كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

اسئلة دوراات محلولة

فيزياء البلازما

A 2 Z LIBRARY

Facebook Group : A to Z مكتبة

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

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

جامعة طرطوس

كلية العلوم- قسم الفيزياء

سلم تصحيح امتحان أسئلة مقرر البلازما لطلاب السنة الرابعة فيزياء – الدورة الفصلية الأولى للعام الدراسي 2024-2025

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 فان البلازما هي حالة المادة أثناء وجودها بدرجة عالية من التأين، أي عندما تتحول ذرات المادة إلى أيونات موجبة مع الكترونات سالبة. (4)

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 الالكترونات والأيوناتبالذرات المتعادلة وكذلك من تصادم الذرات المتعادلة فيما بينها. أما للحصول على بلازما قليلة التأين، فيتم بوساطة ما يسمى بالتأين في المجالات الكهربائية، أو التأين بالإشعاع ذي الطاقة الكافية للتأين. (4)
- 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. (4)

ت-هي نظام ديناميكي تتحكم به قوى كهرومغناطيسية.

ث-لمعالجة مسائل تقانية مهمة مثل المسائل التي تواجهنا لبناء مفاعلات الاندماج النوويالحراريوالتحول المغنوهيدروديناميكيللطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية.

يُعرف طول ديباي بأنه معدل المسافة التي يقع فيها تأثير المجال الكهربائي لجسيم مشحون. يُعطى في الجملة السغثية بالصيغة $\lambda = \left(\frac{KT_e}{4\pi e^2 n_e}\right)^{1/2}$ وتساوي قيمته من أجل المعطيات إلى $\lambda_D = 37.82 \times 10^{-7} m$ (3)

2.

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

(8)

3.

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 الالكترونات أقل من كتلة الأيونات ولها القدرة على الحركة أكثر من الأيونات، لذلك يُحسب طول ديباي على أساس الالكترونات وليس على حساب الأيونات. (8)

ت- لأن المجال المغناطيسي يؤثر على الجسيمات المشحونة المتحركة بسرعة فقط.

ث- لأنه يحوّل الطاقة الأفقية إلى طاقة عمودية.

Ato Z

جواب السؤال الثاني(35 درجة)

.1

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

بالتعويض في المعادلة السابقةأن $\vec{E} = -\vec{\nabla}\emptyset$ نحصل على $\frac{\mathbf{d}}{\mathbf{dt}}\left(\frac{1}{2}mv^2\right) = -q(\vec{v}.\vec{\nabla}\emptyset) = -q\left(\frac{dr}{dt}\frac{d\emptyset}{dr}\right)$ بمبادلة التفاضل بين الإحداثيات المكاني والزمانية نجد: $\frac{d}{\mathbf{dt}}\left(\frac{1}{2}mv^2\right) = -\mathbf{q}\frac{\mathbf{d}\emptyset}{\mathbf{dt}} \Rightarrow \frac{d}{\mathbf{dt}}\left(\frac{1}{2}mv^2+\mathbf{q}\emptyset\right) = \mathbf{0}$ 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 $m\frac{d\vec{v}}{dt} = q\left[\vec{E}+\vec{v}\times\vec{B}\right]$ أن:

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

$$\Rightarrow \dot{v}_x\vec{e}_x+\dot{v}_y\vec{e}_y+\dot{v}_z\vec{e}_z = \frac{q}{m}\left[E_x\vec{e}_x+E_y\vec{e}_y+E_z\vec{e}_z+v_yB\vec{e}_x-v_xB\vec{e}_x\right]$$

نجد بمساواة مركبات المتجهات المتناظرة بين طرفي المعادلة:

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

يمكن من المعادلة الثالثةإيجاد سرعة الجسيم وفق المحور zوذلكبإجراء التكامل مباشرة فنحصل على: $v_z = \frac{q}{m}E_zt + v_z(0)$ (4) نستنتج أن الجسيم يتحرك باتجاه z حركة متسارعة بتسارع $\frac{q}{m}E_z$. وعندما $\vec{E}_Z = 0$، فان الجسيم يتحرك حركة مستقيمة منتظمة.

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

$$\ddot{v}_x = \frac{qB}{m}\dot{v}_y = \frac{qB}{m}\left[\frac{q}{m}(E_y-Bv_x)\right] = \frac{q^2B^2}{m^2}\left(\frac{E_y}{B}-v_x\right)$$ (3)

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

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

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

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

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

A to Z

نستنتج أن مركبتي سرعة الجسيم في المستوي العمودي على $\vec{B}$ (المستوي XY) تهتزان بتواترات مساوية للتواتر السكلترونيω_Cإضافة 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

.3 $v_G = \frac{EB}{B^2} = \frac{E}{B} = \frac{100\frac{v}{cm}}{2\frac{web}{m^2}} = 50\frac{\frac{v}{10^{-2}m}}{\frac{web}{m^2}} = 50\times10^2\frac{\frac{w}{sm}}{\frac{w}{m^2}} = 5\times10^3\frac{m}{s}$ 4

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

جواب السؤال الثالث(20 درجة)

.1

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

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

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

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

بما أن المجال $\vec{B}$ لا يعتمد على الزمن (ثابت ومتجانس في الفضاء). فان: $\Rightarrow \vec{v}_p = \frac{m}{qB^2}\frac{d\vec{E}_\perp}{dt}$ 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 $\vec{v}_p$ سرعة انجراف الاستقطاب. 4

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

طرطوس في 2025/3/3

أ.د. محمد حسن فاهود

A to Z

جامعة طرطوس كلية العلوم قسم الفيزياء		امتحان فيزياء البلازما لطلاب السنة الرابعة فيزياء الدورة الفصلية الثانية للعام الدراسي 2024 - 2023م مدة الامتحان: ساعتان 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، التأثر والتأثير 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:

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

4- علل ما يأتي:

a. البلازما مادة دايا مغناطيسية.
b. لحساب طول ديباي نستخدم درجة حرارة الالكترونات 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 بلازمي لتأثير مجالات كهرومغناطيسية. المطلوب:

a. تُعطى معادلة حركة الجسيم بالصيغة ..... $m\frac{d\vec{v}}{dt}=$.
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 $\dot{v}_x\ ,\dot{v}_y\ ,\dot{v}_z$ (مركبات التسارع)، ثم احسب السرعة v_z، ما هو نوع الحركة وفق المحور z؟
e. بفرض أن $\dot{v}_x=\frac{q}{m}\left(E_x+Bv_y\right)$, $\dot{v}_y=\frac{q}{m}\left(E_y-Bv_x\right)$. أوجد المعادلتين التفاضليتين لـ $\dot{v}_x$ و $\dot{v}_y$ واكتب حلهما 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 الانجراف للجسيمات؟ هل تكون سرعة الانجراف للالكترونات وللايونات متساوية في هذه الحالة؟علل إجابتك.
علماً أن $1T=\frac{1V.sec}{m^2}$.

