نفس سرعة الانجراف $\vec{v}_D = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2}$.
 - ث- يقلل الحقل المغناطيسي التصادم بين الجسيمات المشحونة.
 - ج- البلازما مادة دايا مغناطيسية.
 - ح- يُستخدم الحقل المغناطيسي لحصر البلازما.
- 3- حسب القياس الفضائي (طول ديبيي) λ_D ، والزمني τ ، والتردد f_{pe} ، واحسب عدد الالكترونات N_D في كرة ديبيي في غاز متاين درجة حرارة الالكترونات فيه $T_e = 3 \times 10^4 K$ وكثافة الالكترونات $n_e = 10^{19} m^{-3}$ (بإهمال تأثير الحقول الخارجية واعتبار هذا الغاز المتأين بمنزلة بلازما). ملاحظة: تعطى الثوابت في الجملة الدولية بالقيم التالية:

$$m_e = 9.1 \times 10^{-31} kg, \quad \epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} F.m^{-1}, \quad e = 1.6 \times 10^{-19} C, \quad k_B = 1.38 \times 10^{-23} J.K^{-1}$$

السؤال الثاني (30 درجة)

1. يخضع وسط بلازما لتأثير حقل مغناطيسي $\vec{B}$ ثابت بالنسبة للزمن و منتظم مكانياً وموجهاً باتجاه المحور z . بفرض أن $\vec{E} = 0$. المطلوب
 - أ- اوجد بالاستفادة من قانون لورنتز $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$ معادلات مركبات التسارع v_x^*, v_y^*, v_z^* ، استنتج نوع الحركة وفق المحور z .
 - ب- اوجد v_x, v_y مركبات السرعة في المستوي (x, y) ، ماذا تستنتج؟
2. انطلاقاً من قانون قوة لورنتز السابق، وفي حالة $\vec{E} \neq 0$.
 - أ- اثبت أن سرعة انجراف مركز التوجيه في البلازما $\vec{v}_{GD}$ تساوي إلى $\vec{v}_{GD} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2}$.
 - ب- احسب قيمة $\vec{v}_{GD}$ عندما يُطبق على البلازما حقل مغناطيسي شدته 2 Tesla وحقل كهربائي عمودي عليه شدته $10^4 Tesla.m.s^{-1}$.

السؤال الثالث (30 درجة)

1. يخضع وسط بلازما إلى حقل مغناطيسي ثابت ومتجانس، ولحقل كهربائي متغير مع الزمن وعمودي على $\vec{B}$. إذا علمت أن معادلة حركة الجسيم تُعطى بالصيغة $q \vec{v}_p \times \vec{B} = m \frac{d}{dt} \left(\frac{\vec{E}_{\perp} \times \vec{B}}{B^2} \right)$ حيث m كتلة الجسيم، q شحنته.
 - أ- اثبت أن سرعة الجسيم $\vec{v}_p$ (سرعة استقطاب الجسيم) في هذه الحالة تساوي إلى $\vec{v}_p = \frac{m}{qB^2} \frac{d\vec{E}_{\perp}}{dt}$.
 - ب- فسر أن البلازما تصبح عازل مستقطب في هذه الحالة (عندما $\vec{E}$ يتغير مع الزمن).
2. تعطى معادلات ماكسويل في الفراغ بالصيغة:

$$(i) \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0, \quad (ii) \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0, \quad (iii) \quad \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad (iv) \quad \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

بفرض أن الأمواج الكهرومغناطيسية تنتقل في اتجاه المحور z ولا تعتمد على x و y ، أي أن: $\vec{E} = E_0 e^{i(kz - \omega t)} \vec{e}_x$ ، $\vec{B} = B_0 e^{i(kz - \omega t)} \vec{e}_y$ ، استنتج باستخدام قانون فاراداي $\left(\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right)$ العلاقة بين E_0 و B_0 سعتي الحقل الكهربائي و الحقل المغناطيسي.

جواب السؤال الأول (30 درجة)

1. البلازما: هي حالة المادة المكونة من جسيمات مشحونة ومتعادلة، على أن يكون المجموع الجبري للشحنات الكهربائية يساوي صفراً. وعموماً فإن البلازما هي حالة المادة أثناء وجودها بدرجة عالية من التأين، أي عندما تتحول ذرات المادة إلى أيونات موجبة مع إلكترونات سالبة.

ويمكن أن تكون البلازما من الحالة الصلبة (أشباه الموصلات)، أو الحالة السائلة (المحاليل الألكتروليتيّة)، أو الحالة الغازية (طبقة الأيونوسفير).

درجة حرارة البلازما أعلى من درجة حرارة الغاز.

البلازما موصلة للكهرباء، بينما الغاز رديء التوصيل.

البلازما تؤثر وتتأثر بالمجالات الكهرومغناطيسية، في حين لا ينفذ الحقل المغناطيسي في البلازما إلا في حالة كون كثافة ودرجة حرارة البلازما قليلة، في حين أن الغازات لا تتأثر بالمجالات الكهرومغناطيسية بأية كثافة.

2. لأن كتلة الإلكترونات أقل من كتلة الأيونات ولها القدرة على الحركة أكثر من الأيونات، لذلك يُحسب طول ديبي على أساس الإلكترونات وليس على حساب الأيونات.

ب- لأن كتل الأيون أكبر من كتلة الإلكترون.

ت- تُعطى سرعة الانجراف في البلازما بالعلاقة $\vec{v}_D = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2}$ ، لا تعتمد هذه السرعة على كتلة الجسيم أو شحنته،

لذلك فإن جميع الجسيمات المشحونة في البلازما تنجرف معاً بنفس السرعة (مقدار ثابت).

ث- لأن الحقل المغناطيسي يجعل الجسيمات تتحرك حركة دورانية بأنصاف أقطار تختلف عن بعضها وبالتالي لا تتصادم الجسيمات.

ج- ينتج عن دوران الجسيمات المشحونة تياراً كهربائياً يدور مما يولد حقلاً مغناطيسياً، يكون هذا الحقل معاكس للحقل المغناطيسي المطبق من الخارج. لذا سميت البلازما مادة دايامغناطيسية لأنها تولد حقلاً مغناطيسياً معاكساً للمجال المغناطيسي الأصلي المطبق من الخارج.