يتبع على الصفحة الثانية

السؤال الثالث(25 درجة)

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

   a. اثبت 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: $\vec{v}_p=\frac{m}{qB^2}\frac{\partial \vec{E}_\perp}{\partial t}$

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

2. يُمثل $d^6N_\alpha(\vec{r},\vec{v},t)=f_\alpha(\vec{r},\vec{v},t)d^3rd^3v$ عدد الجسيمات من النوع α في اللحظة الزمنية t داخل عنصر الحجم d^3rd^3v 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 $\vec{r}'(t+dt)=\cdots\cdots\cdots$, $\vec{v}'(t+dt)=\cdots\cdots\cdots$

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

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

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

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

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

   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

طرطوس في 2024/7 /17

أ. د. محمد حسن فاهود

A to Z مكتبة

جامعة طرطوس

كلية العلوم- قسم الفيزياء

سلم تصحيح امتحان أسئلة مقرر البلازما لطلاب السنة الرابعة فيزياء – الدورة الفصلية الثانية للعام الدراسي 2024-2023

جواب السؤال الأول(35 درجة)

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

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

- يتم الاهتمام بالبلازما للأسباب الآتية:
- 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	$T < 0\,C^0$	قوية
سائلة	$100\,C^0 > T > 0\,C^0$	ضعيفة
غازية	$T > 100C^0$	معدومة
بلازما	$T > 100000\,C^0$	معدومة

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

مكتبة A to Z

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.

b. لأن كتلة الالكترونات أقل من كتلة الأيونات ولها القدرة على الحركة أكثر من الأيونات، لذلك يُحسب طول ديباي على أساس الالكترونات وليس على أساس الأيونات. 8

c. لأن المجال المغناطيسي يؤثر على الجسيمات المشونة والمتحركة بسرعة.

d. لانه يحوّل الطاقة الأفقية إلى طاقة عمودية.

جواب السؤال الثاني(30درجة)

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

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

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

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

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

$\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}mv^2\right)=-q\left(\frac{d\phi}{dt}\right)\Rightarrow\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}mv^2+q\phi\right)=0$ 2 . نستنتج من هذه المعادلة أن مجموع الطاقتين الحركية والكامنة الناتجتين عن المجال الكهربائي يبقى ثابتاً وهو قانون حفظ الطاقة. 2

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

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

$$\Rightarrow\dot{v}_x\vec{e}_x+\dot{v}_y\vec{e}_y+\dot{v}_z\vec{e}_z=\frac{q}{m}\left[E_x\vec{e}_x+E_y\vec{e}_y+E_z\vec{e}_z+v_yB\vec{e}_x-v_xB\vec{e}_y\right]$$

بمساواة مركبات المتجهات المتناظرة بين طرفي المعادلة، نجد:

$$\dot{v}_x=\frac{q}{m}\left(E_x+Bv_y\right)\ ,\ \dot{v}_y=\frac{q}{m}\left(E_y-Bv_x\right)\ ,\ \dot{v}_z=\frac{q}{m}E_z$$ 3

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

e. يمكن الحصول على $\ddot{v}_x$ و $\ddot{v}_y$ ، من مفاضلة $\dot{v}_x$ بالنسبة للزمن فنجد $\ddot{v}_x=\frac{qB}{m}\dot{v}_y$ بالتعويض عن $\dot{v}_y$ ينتج أن:

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

Ato Z

وهي معادلة تفاضلية غير متجانسة حلها العام هو مجموع حلين، حل عام للمتجانسة $\ddot{v}_x + \omega_c^2 v_x = 0$ هو $U\sin(\omega_c t + \varphi)$ حيث φ و U ثابتي تكامل، ويعطى الحل الخاص بـ $v_x = \frac{E_y}{B}$ وبذلك يكون الحل العام لهذه المعادلة مساوياً إلى: $v_x = U\sin(\omega_c t + \varphi) + \frac{E_y}{B}$ ويمكن إيجاد v_y من المعادلة

$$v_x = \frac{q}{m}\left(E_x + Bv_y\right) \Rightarrow v_y = \frac{m}{qB}\dot{v}_x - \frac{E_y}{B} = \frac{m}{qB}U\omega_c\cos(\omega t - \varphi) - \frac{E_y}{B} = U\cos(\omega t - \varphi) - \frac{E_y}{B}$$

نلاحظ أن مركبتي السرعة في المستوي (x,y) العمودي على B تهتز بتواترات مساوية للتواتر السيكلوتروني ω_c. إضافة الى سرعة انجراف في هذا المستوي والتي تساوي الى: $\vec{v}_D = \frac{E_y}{B}\vec{e}_x - \frac{E_x}{B}\vec{e}_y = \frac{\vec{E}\times\vec{B}}{B^2}$

f. ب- يكون مقدار هذه السرعة عندما $\vec{E}\perp\vec{B}$ مساوياً إلى: $v_D = \frac{E}{B} = \frac{10^4 T.m}{2T.s} = 5\times10^3 m.s^{-1}$

مكتبة A to Z

جواب السؤال الثالث(30درجة)

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 بالمتجه $\vec{B}$ يكون:

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

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

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

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

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

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 $\vec{v}_p$ سرعة انجراف الاستقطاب.

2.

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

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

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

c. $d^3r'd^3v' = |J|d^3rd^3v$

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

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

باستخدام $\vec{\nabla} = \hat{e}_x \frac{\partial}{\partial x} + \hat{e}_y \frac{\partial}{\partial y} + \hat{e}_z \frac{\partial}{\partial z}$. $\vec{\nabla}_v = \hat{e}_{v_x} \frac{\partial}{\partial v_x} + \hat{e}_{v_y} \frac{\partial}{\partial v_y} + \hat{e}_{v_z} \frac{\partial}{\partial v_z}$ نحصل من المنشور السابق على:

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

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

نحصل على

$$\frac{\vec{D} f_\alpha(\vec{r}, \vec{v}, t)}{\partial t} = 0$$

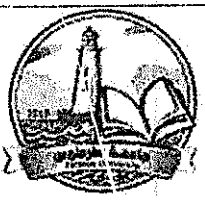
تُعبر هذه العلاقة عن قانون حفظ الكثافة للنقاط الممثلة في فضاء الطور وتعرف هذه النتيجة بنظرية ليوفيل.