ح- لأنه يحوّل الطاقة الأفقية إلى طاقة عمودية.

$$3. \text{ طول ديبي } \lambda_D = \left(\frac{\epsilon_0 k_B T}{e^2 n} \right)^{1/2} = \left(\frac{8.85 \times 10^{-12} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 3 \times 10^4}{(1.6 \times 10^{-19})^2 \times 10^{19}} \right)^{1/2} \approx 4 \times 10^{-6} \text{ m}$$

لحساب τ و f_{pe} نحسب أولاً ω_{pe} فنجد:

$$\omega_{pe} = \left(\frac{e^2 n_e}{\epsilon_0 m_e} \right)^{1/2} = \left(\frac{(1.6 \times 10^{-19})^2 \times 10^{19}}{8.85 \times 10^{-12} \times 9.1 \times 10^{-31}} \right)^{1/2} = 18 \times 10^{10} \text{ HZ} \Rightarrow \tau = \frac{2\pi}{\omega_{pe}} = 0.35 \times 10^{-10} \text{ sec}$$

$$f_{pe} = \frac{1}{\tau} = 2.86 \times 10^{10} \text{ HZ} \Rightarrow N_D = \frac{4}{3} \pi \lambda_D^3 n_e = \frac{4}{3} \pi (4 \times 10^{-6})^3 \times 10^{19} \approx 2245$$

أ. محمد حسن ماحود

1. أ. نعوض عن $\vec{E} = 0$ و $\vec{B}$ بدلالة المركبات في قانون لورنتز فنحصل على:

$$m \frac{d}{dt} (v_x \vec{e}_x + v_y \vec{e}_y + v_z \vec{e}_z) = q \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ v_x & v_y & v_z \\ 0 & 0 & B \end{vmatrix} \Rightarrow m(v_x \vec{e}_x + v_y \vec{e}_y + v_z \vec{e}_z) = qv_y B \vec{e}_x - qv_x B \vec{e}_y \quad (1)$$

بالمطابقة بين أمثال $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$ في الطرفين نجد أن:

$$m \dot{v}_x = \frac{q}{m} B v_y, \quad m \dot{v}_y = -\frac{q}{m} B v_x, \quad \dot{v}_z = 0 \quad (2)$$

نشتق المعادلة الأولى في (2) بالنسبة للزمن ولاستفادة من v_x نحصل على:

$$m \dot{v}_x = q B v_y \Rightarrow m \dot{v}_x = q B \left(-\frac{q B}{m} v_x \right) \Rightarrow \dot{v}_x = -\left(\frac{q B}{m} \right)^2 v_x \Rightarrow \ddot{v}_x + \omega_c^2 v_x = 0 \quad (3)$$

ونحصل من اشتقاق المعادلة الثانية في (2) بالنسبة للزمن ولاستفادة من v_y نحصل على:

$$\ddot{v}_y - \omega_c^2 v_y = 0 \quad (4)$$

نجد من المعادلة الثالثة أن $v_z = v_z(0)$ أي أن الجسم يتحرك بسرعة ثابتة وفق المحور z. ب. يمكن إيجاد مركبات السرعة v_x, v_y من (3) و (4) هما معادلتين تفاضليتين متجانستين حلها العام هو

$$v_x = U \cos(\omega_c t - \phi) \quad \text{و} \quad v_y = U \sin(\omega_c t - \phi) \quad (4)$$

نلاحظ أن مركبتي السرعة في المستوي (x,y) العمودي على B تهتز بتواترات مساوية للتواتر السيكلتروني ω_c . وتكون حركة الجسم في المستوي (x,y) حركة دائرية ووفق المحور z خطية، وبالمحصلة تكون حركة الجسم في الفراغ حركة لولبية.

2.

أ. نضرب طرفي العلاقة $\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = q (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$ خارجياً من اليمين بـ $\vec{B}$ ينتج أن: $m \vec{v} \times \vec{B} = q [\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}] \times \vec{B}$

بما أن سرعة مركز التوجيه ثابتة لا تتغير مع الزمن فإن $\vec{v} = 0$ يؤدي إلى أن:

$$\Rightarrow 0 = q(\vec{E} \times \vec{B}) + q(\vec{v} \times \vec{B}) \times \vec{B} = 0 \Rightarrow \vec{E} \times \vec{B} - \vec{B} \times (\vec{v}_{GD} \times \vec{B}) = 0$$

$$\Rightarrow \vec{E} \times \vec{B} - [\vec{v}_{GD} (\vec{B} \cdot \vec{B}) - \vec{B} (\vec{B} \cdot \vec{v}_{GD})] = \vec{E} \times \vec{B} - B^2 \vec{v}_{GD} + 0 \Rightarrow \vec{v}_{GD} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2}$$

ب. يكون مقدار هذه السرعة عندما $\vec{E} \perp \vec{B}$ مساوياً إلى: $v_{GD} = \frac{E}{B} = \frac{10^4 T \cdot m}{2 T \cdot s} = 5 \times 10^3 m \cdot s^{-1}$

أ. محمد بن ماهر

جواب السؤال الثالث (30 درجة)

1. انطلاقاً من العلاقة $\frac{d}{dt} \left(\frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2} \right) = q \vec{v}_p \times \vec{B} \Rightarrow \vec{v}_p \times \vec{B} = \frac{m}{qB^2} \frac{d}{dt} (\vec{E}_\perp \times \vec{B})$

بضرب طرفي هذه العلاقة خارجياً من اليسار بالمتجه $\vec{B}$ يكون:

2. باستخدام خواص الضرب المتجهي لثلاثة متجهات (قاعدة جيبس) نجد:

3. $\vec{B} \times (\vec{v}_p \times \vec{B}) = \frac{m}{qB^2} \frac{d}{dt} [\vec{B} \times (\vec{E}_\perp \times \vec{B})]$

بما أن الحقل $\vec{B}$ لا يعتمد على الزمن (ثابت ومتجانس في الفضاء). فإن:

3. $\Rightarrow \vec{v}_p = \frac{m}{qB^2} \frac{d\vec{E}_\perp}{dt}$

ب. تكون سرعة الانجراف $\vec{v}_p$ للجسيمات الموجبة بعكس جهة انجراف الجسيمات السالبة، وبالتالي يحدث استقطاب للوسط البلازمي، وتسمى سرعة انجراف الاستقطاب.

2. يمكن إيجاد العلاقة بين السعة للحقل الكهربائي E_0 وللحقل المغناطيسي B_0 باستخدام قانون فاراداي

نجد: $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$

6.
$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_0 e^{i(kz - \omega t)} & 0 & 0 \end{vmatrix} = 0\vec{e}_x - \left(\frac{\partial}{\partial x} 0 - \frac{\partial}{\partial z} E_0 e^{i(kz - \omega t)} \right) \vec{e}_y + \left(\frac{\partial}{\partial x} 0 - \frac{\partial}{\partial y} E_0 e^{i(kz - \omega t)} \right) \vec{e}_z$$

$$= 0\vec{e}_0 + ikE_0 e^{i(kz - \omega t)} \vec{e}_y + (0 - 0)\vec{e}_z = ikE_0 e^{i(kz - \omega t)} \vec{e}_y$$

(1)

ونجد من حساب الطرف اليميني في قانون فاراداي أن:

6.
$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} (B_0 e^{i(kz - \omega t)} \vec{e}_y) = -i\omega B_0 e^{i(kz - \omega t)} \vec{e}_y$$

(2)

بالتعويض من (1) و (2) في قانون فاراداي نجد أن:

4.
$$ikE_0 e^{i(kz - \omega t)} = -(-i\omega B_0) e^{i(kz - \omega t)} \Rightarrow B_0 = \frac{k}{\omega} E_0$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{cT} = \frac{2\pi\nu}{C} = \frac{\omega}{C} \Rightarrow B_0 = \frac{\omega}{\omega C} E_0 = \frac{1}{C} E_0$$



أجب عن الأسئلة التالية

السؤال الأول (20 درجة)

1- عرّف البلازما، وهل البلازما تكون بحالة غاز متأين؟ واذكر الشروط التي يجب أن يحققها الغاز المتأين ليشكل وسط بلازما.

2- احسب القياس الفضائي (المكاني) $\lambda_D = \left(\frac{\epsilon_0 k_B T_e}{e^2 n} \right)^{1/2}$ ، والزمني $\tau = \frac{2\pi}{\omega_p}$ ، والتردد $f_{pe} = \frac{\omega_{pe}}{2\pi}$ ، حيث $\omega_{pe} = \left(\frac{e^2 n_e}{\epsilon_0 m_e} \right)^{1/2}$ ، وأوجد N_D

(عدد الإلكترونات في كرة ديباي) في غاز متأين درجة حرارة الإلكترونات فيه $T_e = 3 \times 10^4 K$ ، وكثافة الجسيمات $n_e = 10^{19} m^{-3}$ (بإهمال تأثير الحقول الخارجية واعتبار هذا الغاز المتأين بمنزلة بلازما).

تعطى الثوابت: $m_e = 9.1 \times 10^{-31} kg$ ، $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} F/m$ ، $e = 1.6 \times 10^{-19} C$ ، $k_B = 1.38 \times 10^{-23} J/K$

السؤال الثاني (35 درجة)

1. استنتج باستخدام قانون نيوتن الثاني في الحركة الدورانية ($m \frac{v_L^2}{r_L} = q v_L B$) للشحنة حول خطوط الحقل المغناطيسي نصف قطر لارمر r_L .

ناقش علاقة دوران الإلكترون والأيون من حيث: كبر كل من: نصف القطر - عدد الدورات - السرعة لكل منهما.

2. يخضع جسيم مشحون لحقل مغناطيسي $\vec{B}$ متجانس وموجه باتجاه المحور z ، ولحقل كهربائي $\vec{E}$ ، أي أن:

$$\vec{E} = E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z, \quad \vec{B} = B \vec{e}_z$$

أ- أثبت بالاستفادة من معادلة الحركة في الحقل الكهربائي $\vec{F} = q[\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}]$ أن:

$$\dot{v}_x = \frac{q}{m} (E_x + B v_y), \quad \dot{v}_y = \frac{q}{m} (E_y - B v_x), \quad \dot{v}_z = \frac{q}{m} E_z$$

؟ وما هو نوع الحركة عندما $E_z = 0$ ؟

ب- أوجد مركبات السرعة v_x, v_y في المستوي (x, y) ، ماذا تستنتج؟

السؤال الثالث (35 درجة)

1. يخضع وسط بلازما إلى حقل مغناطيسي $\vec{B}$ ثابت ومتجانس، ولحقل كهربائي $\vec{E}$ متغير ببطء مع الزمن وعمودي على $\vec{B}$.

أ- أثبت باستخدام العلاقة $m \frac{d}{dt} \left(\frac{\vec{E}_\perp \times \vec{B}}{B^2} \right) = q \vec{v}_p \times \vec{B}$ أن سرعة الجسيم $\vec{v}_p$ تساوي إلى: $\vec{v}_p = \frac{m}{q B^2} \frac{d\vec{E}_\perp}{dt}$

ب- هل تكون $\vec{v}_p$ (سرعة الانجراف) للجسيمات الموجبة والسالبة في نفس الجهة؟ ماذا ينتج عن ذلك؟ هل تتصرف البلازما في الحالة

المستقرة (عندما يكون $\vec{E}$ ثابتاً مع الزمن) كعازل مستقطب ولماذا؟ إلى ماذا يرجع تأثير الاستقطاب في البلازما؟

2. يخضع وسط بلازما إلى حقل مغناطيسي $\vec{B}$ ثابت ومتجانس، ولحقل كهربائي $\vec{E}$ متغير بشكل كفي مع الزمن $\vec{E}(t) = \vec{E}_0 e^{-i\omega t}$

وعمودي على $\vec{B}$ (الحركة مستقطبة دائرياً حول $\vec{B}$). تعطي معادلتني السرعة في هذه الحالة بالصيغتين التاليتين:

$$\vec{v}_L = i \left(\frac{q}{m} \right) \frac{1}{(\omega \pm \Omega_c)} \vec{E}_{OL} \quad \text{مستقطبة يسارياً} \quad \vec{v}_R = i \left(\frac{q}{m} \right) \frac{1}{(\omega \pm \Omega_c)} \vec{E}_{OR} \quad \text{مستقطبة يمنياً}$$

أ- متى يحدث التجاوب بين اهتزاز الحقل الكهربائي المطبق والتردد السيكلتروني للجسيم؟ ومن أجل أي مركبة سرعة يحدث التجاوب للإلكترون وللايون؟ علل ذلك.