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

طرطوس في 17/ 7 / 2024م

أ. د. محمد حسين فاهود

مكتبة A to Z

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

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، التأثر والتأثير بالمجالات الكهرومغناطيسية.

2 - علل ما يأتي:

أ- البلازما مادة دايا مغناطيسية.

ب- لحساب طول ديباي نستخدم درجة حرارة الالكترونات 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 ديباي و تردد البلازما) لبلازما طبقة أيونوسفير الأرض، علماً أن التركيز الالكتروني $n_e = 10^5 cm$ ودرجة حرارة الالكترونات $KT_e = 0.2\,\mathrm{eV}$.

الثوابت: في الجملة الدولية

$$m_e = 9.1\times10^{-31} kg \;,\; \varepsilon_0 = 8.85\times10^{-12}\,F/m \;,\; e = 1.6\times10^{-19} C \;,\; k_B = 1.38\times10^{-23}\,J/K$$

يمكن اعتبار $e^2 = 14.4\times10^{-10} eV.m$ في الجملة الثغثية.

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 $\dot{v}_x \;,\; \dot{v}_y \;,\; \dot{v}_z$، ثم احسب السرعة v_z، ماهو نوع الحركة وفق المحور z؟

ت - بفرض 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 وللأيون متساوٍ؟ علل اجابتك.

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

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

ماذا يُمثل 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

مكتبة A to Z

السؤال الثالث(30درجة)

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

أ- اثبت 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: $\vec{v}_p=\frac{m}{qB^2}\frac{\partial \vec{E}_\perp}{\partial t}$

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:

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

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. يُمثل $d^6N_\alpha(\vec{r},\vec{v},t)=f_\alpha(\vec{r},\vec{v},t)d^3rd^3v$ عدد الجسيمات من النوع α في اللحظة الزمنية t داخل عنصر الحجم d^3rd^3v 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 $\vec{r}'(t+dt)=\ldots\ldots\ldots,\ \vec{v}'(t+dt)=\ldots\ldots\ldots$

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

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

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

ث- استخدم منشور تايلور 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:

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

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

تمنياتي لكم بالتوفيق والنجاح

طرطوس في 18 /2/ 2024

أ. د. محمد حسن فاهود

A to Z مكتبة

جامعة طرطوس

كلية العلوم- قسم الفيزياء

سلم تصحيح امتحان أسئلة مقرر البلازما لطلاب السنة الرابعة فيزياء – الدورة الفصلية الأولى للعام الدراسي 2023-2024

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 فان البلازما هي حالة المادة أثناء وجودها بدرجة عالية من التأين، أي عندما تتحول ذرات المادة إلى أيونات موجبة مع الكترونات سالبة. (4)

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 نتيجة تصادم الالكترونات والأيونات بالذرات المتعادلة وكذلك من تصادم الذرات المتعادلة فيما بينها. أما الحصول على بلازما قليلة التأين فيتم بوساطة ما يسمى بالتأين في المجالات الكهربائية، أو التأين بالإشعاع ذي الطاقة الكافية للتأين. (2)
- يتم الاهتمام بالبلازما للأسباب الآتية (تُعطى العلامة عند ذكر أثنين 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. (4)

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. (6)

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. (8)

ب- لأن كتلة الالكترونات أقل من كتلة الأيونات ولها القدرة على الحركة أكثر من الأيونات، لذلك يُحسب طول ديباي على أساس الالكترونات 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 يحوّل الطاقة الأفقية إلى طاقة عمودية.

3. طول ديباي $\lambda_D = \left(\frac{k_B T}{4\pi e^2 n}\right)^{1/2} = \left(\frac{0.2}{4\pi \times 14.4 \times 10^{-10} \times 10^{18}}\right)^{1/2} \approx 0.033 \times 10^{-4} m$ (3)

تردد البلازما ω_{pe}:

مكتبة Ato Z

$$\omega_{pe}=\left(\frac{e^2 n_e}{\varepsilon_0 m_e}\right)^{1/2}=\left(\frac{(1.6\times10^{-19})^2\times10^{12}}{8.85\times10^{-12}\times9.1\times10^{-31}}\right)^{1/2}=(0.032\times10^{17})^{\frac{1}{2}}=0.565\times10^{8}\,HZ$$

3

جواب السؤال الثاني(30درجة)

أ- $m\frac{d\vec{v}}{dt}=q\left[\vec{E}+\vec{v}\times\vec{B}\right]$ 3

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

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

$$\Rightarrow \dot{v}_x\vec{e}_x+\dot{v}_y\vec{e}_y+\dot{v}_z\vec{e}_z=\frac{q}{m}\left[E_x\vec{e}_x+E_y\vec{e}_y+E_z\vec{e}_z+v_yB\vec{e}_x-v_xB\vec{e}_y\right]$$

نجد بمساواة مركبات المتجهات المتناظرة بين طرفي المعادلة:

$$\dot{v}_x=\frac{q}{m}\left(E_x+Bv_y\right)\ ,\ \dot{v}_y=\frac{q}{m}\left(E_y-Bv_x\right)\ ,\ \dot{v}_z=\frac{q}{m}E_z$$ 3

$v_z=\frac{q}{m}E_z t+v_z(0)$ 3 نستنتج أن الجسيم يتحرك باتجاه z حركة متسارعة بتسارع $\frac{q}{m}E_z$.

ت- لدينا من معادلة الحركة الدورانية $\vec{F}=q\left(\vec{v}_\perp\times\vec{B}\right)\Rightarrow ma_n=qv_\perp B$ حيث

$$a_n=\frac{v_\perp^{\,2}}{r}\Rightarrow m\frac{v_\perp^{\,2}}{r}=qv_\perp B\Rightarrow r_c=\frac{mv_\perp}{qB}=\frac{v_\perp}{\omega_c}$$ 4

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

ث- يُعبر الحد الأول عن حركة دورانية للجسيم حول المجال $\vec{B}$ ، ويُعبر الحد الثاني عن سرعة انجراف مركز التوجيه باتجاه عمودي على كلٍ من $\vec{B}$ و $\vec{E}$ ، 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 الصفر. 10

جواب السؤال الثالث(30درجة)

.1

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

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

$\vec{B}\times\left(\vec{v}_p\times\vec{B}\right)=\frac{m}{qB^2}\frac{d}{dt}\left[\vec{B}\times\left(\vec{E}_\perp\times\vec{B}\right)\right]$ 2 باستخدام خواص الضرب المتجهي لثلاثة متجهات (قاعدة جيبس) نجد:

مكتبة AtoZ

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

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

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

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

2.

أ. (3)

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

ب.

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

ت.

$$d^3r'd^3v' = |J|d^3rd^3v$$ (3)

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

ث.