ب- إذا أمكن التعبير عن سرعة الحركة المستقطبة للجسيم في المستوي (xy) على النحو:

$$\vec{v}_\perp = \vec{v}_m + \frac{q}{m} \vec{E}_{OR} t e^{-i\Omega_c t} \quad \text{for } q < 0 \quad \vec{v}_\perp = \vec{v}_m + \frac{q}{m} \vec{E}_{OL} t e^{-i\Omega_c t} \quad \text{for } q > 0$$

كيف تتغير سرعة الجسيم مع مرور الزمن؟ ما هو مسار الجسيم في هذه الحالة؟ وما هي الفائدة من هذه الظاهرة التي تتحقق في هذه الحالة؟

جواب السؤال الأول (20 درجة)

1. البلازما هي حالة المادة المكونة من جسيمات مشحونة ومتعادلة، على أن المجموع الجبري لشحنات الكهربية يساوي صفراً. عموماً، إن حالة البلازما هي حالة المادة أثناء وجودها بدرجة عالية من التأين، أي عندما تتحول ذرات المادة هذه إلى أيونات موجبة مع إلكترونات سالبة. (4)
- ويمكن أن تكون البلازما مؤينة أصلية (أشباح الموهلات)، أو الحالة السائلة (المحايل الألكترونية)، أو الحالة الغازية (الغاز الأيونوسفير).
- شروط الغاز المتأين ليكون في حالة بلازما هي:
 1. $\lambda_D \ll L$ - يجب أن يكون طول ديبي أقل بكثير من طول المنظومة. (2)
 2. $N_D \gg 1$ - يجب أن تحتوي كرة ديبي على عدد كبير جداً من الجسيمات المشحونة، وهذا ما يتطلبه السلوك الجماعي للبلازما. (2)
 3. $\omega_p \gg \omega_c$ - يجب أن يكون زمن الاصطدام حجباً أن يكون أكبر من الزمن الذي تحتاجه البلازما للعودة لتعادل الكهربية. (2)

$$\lambda_D = \left(\frac{\epsilon k_B T}{e^2 n} \right)^{1/2} = \left(\frac{8.85 \times 10^{-12} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 3 \times 10^4}{(1.6 \times 10^{-19})^2 \times 10^{19}} \right)^{1/2}$$

$$= \left(\frac{36.422 \times 10^{-12-23+4-19+38}}{2.56} \right)^{1/2} = (14.23 \times 10^{-12})^{1/2}$$

$$= 3.77 \times 10^{-6} \text{ m} \quad (2)$$

حساب τ من f_{pe} أولاً نجد:

$$\omega_{pe} = \left(\frac{e^2 n_e}{\epsilon_0 m_e} \right)^{1/2} = \left(\frac{(1.6 \times 10^{-19})^2 \times 10^{19}}{8.85 \times 10^{-12} \times 9.1 \times 10^{-31}} \right)^{1/2} = (0.032 \times 10^{24})^{1/2} = 18 \times 10^{10} \text{ Hz}$$

$$\Rightarrow \tau = \frac{2\pi}{\omega_{pe}} = \frac{2\pi}{18} \times 10^{-10} = 0.35 \times 10^{-10} \text{ sec}$$

$$f_{pe} = \frac{\omega_{pe}}{2\pi} = \frac{18 \times 10^{10}}{2\pi} = 2.86 \times 10^{10} \text{ Hz}$$

$$N_D = \frac{4}{3} \pi \lambda^3 n_e = \frac{4}{3} \pi (3.77 \times 10^{-6})^3 \times 10^{19} = 2245$$

جواب السؤال الثاني (35 درجة)

$$m \frac{v_{\perp}^2}{r_L} = q v_{\perp} B \Rightarrow r_L = \frac{m v_{\perp}}{q B} = \frac{v_{\perp}}{\omega_c} = \frac{v_{\perp}}{\omega_c} \quad (2)$$

وبالتالي فإن نصف قطر الإلكترون (نصف مدار) أصغر من قطر مداري الأيون،
وأن تردد الإلكترون (عدد دورات) $\omega_c = \frac{qB}{m}$ أكبر من تردد الأيون، لذلك
الإلكترون أصغر من كتلة الأيون، وتعتبر سرعة الإلكترون والأيون متساوية
($v_{\perp} = \frac{qB}{m} r_L$)، لأن r_L للإلكترون صغيرة و m صغيرة، بينما r_L للأيون كبيرة
و m كبيرة فتبقى النتيجة $v_{\perp}$ هي في الحالتين واحدة.

2- أ. نفرض عن $\vec{E}$ و $\vec{B}$ بدلالة المركبات في معادلة الحركة (قانون
لورنتز) فضلع:

$$m \frac{d}{dt} (v_x \vec{e}_x + v_y \vec{e}_y + v_z \vec{e}_z) = q [E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z + (\vec{v} \times \vec{B})] \quad (4)$$

$$m \frac{d}{dt} (v_x \vec{e}_x + v_y \vec{e}_y + v_z \vec{e}_z) = q [E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z +$$

$$+ \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ v_x & v_y & v_z \\ 0 & 0 & B \end{vmatrix}]$$

$$m(\dot{v}_x \vec{e}_x + \dot{v}_y \vec{e}_y + \dot{v}_z \vec{e}_z) = q[E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z + v_y B \vec{e}_x - v_x B \vec{e}_y]$$

$$= q[(E_x + v_y B) \vec{e}_x + (E_y - v_x B) \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z]$$

مساواة المركبات المتناظرة (بين أمثال $\vec{e}_x$ و $\vec{e}_y$ و $\vec{e}_z$) بين الطرفين، نحصل

$$\dot{v}_x = \frac{q}{m} (E_x + B v_y), \quad \dot{v}_y = \frac{q}{m} (E_y - B v_x), \quad \dot{v}_z = \frac{q}{m} E_z \quad (1)$$

نجد من المعادلة الثالثة أن:

$$v_z = \frac{q}{m} E_z t + v_z(0) \quad (2)$$

وهي حركة متساوية متسارعة محور z (باتجاه B)، عندما $E=0$ فإن $v_z = v_z(0)$ أي أن الجسيم يتحرك بسرعة ثابتة باتجاه محور z .

ب- يمكن إيجاد مركبات السرعة v_x و v_y من معادلة الحادلة الأولى في (1) بالنسبة للزمن

$$\dot{v}_x = \frac{qB}{m} v_y \quad (2)$$

(3)

بالقوس من v_y من معادلة (1) في معادلة الحادلة الأولى نحصل على:

$$\dot{v}_x = \frac{qB}{m} \left[\frac{q}{m} (E_y - B v_x) \right] = \frac{q^2 B^2}{m^2} \left(\frac{E_y}{B} - v_x \right)$$

$$\Rightarrow \ddot{v}_x + \omega_c^2 v_x = \omega_c^2 \frac{E_y}{B} \quad (2)$$

وهي معادلة تفاضلية غير متجانسة على إتمام هو مجموع حلين:

الأول هو $U \sin(\omega_c t - \varphi)$ حيث U و φ ثابتين تكاملين، الثاني حل عام

وذلك يكون حل إتمام لهذه المعادلة هو: $v_{x0} = \frac{E_y}{B}$

$$v_x = U \sin(\omega_c t - \varphi) + \left(\frac{E_y}{B} \right) \quad (4)$$

و يمكن إيجاد v_y من معادلة الأورث كما يلي:

$$v_x = \frac{q}{m} (E_x + B v_y) \Rightarrow v_y = \frac{m}{qB} v_x - \frac{E_x}{B} \quad (2)$$

فوجدته من (2) ونعوضه في عبارة v_y من قبل على:

$$v_y = u \cos(\omega_c t - \varphi) - \left(\frac{E_x}{B} \right) \quad (2) \quad (4)$$

فلاحظ أن مركبة السرعة في المستوى (x, y) الدوري على B تترك
تواترات مادية للتواتر السيكلونوني ω_c ، إضافة إلى سرعة
انحراف في هذا المستوى مساوي إلى:

$$\vec{v}_D = \frac{E_y}{B} \vec{e}_x - \frac{E_x}{B} \vec{e}_y = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2} \quad (2)$$

فنتج أن سرعة الانحراف $\vec{v}_D$ لا تعتمد على كتلة الجسيم m ،
ولذلك نوع ومقدار السحنة التي يحملها الجسيم.

جواب السؤال الثالث

$$m \frac{d}{dt} \left(\frac{\vec{E}_1 \times \vec{B}}{B^2} \right) = q \vec{v}_p \times \vec{B} \Rightarrow \vec{v}_p \times \vec{B} = \frac{m}{qB^2} \frac{d}{dt} (\vec{E}_1 \times \vec{B}) \quad 1-$$

بضرب طرفي هذه العلاقة خارجياً من اليسار بالعلاقة $\vec{B}$ يكون:

$$\vec{B} \times (\vec{v}_p \times \vec{B}) = \frac{m}{qB^2} \frac{d}{dt} [\vec{B} \times (\vec{E}_1 \times \vec{B})] \quad (8)$$

باستخدام خواص ضرب المتجهين (قاعدة جيبس) فيحصل على:

$$\vec{v}_p \cdot (\vec{B} \cdot \vec{B}) - \vec{B} (\vec{B} \cdot \vec{v}_p) = \frac{m}{qB^2} \frac{d}{dt} [\vec{E}_1 (\vec{B} \cdot \vec{B}) - \vec{B} (\vec{B} \cdot \vec{E}_1)]$$

$$\Rightarrow \vec{v}_p = \frac{m}{qB^2} \frac{d\vec{E}}{dt}$$

ب- يكون اتجاه $\vec{v}_p$ للجسيمات الموجبة يعني اتجاه الجسيمات

السالبة، الأمر الذي يؤدي إلى الجراف الاكترونات

في جهة والأيونات الموجبة بجهة معاكسة مما يؤدي إلى

استقطاب البلازما (3) عند ما يكون $\vec{E}$ ثابت ينتج أن $\vec{v}_p = 0$ وبالتالي لا تستقطب

البلازما (3)

يرجع تأثير الاستقطاب في البلازما إلى التغير (2) النسبي للمجال

الكهربائي، فلا ينبع عن تطبيق حقل كهربائي ثابت حقل استقطاب، حيث يمكن للإلكترونات والأيونات المتحركة للحفاظ على شحنها الحياد.

2- أ- يحدث التباين بين اهتزاز الحقل الكهربائي ω والتردد الكلاسيكي

عند ما $\omega \rightarrow \omega_c$ ، ويتحقق التباين من أجل الإلكترون في

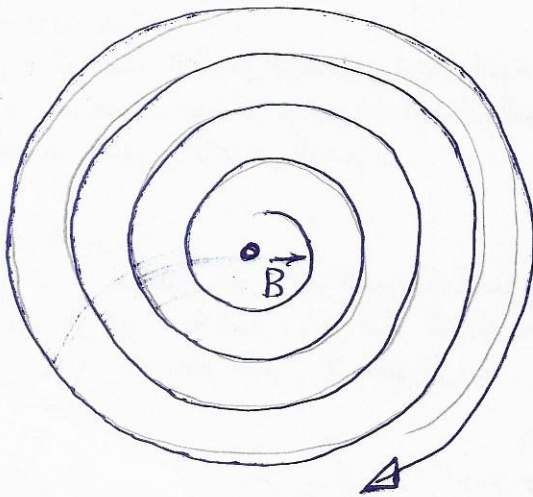
المرتبة المستقطبة عميقاً حيث

$$\omega \rightarrow \omega_c = -\frac{qB}{m} \Rightarrow \vec{v}_R \rightarrow \infty \quad (2)$$