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

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

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

أ. نحصل على

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

$$\frac{\vec{D}f_\alpha(\vec{r},\vec{v},t)}{\partial t} = 0$$ (1)

تُعبر هذه العلاقة عن قانون حفظ الكثافة للنقاط الممثلة في فضاء الطور وتعرف هذه النتيجة بنظرية ليوفيل. (1)

طرطوس في: 18 /2/ 2024م

أ. د. محمد حسن فاهود

مكتبة A to Z

جامعة طرطوس

كلية العلوم- قسم الفيزياء

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 فان البلازما هي حالة المادة أثناء وجودها بدرجة عالية من التأين، أي عندما تتحول ذرات المادة الى أيونات موجبة مع الكترونات 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. 6

2.

أ- لأن كتلة الالكترونات أقل من كتلة الأيونات وبالتالي فلها القدرة على الحركة أكثر من الأيونات، لذلك يُحسب طول ديباي على أساس الالكترونات 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 فان جميع الجسيمات المشحونة في البلازما تنجرف معاً بنفس السرعة(مقدار ثابت). 12

ث- لأن الحقل المغناطيسي يجعل الجسيمات تتحرك حركة دورا نية 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 يحوّل الطاقة الأفقية إلى طاقة عمودية.

3. طول ديباي $\lambda_D = \left(\frac{\varepsilon_0 k_B T}{e^2 n}\right)^{1/2} = \left(\frac{8.85\times10^{-12}\times1.38\times10^{-23}\times3\times10^4}{(1.6\times10^{-19})^2\times10^{19}}\right)^{1/2} \approx 14.3\times10^{-10} m$ 6

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

$$\omega_{pe} = \left(\frac{e^2 n_e}{\varepsilon_0 m_e}\right)^{1/2} = \left(\frac{(1.6\times10^{-19})^2\times10^{19}}{8.85\times10^{-12}\times9.1\times10^{-31}}\right)^{1/2} = 18\times10^{10} HZ \Rightarrow \tau = \frac{2\pi}{\omega_{pe}} = 0.35\times10^{-10}\,\text{sec}$$

$$f_{pe} = \frac{1}{\tau} = 2.86\times10^{10} HZ \quad \Rightarrow N_D = \frac{4}{3}\pi\lambda_D^3 n_e = \frac{4}{3}\pi\left(4\times10^{-6}\right)^3\times10^{19} \approx 2245$$

جواب السؤال الثاني(30درجة)

1. $$m\frac{v_\perp^2}{r_L}=qv_\perp B\Rightarrow r_L=\frac{mv_\perp}{qB}=\frac{v_\perp}{\omega_c}$$ (2)

ينتج أن نصف قطر الإلكترون (نصف قطر لارمر) اصغر من نصف قطر لارمر للأيون وأن تردد الإلكترون أكبر من تردد الأيون، لأن كتلة الإلكترون أصغر من الأيون، وبالتالي تُعتبر سرعة الإلكترون والأيون متساوية ($\omega_c=\frac{qB}{m}$ (5)، $v_\perp=\frac{qB}{m}r_L$).

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

$$m\frac{d}{dt}\left(v_x\vec{e}_x+v_y\vec{e}_y+v_z\vec{e}_z\right)=q\left[E_x\vec{e}_x+E_y\vec{e}_y+E_z\vec{e}_z\right]+\begin{vmatrix}\vec{e}_x&\vec{e}_y&\vec{e}_z\\v_x&v_y&v_z\\0&0&B\end{vmatrix}\Rightarrow$$ (2)

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

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

$$\dot{v}_x=\frac{q}{m}\left(E_x+Bv_y\right),\ \dot{v}_y=\frac{q}{m}\left(E_y-Bv_x\right),\ \dot{v}_z=\frac{q}{m}E_z \quad (1)$$ (3)

نجد من المعادلة الثالثة أن:

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

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

- يمكن المركبات للس (2) $v_z=\frac{dv_z}{dt}=\frac{q}{m}E_z\Rightarrow v_z=\frac{q}{m}E_zt+v_z(0)$ رعة v_x و v_y من مفاضلة المعادلة الأولى في (1) بالنسبة إيجاد للزمن.

$$\ddot{v}_x=\frac{qB}{m}\dot{v}_y \quad (3)$$ (2)

بالتعويض عن $\dot{v}_y$ من المعادلة (1) في المعادلة (3) نحصل على:

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

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

A to Z

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

ويمكن إيجاد v_y من المعادلة الأولى كما يلي:

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

بالتعويض عن v_x من المعادلة(4) نحصل على:

$$v_y = U\cos(\omega_c - \varphi) + \frac{E_x}{B} \qquad (5)$$

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

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

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

جواب السؤال الثالث(30درجة)

1.

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

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

$$B\times\left(\vec{v}_p \times \vec{B}\right) = \frac{m}{qB^2}\frac{d}{dt}\left[\vec{B}\times\left(\vec{E}_\perp \times \vec{B}\right)\right]$$ باستخدام خواص الضرب المتجهي لثلاثة متجهات (قاعدة جيبس) نجد:

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

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

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

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

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:

$$\vec{\nabla}\times\vec{E}=\begin{vmatrix}\vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z\\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z}\\ E_0e^{i(kz-\omega t)} & 0 & 0\end{vmatrix}=0\vec{e}_x-\left(\frac{\partial}{\partial x}0-\frac{\partial}{\partial z}E_0e^{i(kz-\omega t)}\right)\vec{e}_y+\left(\frac{\partial}{\partial x}0-\frac{\partial}{\partial y}E_0e^{i(kz-\omega t)}\right)\vec{e}_z$$

$$=0\vec{e}_0+ikE_0e^{i(kz-\omega t)}\vec{e}_y+(0-0)\vec{e}_z=ikE_0e^{i(kz-\omega t)} \qquad (1)$$

6

ونجد من حساب الطرف اليميني في قانون فاراداي أن:

$$\frac{\partial\vec{B}}{\partial}=\frac{\partial}{\partial t}\left(B_0e^{i(kz-\omega t)}\vec{e}_y\right)=-i\omega B_0e^{i(kz-\omega t)}\vec{e}_y \qquad (2)$$

6

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

$$ikE_0e^{i(kz-\omega t)}=-(-i\omega B_0)e^{i(kz-\omega t)}\Rightarrow B_0=\frac{k}{\omega}E_0$$

4

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

طرطوس في 2023/9/14

أ. د. محمد حسن فاهود

A to Z

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

أجب عن الأسئلة الآتية:

السؤال الأول(30 درجة)

1- عرّف البلازما، - اذكر الفرق بين البلازما وبين الغاز من حيث: درجة الحرارة - الموصلية الكهربائية – التأثر والتأثير بالحقول الكهرومغناطيسية.