ويحدث التجاوب بالنسبة للأيون الموحى من أجل مركبة سرعة
المتقاربة بإرثاً للحقل الكهربائي (3)

$$\omega \rightarrow \Omega_c = \frac{qB}{m} \Rightarrow \vec{v} \rightarrow \infty \quad (2)$$

ب- تزداد سرعة الجسيم مع ازدياد الزمن t إلى أجل غير مسمى
ويتحرك الجسيم مساراً على شكل دوائر لها أنصاف أمطار متزايدة باستمرار
مع تزايد الزمن وبالتالي مع زيادة سرعته بشكل مستمر خلال هذه
الحركة الحلزونية وذلك على حساب طاقة الحقل الكهربائي (3)
يمكن الاستفادة من هذه الظاهرة كطريقة لزيادة سرعة الجسيمات
وبالتالي زيادة درجة الحرارة الحركية للبلازما من خلال زيادة
تصادم الجسيمات، تعرف هذه الطريقة باسم تسخين الردد لاسي
(الرايووي) للبلازما بواسطة التجاوب (إرثين السيكلوتروني).



At 10

السؤال الأول: 20 درجة

عرف مايلي

3- حيز كروك المظلم

2- المسابر البلازمية

1- زمن الاسترخاء

6- حيز استون

5- حيز فاراداي

4- منطقة الهبوط المصعدي

السؤال الثاني: 15 درجة

افترض ساهاً أن عملية التأين عملية عكوسة استنتج درجة تأين الغاز عند ضغط معين بدلالة درجة الحرارة مع الرسم.

السؤال الثالث (اختياري): 20 درجة

1- ابحث بايجاز دراسة حركة جسيم مشحون في حقل مغناطيسي متجانس بوجود قوى ثابتة.

2- ابحث بايجاز في سرعة انجراف الجسيمات المشحونة (المنفصلة) في بلازما واقعة تحت تأثير حقل مغناطيسي غير منتظم والنتيجة عن التدرج

السؤال الرابع: 15 درجة

ابحث بايجاز في سلوك كلا من الالكترونات والايونات عند اقترابها من حافة جدار البلازما (درع البلازما) ثم استنتج أن المسافة التي تبتعد اليها البلازما عند الحافة عن جالة التعادل الكهربائي تساوي تقريبا طول ديبي λ_D

السؤال الخامس: 20 درجة

1- يعطى تنسور الناقلية لوسط بلازما بالعلاقة التالية :

$$\hat{\sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_{\perp} & -\sigma_H & 0 \\ \sigma_H & \sigma_{\perp} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\parallel} \end{bmatrix}$$

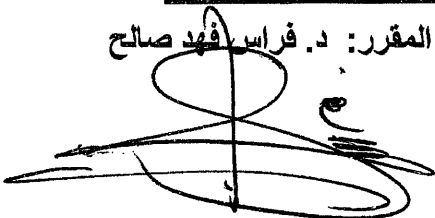
حيث $\sigma_{\perp}$ المركبة العرضانية للناقلية الكهربائية و σ_H ناقلية هول و $\sigma_{\parallel}$ المركبة الطولية للناقلية الكهربائية

والمطلوب : إيجاد تنسور العازلية الكهربائية ذات الصلة.

2- تعطى عبارة التبديد الموائمة لانتشار موجة في بلازما باردة تحت ضغط ثابت بالعلاقة :

$$\omega^2 = \omega_{pe}^2 + \left(\frac{3K_B T_e}{m_e} \right) K^2$$

والمطلوب: أوجد سرعة الطور وسرعة الموجة لهذه المجموعة ثم استنتج سرعة الالكترونات في البلازما.



باب السؤال الأول:

نحن الاسترخاء : يعرف بأنه الزحف الذي تحسبه البلازما للعودة إلى حالة التوازن ذلك إذا فاجئت أي تغيير أو اضطراب في حالة التوازن هذه وبفرض إمكانية أحداث اضطراب من هذا النوع عن طريق ادخال شحنة موجبة إلى البلازما فإن عدد تحسب البلازما هذا الاضطراب سوف لا يتعدى طول ديبي λ_D عنه موضع هذه الشحنة

1- المساحة البلازمية : هي عبارة عن λ_D أو ذات تستمر على نطاق واسع λ_D المساحة درجة حرارة وكثافة جسيمات الوسط البلازمي في المختبرات

2- حين كروك المظلم : عبارة عن المنطقة التي يحصل عن خلالها هبوط إلى الجهد مما يؤدي إلى عدم مقدرة الإلكترونات الحاملة للتيار في العودة الموجب λ_D الوصول إلى الربط من جهة وعدم قدرة الأيونات λ_D الكتلة الكبيرة من محل التوازن الكاين من جهة أخرى ولذلك يجري الحفاظ على التفريغ بواسطة الإلكترونات λ_D الثانوية المسيرة نتيجة تطبيق حقول كهربائية كبيرة فنزداد كثافة وتنفق الإلكترونات λ_D سبب اعتباراً عن المربط

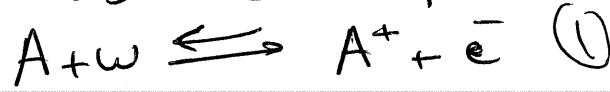
4- منطقة الهبوط المصدري : هي منطقة تكون فيها المسيرة انحراف الإلكترونات في الحقل الكهربائي الضعيف للعودة الموجب أقل من سرعتها الحرارية وتسمى بإعاقه هذا الحقل بالقرب من المظهر بطبقة مضاعفة لمنع λ_D التيار الحراري للإلكترونات من الوصول للمصدر

5- حين فارادي : هو حين يكون فيه للإلكترونات طاقة كافية لإثارة الذرات المعقدة بالتصادم حيث يؤدي التزايد الأسّي لكثافة الإلكترونات ذات السعات المرتفعة قرب المربط إلى سطوع حين لا بأس به بالقرب من المربط يدعى بالتوهج السالب

6- حين استون : هو عبارة عن طبقة λ_D تقع إلى يمين المربط ويكون الحقل الكهربائي فيها كبير جداً مما يؤدي إلى تسريع الإلكترونات انطلاقاً من المربط كما وتؤدي هذه الطبقة على مشتتات λ_D سالبة مما يؤدي إلى إبعاد الإلكترونات الأولية والثانوية عنه المربط وبالتالي زيارته عدد الأيونات الموجبة في هذه المنطقة على حساب الإلكترونات فينتج عن فصل إثارة الذرات المعقدة فتبدو هذه المنطقة على أنها شرة مظلمة

إله الأول الثاني

افترضنا λ ما أخذ ماب درجة الثانية أننا عملية الثانية عملية عكسية
أي في الوقت الذي يتم فيه تشكل أيونات والكثرونات هيدروجين داخل الغاز
فإن هناك أيونات أخرى تقوم بالاتحاد مع الكثرونات لتكون ذرات ^{هيدروجين} ~~هيدروجين~~



A ذرة متعادلة ، λ الطاقة المتوفرة A^+ أيون موجب مع الكثرون
مع إهمال حالات الاثارة للذرات مع احتساب الحالات الموجودة حالة الذرة المتعادلة
وحالة الأيون وبالتالي ثابت التفاعل

$$K(T) = \frac{P_e P_i}{P_0} \quad (2)$$

حيث P_e و P_i و P_0

هي الضغوط الجزئية للكثرونات والأيونات والذرات المتعادلة

$$K(T) = \frac{P_e P_i}{P_0} = c T^{\frac{5}{2}} \exp\left(-\frac{e \phi_i}{k_B T}\right) \quad (3)$$

بفرض أن مكونات الغازات تكون غاز مثالي وبالتالي يمكن استبدال
الضغوط الجزئية بكثافة الجسيمات

$$\log_{10} \frac{n_e n_i}{n_0} = -5.040 \frac{e_i}{T} + \frac{5}{2} \log_{10} T + 15.4 \quad (4)$$

وبالتالي درجة الثانية

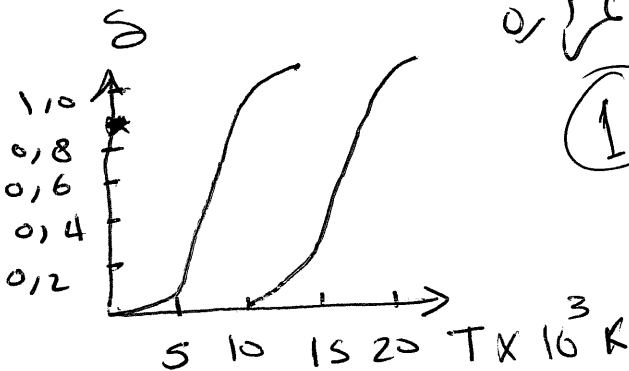
$$S = \frac{P_i}{P_i + P_0} \quad (1)$$

(3)

وعية

$$\log_{10} \frac{S^2}{1-S^2} = -5.040 \frac{e_i}{T} + \frac{5}{2} \log_{10} T - 6.5 \quad (5)$$

تحلل المعادلتين (4) و (5) فيبقى معادلة λ والتي تعطي درجة الثانية للغاز
عند ضغط معين يتابع درجة الحرارة



رأسه حركة جسم مشحون في حقل مغناطيسي متجانس بوجود قوى ثابتة:
 إذا أثرت على الجسم المشحون بالاضافة إلى قوت لورنتز قوى ثابتة فإن معادله الحركة

$$m \vec{a} = \frac{q}{c} (\vec{v} \wedge \vec{B}) + \vec{F} \quad (1) \quad (2)$$

نحل كل من $\vec{a}$ و $\vec{F}$ إلى مركبتين (الواحدة على $\vec{B}$ والثانية

$$m a_{||} = F_{||} \quad (2) \quad (3)$$

$$m a_{\perp} = \frac{q}{c} (\vec{v}_{\perp} \wedge \vec{B}) + F_{\perp}$$

بأن المركبتين الطولية والعرضية تجريان وفق معجمتين مختلفتين لذلك ندرس كل منهما على حده

(أ) بأن المركبة الطولية $F_{||} \neq 0$ إذن يوجد تسارع طولاني لا يسد في الصفر نفوذ إلى تغير المركبة الطولية لسرعة الجسم.

(ب) المركبة العرضية: (انحراف طبيعي) + حركة دورانية حول خطوط $\vec{B}$
 $\vec{a}_{\perp} = \vec{a}_d + \vec{a}_R \Rightarrow m \vec{a}_{\perp} = m(\vec{a}_d + \vec{a}_R)$

$$m \vec{a}_{\perp} = \left[\underbrace{\frac{q}{c} (\vec{v}_d \wedge \vec{B})}_{(1)} + \underbrace{(\vec{v}_R \wedge \vec{B})}_{(2)} \right] + F_{\perp} \quad (3) \quad *$$

نلاحظ من المعادلة * أن الحدين (1) و (3) ثابتان وهما غنات

$$F_{\perp} + \frac{q}{c} (\vec{v}_d \wedge \vec{B}) = 0 \quad (1) \quad \boxed{B}$$

$$\vec{v}_d = \frac{c}{q} \left(\frac{\vec{F}_{\perp} \wedge \vec{B}}{B^2} \right) = \frac{c}{q} \left(\frac{\vec{F} \wedge \vec{B}}{B^2} \right) \quad (4) \quad \boxed{A}$$

$$m \vec{a}_{\perp} = \frac{q}{c} (\vec{v}_R \wedge \vec{B}) \quad (1)$$

وهي تمثل الحركة الدوائية لجسم مشحون يتحرك بالاتجاه العمودي على خطوط قوة الحق

لا نعرف الناتج عند الذرع: يكافئ الجسم المشحون الذي يتمك من إصدارات لا حصر لها
 ثنائي قطب مغناطيسي عزفه يساوي (2) $\vec{\mu} = -\mu \frac{\vec{B}}{B}$



(2) $\mu = m \frac{v_{\perp}^2}{2B}$

فيضع الجسم المشحون لتأثير قوة تحاول تحريكه باتجاه تناقص قيم
 الحقل المغناطيسي تساوي (2) $F_{\perp} = -\mu \nabla_{\perp} B$