2- علل ما يلي:

أ- لحساب طول ديباي نستخدم درجة حرارة الالكترونات 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 دايا مغناطيسية.

ح- يُستخدم الحقل المغناطيسي لحصر البلازما.

3- احسب القياس الفضائي (طول ديباي) λ_D ، والزماني τ ، والتردد f_{pe}، واحسب عدد الالكترونات N_D في كرة ديباي في غاز متأين درجة حرارة الالكترونات فيه $T_e = 3\times10^4 K$ 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:

$$m_e = 9.1\times10^{-31} kg \ , \ \varepsilon_0 = 8.85\times10^{-12} \mathrm{F.m^{-1}} \ , \ \mathrm{e} = 1.6\times10^{-19} C \ , \ \mathrm{k_B} = 1.38\times10^{-23} J.K^{-1}$$

السؤال الثاني(30 درجة)

1. يخضع وسط بلازمي 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 $\vec{F} = q\left(\vec{E} + \vec{v}\times\vec{B}\right)$ معادلات مركبات التسارع $v^{\bullet}_z$ ، $v^{\bullet}_y$ ، $v^{\bullet}_x$، 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 بلازمي إلى حقل مغناطيسي ثابت ومتجانس، ولحقل كهربائي متغير مع الزمن وعمودي على $\vec{B}$. إذا علمت أن معادلة حركة 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 mكتلة 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:

$$(i)\ \ \vec{\nabla}.\vec{E} = 0 \ , \ (ii)\ \ \vec{\nabla}.\vec{B} = 0 \ , \ (iii)\ \ \vec{\nabla}\times\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} \ , \ (iv)\ \ \vec{\nabla}\times\vec{B} = \mu_0\varepsilon_0\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}$$

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.

طرطوس في 2023/7/26

أ. د. محمد حسن فاهود

A to Z

جامعة طرطوس

كلية العلوم- قسم الفيزياء

سلم تصحيح امتحان أسئلة مقر البلازما لطلاب السنة الرابعة فيزياء – الدورة الفصلية الثانية 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 فان البلازما هي حالة المادة أثناء وجودها بدرجة عالية من التأين، أي عندما تتحول ذرات المادة الى أيونات موجبة مع الكترونات 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. (6)

2.

أ- لأن كتلة الالكترونات أقل من كتلة الأيونات ولها القدرة على الحركة أكثر من الأيونات، لذلك يُحسب طول ديباي على أساس الالكترونات وليس على حساب الأيونات.

ب- لأن كتل الأيون أكبر من كتلة الإلكترون.

ت- تُعطى سرعة الانجراف في البلازما بالعلاقة $\vec{v}_D = \frac{\vec{E}\times\vec{B}}{B^2}$ ، لاتعتمد هذه السرعة على كتلة الجسيم أو شحنته، لذلك فان جميع الجسيمات المشحونة في البلازما تنجرف معاً بنفس السرعة(مقدار ثابت).

ث- لأن الحقل المغناطيسي يجعل الجسيمات تتحرك حركة دورا نية بأنصاف أقطار تختلف عن بعضها وبالتالي لا تتصادم الجسيمات. (12)

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 يحوّل الطاقة الأفقية إلى طاقة عمودية.

3. طول ديباي $\lambda_D = \left(\frac{\varepsilon_0 k_B T}{e^2 n}\right)^{1/2} = \left(\frac{8.85\times10^{-12}\times1.38\times10^{-23}\times3\times10^{4}}{(1.6\times10^{-19})^2\times10^{19}}\right)^{1/2} \approx 4\times10^{-6} m$

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

$$\omega_{pe} = \left(\frac{e^2 n_e}{\varepsilon_0 m_e}\right)^{1/2} = \left(\frac{(1.6\times10^{-19})^2\times10^{19}}{8.85\times10^{-12}\times9.1\times10^{-31}}\right)^{1/2} = 18\times10^{10} HZ \Rightarrow \tau = \frac{2\pi}{\omega_{pe}} = 0.35\times10^{-10}\sec$$

$$f_{pe} = \frac{1}{\tau} = 2.86\times10^{10} HZ \quad \Rightarrow \quad N_D = \frac{4}{3}\pi\lambda_D^3 n_e = \frac{4}{3}\pi\left(4\times10^{-6}\right)^3\times10^{19} \approx 2245$$ (4)

جيد

أ.د. محمد حسن ناصور

جواب السؤال الثاني(30درجة)

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

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

4

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

$$v_x = \frac{q}{m}Bv_y \quad , \quad v_y = \frac{q}{m}Bv_x \quad , \quad v_z = 0 \qquad (2)$$

3

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

$$mv_x = qBv_y \Rightarrow mv_x = qB\left(\frac{-qB}{m}\right)v_x \Rightarrow v_x = -\left(\frac{qB}{m}\right)^2 v_x$$

$$\Rightarrow \quad v_x + \omega_c^2 v_x = 0 \qquad (3)$$

2

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

$$v_y + \omega_c^2 v_y = 0 \qquad (4)$$

2

نجد من المعادلة الثالثة أن $v_z = v_z(0)$ أي أن الجسيم يتحرك بسرعة ثابتة وفق المحور z.

ب. يمكن إيجاد مركبات السرعة v_x, v_y من (3) و (4) هما معادلتين تفاضليتين متجانستين حلهما العام هو

$v_x = U\sin(\omega_c - \varphi)$ و $v_x = U\cos(\omega_c - \varphi)$ 4

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

وتكون حركة الجسيم في المستوي (x,y) حركة دائرية ووفق المحور z خطية، وبالمحصلة تكون حركة الجسيم في الفراغ حركة لولبية. 1

2.

أ. نضرب طرفي العلاقة $\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = q\left(\vec{E} + \vec{v}\times\vec{B}\right)$ خارجياً من اليمين بـ $\vec{B}$ ينتج أن: $m\vec{v}\times\vec{B} = q\left[\vec{E} + \vec{v}\times\vec{B}\right]\times\vec{B}$ 2

بما أن سرعة مركز التوجيه ثابتة لا تتغير مع الزمن فان $\vec{v} = 0$ يؤدي إلى أن: 2

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

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

$$v_{GD} = \frac{E}{B} = \frac{10^4 T.m}{2T.s} = 5\times10^3 m.s^{-1}$$

ب- يكون مقدار هذه السرعة عندما $\vec{E}\perp\vec{B}$ مساوياً إلى: 4

أ.د. محمد حسن محمود

A to Z

جواب السؤال الثالث(30درجة)

1.