وبالتالي ان الجسم يتحرك بسرعة ناتجة عن الذرع تساوي (2) $\vec{v}_{d.c} = \frac{c}{q} \left(\frac{\vec{F}_{\perp} \wedge \vec{B}}{B^2} \right)$

(3) $\vec{v}_{d.c} = \frac{c}{q} \left(\frac{\vec{F}_{\perp} \wedge \vec{B}}{B^2} \right)$

(2) $\vec{v}_{d.c} = -\frac{c}{q} \mu \left(\frac{\vec{v}_{\perp} \wedge \vec{B}}{B^2} \right)$

نعوض عن قيمة μ ونجري التبديل في الطرف الأيمن فنجد

(3) $\vec{v}_{d.c} = \frac{c}{q} m \frac{v_{\perp}^2}{2B} \left(\frac{\vec{B} \wedge \vec{v}_{\perp} \wedge \vec{B}}{B^2} \right)$

(2) $\omega = \frac{qB}{mc} \Rightarrow \vec{v}_{d.c} = \frac{v_{\perp}^2}{2\omega} \left(\frac{\vec{B} \wedge \vec{v}_{\perp} \wedge \vec{B}}{B^2} \right)$

~~النتيجة النهائية~~

في منطقة سطح البلازما متعادلة كهربائياً في البدء بسبب تساوي عدد الإلكترونات والأيونات فيها بعد مرور فترة من الزمن (تحتل هذا التوازن وذلك لأن عدد الإلكترونات الأيونات المتصلة إلى هذا السطح خلال واحدة الزمن سيكون أقل من عدد الإلكترونات نتيجة الفرق في الكتلة فيها) وبالتالي جدار البلازما سيكتسب شحنة سالبة بالنسبة لباني مناطق البلازما هذا التأثير لا يمكن أن يستمر حتى لا يعود إلى وضع متوازن حيث أنضبع فيه المنطقة الخارجية للبلازما سالبة الشحنة في حين تبصر بفضية مناطق البلازما الداخلية موجبة الشحنة وبالتالي يجب التأثير بظواهر مماثلة الأمر يقوم لمعادلة التأثير الأول بطريقة مماثلة أن وجود هذا التجمع للشحنات السالبة عند حافة درع البلازما سيؤدي إلى حدوث فرق جهد كهربائي بين منطقة الحافة ودافل البلازما وبفهمنا أن عدد الإلكترونات الجسيمات الكثير من عدد الأيونات الموجبة وبالتالي

$$\frac{dV}{V} = \frac{q}{\epsilon_0} \Rightarrow \frac{dV}{dx^2} = \frac{n_e e}{\epsilon_0} \quad (2)$$

كثافة جدار البلازما L

$$\frac{dV}{dx} = \frac{n_e e}{\epsilon_0} x + C_1 \quad (1)$$

وبالتالي توقف الجهد بعد L وبذلك يكون $\frac{dV}{dx} = 0$ أي عند $x = L$ على اختيار $x = L$ هي حافة البلازما الخارجية وبذلك يكون ثابت التكامل C_1 مساوياً للصفر و $V = 0$ عند $x = 0$ فنجد

$$V = \frac{1}{2} \frac{n_e e}{\epsilon_0} x^2 \Rightarrow \Delta V = \frac{n_e e}{2\epsilon_0} L^2$$

والعامل الحقيقي ليس الاشارة عند الطاقة الحرارية للإلكترونات وبالتالي

$$\frac{1}{2} k_B T_e = \frac{1}{2} \frac{n_e e}{\epsilon_0} L^2 \Rightarrow L = \sqrt{\frac{k_B T_e \epsilon_0}{n_e e^2}}$$

وهو طول ديبي λ_D

واب السؤال الخامس: $\vec{D} \times \vec{B} = -i\omega\mu_0 \hat{\epsilon} \vec{E}$ (2)

$$\hat{\epsilon} = \epsilon_0 \left(\hat{I} + i \frac{\vec{\sigma}}{\epsilon_0 \omega} \right) \text{ (2)}$$

$\hat{\epsilon}$ تَنسُور العازلية

$$\hat{I} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ (1)}$$

نُوضِّح كل من $\hat{I}$ و $\vec{\sigma}$ فُتَي

$$\hat{\epsilon} = \epsilon_0 \left[\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ (2)} + \frac{1}{\epsilon_0 \omega} \begin{bmatrix} \sigma_I & -\sigma_H & 0 \\ \sigma_H & \sigma_I & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{II} \end{bmatrix} \right]$$

$$\epsilon_0 \begin{bmatrix} 1 + \frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_I & -\frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_H & 0 \\ \frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_H & 1 + \frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_I & 0 \\ 0 & 0 & \frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_{II} \end{bmatrix} \text{ (2)}$$

$$\hat{\epsilon} = \epsilon_0 \begin{bmatrix} \epsilon_1 & -\epsilon_2 & 0 \\ \epsilon_2 & \epsilon_1 & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_3 \end{bmatrix}$$

$$v_{ph}^2 = \frac{\omega^2}{k^2} = \frac{\omega_{pe}^2}{k^2} + \frac{3 k_B T_e}{m_e}$$

يلتزم السؤال الثاني:

(1)

$$v_{ph} = \frac{\omega}{k} = \sqrt{\frac{\omega_{pe}^2}{k^2} + \frac{3 k_B T_e}{m_e}} \quad (2)$$

فكنا المصطلح على سرعة الموجة ففاضلة عبارة التردد بالشبه k

$$2 \omega d\omega = 2 \left(\frac{3 k_B T_e}{m_e} \right) k dk \quad (1)$$

$$\frac{\omega}{k} \frac{d\omega}{dk} = \frac{3 k_B T_e}{m_e} \quad (2)$$

$$v_g = \frac{3 k_B T_e / m_e}{\sqrt{\frac{\omega_{pe}^2}{k^2} + \frac{3 k_B T_e}{m_e}}} \quad (2)$$

تتركز الالكترونات بسرعة $v_g = \sqrt{\frac{3 k_B T_e}{m_e}}$ وهذا المطلوب (2)



مكتبة
A to Z