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

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

باستخدام خواص الضرب المتجهي لثلاثة متجهات (قاعدة جيبس) نجد: $\vec{\mathrm{B}}\times\left(\vec{v}_p\times\vec{B}\right)=\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{qB}^2}\frac{d}{dt}\left[\vec{B}\times\left(\vec{E}_\perp\times\vec{B}\right)\right]$

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

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

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

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

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

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

$$\vec{\nabla}\times\vec{E}=\begin{vmatrix}\vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z\\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z}\\ E_0e^{i(kz-\omega t)} & 0 & 0\end{vmatrix}=0\vec{e}_x-\left(\frac{\partial}{\partial x}0-\frac{\partial}{\partial z}E_0e^{i(kz-\omega t)}\right)\vec{e}_y+\left(\frac{\partial}{\partial x}0-\frac{\partial}{\partial y}E_0e^{i(kz-\omega t)}\right)\vec{e}_z$$

$$=0\vec{\mathrm{e}}_0+\mathrm{ik}E_0e^{i(kz-\omega t)}\vec{e}_y+(0-0)\vec{e}_z=\mathrm{ik}E_0e^{i(kz-\omega t)}\vec{e}_y \qquad (1)$$

ونجد من حساب الطرف اليميني في قانون فاراداي أن:

$$\frac{\partial\vec{B}}{\partial}=\frac{\partial}{\partial t}\left(B_0e^{i(kz-\omega t)}\vec{e}_y\right)=-i\omega B_0e^{i(kz-\omega t)}\vec{e}_y \qquad (2)$$

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

$$ikE_0e^{i(kz-\omega t)}=-(-i\omega B_0)e^{i(kz-\omega t)}\Rightarrow B_0=\frac{k}{\omega}E_0$$

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

A to Z

جامعة طرطوس كلية العلوم قسم الفيزياء	امتحان فيزياء البلازما لطلاب السنة الرابعة فيزياء 2022 - 2023م
	الدرجة العظمى: تسعون
	مدة الامتحان: ساعتان
	أسم الطالب:

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 $\lambda_D=\left(\frac{\varepsilon_0 k_B T_e}{e^2 n}\right)^{1/2}$، والزماني $\tau=\frac{2\pi}{\omega_p}$، والتردد $f_{pe}=\frac{\omega_{pe}}{2\pi}$، حيث $\omega_{pe}=\left(\frac{e^2 n_e}{\varepsilon_0 m_e}\right)^{1/2}$، وأوجد N_D (عدد الالكترونات في كرة ديباي) في غاز متأين درجة حرارة الالكترونات فيه $T_e=3\times10^4 K$، وكثافة الجسيمات $n_e=10^{19}m^{-3}$ (بإهمال تأثير الحقول الخارجية واعتبار هذا الغاز المتأين بمنزلة بلازما).

تعطى الثوابت: $k_B=1.38\times10^{-23}\,J/K$, $e=1.6\times10^{-19}C$, $\varepsilon_0=8.85\times10^{-12}\,F/m$, $m_e=9.1\times10^{-31}kg$

السؤال الثاني(35 درجة)

1. استنتج باستخدام قانون نيوتن الثاني في الحركة **الدورانية** ($m\frac{v_\perp^2}{r_L}=qv_\perp B$) للشحنة حول خطوط الحقل المغناطيسي نصف قطر لارمر r_L ، ناقش علاقة دوران الإلكترون والأيون من حيث: **كبر** كلٍ من: نصف القطر– عدد الدورات– السرعة لكلٍ منهما.

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

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

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

$\dot{v}_x=\frac{q}{m}\left(E_x+Bv_y\right)$, $\dot{v}_y=\frac{q}{m}\left(E_y-Bv_x\right)$, $\dot{v}_z=\frac{q}{m}E_z$ مركبات تسارع الجسيم. واحسب منهم v_z ، ما هو نوع الحركة وفق المحور z؟ وما هو نوع الحركة عندما $E_z=0$ ؟

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

السؤال الثالث(35 درجة)

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

أ- اثبت 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: $\vec{v}_p=\frac{m}{qB^2}\frac{d\vec{E}_\perp}{dt}$

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 بلازمي إلى حقل مغناطيسي $\vec{B}$ **ثابت ومتجانس**، ولحقل كهربائي $\vec{E}$ **متغير بشكل كيفي** مع الزمن $\vec{E}(t)=\vec{E}_0\,e^{-i\omega t}$ وعمودي على $\vec{B}$ (الحركة مستقطبة دائرياً حول $\vec{B}$). تُعطى معادلتي السرعة في هذه الحالة بالصيغتين التاليتين:

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

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:

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

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؟

طرطوس في 5 / 3 /2023 **تمنياتي لكم بالتوفيق والنجاح** **أ. د. محمد حسن فاهود**

A to Z

جامعة طرطوس
كلية العلوم قسم الفيزياء

سلم تصحيح أسئلة امتحان البلازما لطلاب س4 فيزياء
الفصل الأول 2022-2023

جواب السؤال الأول (20 درجة)

1. البلازما هي حالة المادة المكونة من جسيمات مشحونة ومتعادلة، على أن المجموع الجبري لشحنات الكهربائية 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 من الحالة الصلبة (أشباه الموصلات)، أو الحالة السائلة (المحاليل الإلكتروليتية)، أو الحالة الغازية (الغاز الأيونوسفير).

- شروط الغاز المتأين ليكون في حالة بلازما هي:

1. $L \ll \lambda_D$ (2) - يجب أن يكون طول ديباي أقل بكثير من طول المنظومة.
2. $N_D \gg 1$ (2) يجب أن تحتوي كرة ديباي على عدد كبير جداً من الجسيمات المشحونة، وهذا ما يتطلبه السلوك الجماعي للبلازما.
3. $\omega\tau \gg 1$ (2) أي أن زمن التصادم τ يجب أن يكون أكبر من الزمن الذي تتأرجح البلازما في عادة لتعادل الكهربائي.

2- $$\lambda_D = \left(\frac{\varepsilon_0 k_B T}{e^2 n}\right)^{1/2} = \left(\frac{8.85\times10^{-12}\times1.38\times10^{-23}\times3\times10^{4}}{(1.6\times10^{-19})^2\times10^{19}}\right)^{1/2}$$ طول ديباي

$$= \left(\frac{36.422}{2.56}\times10^{-12-23+4-19+38}\right)^{1/2} = (14.23\times10^{-12})^{1/2}$$

$$= 3.77\times10^{-6}\ m$$ (2)

لحساب τ و f_{pe} نجد أولاً ω_{pe}:

$$\omega_{pe}=\left(\frac{e^2 n_e}{\varepsilon_0 m_e}\right)^{1/2}=\left(\frac{(1.6\times10^{-19})^2\times10^{19}}{8.85\times10^{-12}\times9.1\times10^{-31}}\right)^{1/2}=(0.032\times10^{24})^{1/2}=18\times10^{10}\ Hz \quad (2)$$

$$\Rightarrow \tau=\frac{2\pi}{\omega_{pe}}=\frac{2\pi}{18}\times10^{-10}=0.35\times10^{-10}\ sec \quad (2)$$

$$f_{pe}=\frac{\omega_{pe}}{2\pi}=\frac{18\times10^{10}}{2\pi}=2.86\times10^{10}\ Hz \quad (2)$$

$$N_D=\frac{4}{3}\pi\lambda^3 n_e=\frac{4}{3}\pi(3.77\times10^{-6})^3\times10^{19}=2245 \quad (2)$$

جواب السؤال الثاني (35 درجة)

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

وبالتالي فإن نصف قطر الإلكترون (نصف قطر لارمر) أصغر من نصف قطر لارمر للأيون، (2)
وأن تردد الإلكترون (عدد دوران) $\omega_c=\frac{qB}{m}$ أكبر من تردد الأيون، لأن كتلة (2)
الإلكترون أصغر من كتلة الأيون، وتعتبر سرعة الإلكترون والأيون متساوية (2)
$(v_\perp=\frac{qB}{m}r_L)$، لأن r_L للإلكترون صغيرة و m_e صغيرة، بينما r_L للأيون كبيرة
و m كبيرة ستعطي النتيجة لـ $v_\perp$ في اتجاه واحدة. (2)

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

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

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

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

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

$$+v_yB\vec{e}_x-v_xB\vec{e}_y]$$

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

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

$$\dot{v}_x=\frac{q}{m}(E_x+Bv_y)\ ,\ \dot{v}_y=\frac{q}{m}(E_y-Bv_x)\ ,\ \dot{v}_z=\frac{q}{m}E_z \quad (1)$$ (3)

نحل المعادلة الثالثة أي:

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

وهي حركة 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.

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

$$\ddot{v}_x=\frac{qB}{m}\dot{v}_y \quad (3)$$ (2)

بالتعويض عن $\dot{v}_y$ من المعادلة (1) في المعادلة (3) نحصل على:

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

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

وهي معادلة تفاضلية غير متجانسة حلها العام هو مجموع حلين:

الأول هو $v_{x_0}=\frac{E_y}{B}$ حيث v_{x_0} ثابت يتكامل، وبالتالي حلها العام

وبذلك يكون الحل العام لهذه المعادلة هو:

$$v_x=U\sin(\omega_ct-\varphi)+\left(\frac{E_y}{B}\right)$$ (2) (4)

وتمكن إيجاد v_y من المعادلة الأولى كما يلي:

$$\dot{v}_x = \frac{q}{m}(E_x + Bv_y) \Rightarrow v_y = \frac{m}{qB}\dot{v}_x - \frac{E_x}{B} \quad (2)$$

نوجب مشتق (3) ونعوض في عبارة v_y نحصل على:

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

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

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

فنستنتج أن سرعة الانجراف $\vec{v}_D$ لا تتعلق على كتلة الجسيم M، (2) ولا على نوع وشحنة الجسيم.

A to Z

جواب السؤال الثالث

$$m\frac{d}{dt}\left(\frac{\vec{E_1}\times\vec{B}}{B^2}\right)=q\vec{v_p}\times\vec{B}\Rightarrow\vec{v_p}\times\vec{B}=\frac{m}{qB^2dt}\frac{d}{dt}(\vec{E_1}\times\vec{B}\ldots)\ -1$$

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

$$\vec{B}\times(\vec{v_p}\times\vec{B})=\frac{m}{qB^2}\frac{d}{dt}\left[\vec{B}\times(\vec{E_1}\times\vec{B})\right]\quad(8)$$

باستخدام خواص الضرب المتجهي (قاعدة جيبس) نجد على:

$$\vec{v_p}\cdot(\vec{B}\cdot\vec{B})-\vec{B}(\vec{B}\cdot\vec{v_p})=\frac{m}{qB^2}\frac{d}{dt}\left[\vec{E_1}(\vec{B}\cdot\vec{B})-\vec{B}(\vec{B}\cdot\vec{E_1})\right]$$

($\vec{B}\cdot\vec{v_p}=0$, $\vec{B}\cdot\vec{E_1}=0$)

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

ب- يكون اتجاه $\vec{v_p}$ للجسيمات الموجبة يعاكس اتجاه الجسيمات السالبة، الأمر الذي يؤدي إلى انحراف الالكترونات في جهة والأيونات الموجبة بجهة معاكسة مما يؤدي إلى استقطاب البلازما. (3)

عندما يكون $\vec{E}$ ثابت ينتج أن $\vec{v_p}=0$ وبالتالي لا استقطاب البلازما. (3)

يؤثر الاستقطاب في البلازما إلى التغير الزمني للحقل الكهربائي. (2) فلا ينتج عن تطبيق حقل كهربائي ثابت حقل استقطاب كهربائي ثابت. حيث يمكن للأيونات والإلكترونات التحرك للحفاظ على شحنة الجهاز.

2- أ- يحدث التجاوب بين اهتزاز الحقل الكهربائي ω والتردد السيكلوتروني Ω_c عندما $\omega\to\Omega_c$ (3) ويتحقق التجاوب من أجل الإلكترون في المركبة المستقطبة يمينياً حيث

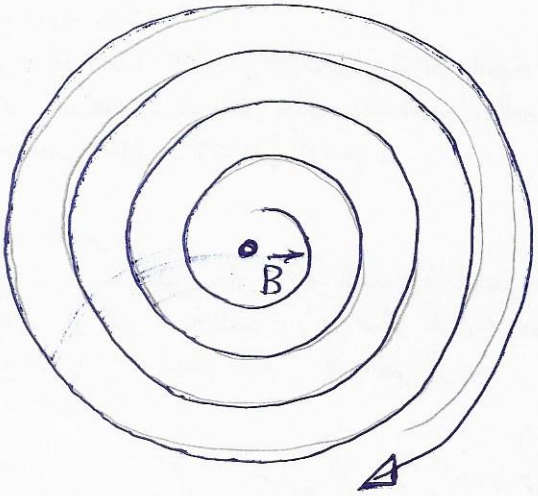
$$\omega\to\Omega_c=-\frac{qB}{m}\Rightarrow\vec{v_R}\to\infty\quad(2)$$

ويحدث التجاوب بالنسبة للأيون الموجب من أجل مركبة السرعة المتعامدة يساريا للحقل الكهربائي (3)

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

ب- تزداد سرعة الجسيم مع ازدياد الزمن t إلى أجل غير مسمى (3) ويجعل الجسيم يسير على شكل دوائر لها أنصاف أقطار متزايدة باستمرار مع تزايد الزمن وبالتالي مع زيادة سرعته بشكل مستمر خلال هذه الحركة الحلزونية وذلك على حساب طاقة الحقل الكهربائي.

يمكن الاستفادة من هذه الظاهرة كطريقة لزيادة سرعة الجسيمات وبالتالي زيادة درجة الحرارة الحركية للبلازما من خلال زيادة تصادم الجسيمات (3)، تعرف هذه الطريقة باسم تسخين التردد اللاسلكي (الراديوي) للبلازما بواسطة التجاوب (الرنين السيكلوترون).



A to Z

جامعة طرطوس – كلية العلوم- قسم الفيزياء مقرر البلازما- الاسم:

السنة الرابعة –2021-2022- الدرجة :90- المدة : ساعتان

السؤال الأول : 20درجة

عرف مايلي

1- زمن الاسترخاء
2- المسابر البلازمية
3- حيزكروك المظلم
4- منطقة الهبوط المصعدي
5- حيزفاراداي
6- حيزاستون

السؤال الثاني15درجة:

افترض ساها أن عملية التأين عملية عكوسة استنتج درجة تأين الغازعند ضغط معين بدلالة درجة الحرارة مع بالرسم.

السؤال الثالث(اختياري)20درجة:

1- ابحث بايجازدراسة حركة جسيم مشحون في حقل مغناطيسي متجانس بوجود قوى ثابته.
2- ابحث بايجازفي سرعة انجراف الجسيمات المشحونة(المنفصلة) في بلازما و اقعة تحت تأثيرحقل مغناطيسي غيرمنتظم والناتجة عن التدرج

السؤال الرابع:15درجة

ابحث بايجازفي 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 ديباي λ_D

السؤال الخامس:20درجة

1- يعطى تنسور الناقلية لوسط بلازمي 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 الطولانية للناقلية الكهربائية

والمطلوب : ايجاد تنسور العازلية الكهربائية ذات الصلة.

2- تعطى عبارة التبدد المو افقةلانتشارموجة 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 الطوروسرعة الموجة لهذة المجموعة ثم استنتج سرعة الالكترونات في البلازما.

طرطوس 2022/7/20 مع التمنيات بالنجاح والتوفيق مدرس المقرر: د. فراس فهد صالح

A to Z

سلم تصحيح مقرر البلازما سنة رابعة فيزياء 2021 - 2022

إجابة السؤال الأول:

- زمن الاسترخاء: يعرف بأنه الزمن الذي تحتاجه البلازما للعودة إلى حالة التعادل وذلك إذا حدث أي تغير أو اضطراب في حالة التعادل هذه ويفرض إمكانية إحداث اضطراب من هذا النوع عن طريق ادخال شحنة موجبة إلى البلازما فإن أحد كهرب البلازما سوف لا يتعدى طول ديباي λ_D عند موضع هذه الشحنة

- المسابر البلازمية: هي عبارة عن أدوات تستخدم على نطاق واسع لقياس درجة حرارة وكثافة جسيمات الوسط البلازمي في المختبرات

- حيز كروك المظلم: عبارة عن المنطقة التي يحصل من خلالها هبوط في الجهد مما يؤدي إلى عدم مقدرة الإلكترونات الحاملة للتيار في العمود الموجب على الوصول إلى المهبط من جهة وعدم قدرة الأيونات ذات الكتلة الكبيرة من حمل التيار الكلي من جهة أخرى ولذلك يجري الحفاظ على التفريغ بوساطة الإلكترونات الثانوية المسرعة نتيجة تطبيق حقول كهربائية كبيرة تمتاز بكثافة وتدفق الإلكترونات سيما اعتباراً من المهبط

4- منطقة الهبوط الصعدي: هي منطقة تكون فيها سرعة انجراف الإلكترونات في الحقل الكهربائي الضعيف للعمود الموجب أقل من سرعتها الحرارية وتتم إعاقة هذا الحقل بالقرب من المصعد بطبقة رقيقة تمنع وصول التيار الحراري للإلكترونات من الوصول للمصعد بالتصادم حيث يؤدي التراكيز الأسي لكثافة الإلكترونات ذات السعات المرتفعة قرب المهبط إلى سطوع حيز لا أساس له بالقرب من المهبط يدعى بالتوهج السالب.

5- حيز فاراداي: هو حيز يكون فيه للإلكترونات طاقة كافية لإثارة الذرات المعتدلة بالتصادم

6- حيز استون: هو عبارة عن طبقة رقيقة تقع إلى يمين المهبط ويكون الحقل الكهربائي فيها كبير جداً مما يؤدي إلى تسريع الإلكترونات انطلاقاً من المهبط كما وتحتوي هذه المنطقة على شحنات فراغية سالبة مما يؤدي إلى ابعاد الإلكترونات الأولية والثانوية عند المهبط وبالتالي زيادة عدد الأيونات الموجبة في هذه المنطقة على حساب الإلكترونات فينخفض معدل إثارة الذرات المعتدلة فتبدو هذه المنطقة على أثره مظلمة

الجواب السؤال الثاني

افترض لحسابنا عند حساب درجة التأين أن عملية التأين عملية عكوسة (1)
أي في الوقت الذي يتم فيه تشكل أيونات والكترونات جديدة داخل الغاز
فإن هناك أيونات أخرى تقوم بالاتحاد مع الالكترونات لتكوين ذرات متعادلة

$$A + w \rightleftharpoons A^+ + e^- \quad (1)$$

A ذرة متعادلة ، w الطاقة (1) المعطاة و A^+ أيون موجب و e^- الكترون

مع احتمال حالات الاثارة للذرات مع اعتبار الحالات الموجودة حالة الذرة المتعادلة
وحالة الايون وبالتالي ثابتة التفاعل

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

حيث P_e و P_i و P_0
هي الضغوط الجزيئية للالكترونات والايونات والذرات المتعادلة
ومن قوانين التحريك نجد

$$K(T) = \frac{P_e P_i}{P_0} = cte\, T^{\frac{5}{2}} \exp\left(-\frac{\varepsilon_i}{KT}\right) \quad (3)$$

بفرض أن مكونات الغاز تسلك سلوك غاز مثالي وبالتالي يمكن استبدال
الضغوط الجزيئية بكثافة الجسيمات

$$\log_{10} \frac{n_e n_i}{n_0} = -5040 \frac{\varepsilon_i}{T} + \frac{5}{2} \log_{10} T + 15{,}4 \quad (*)$$

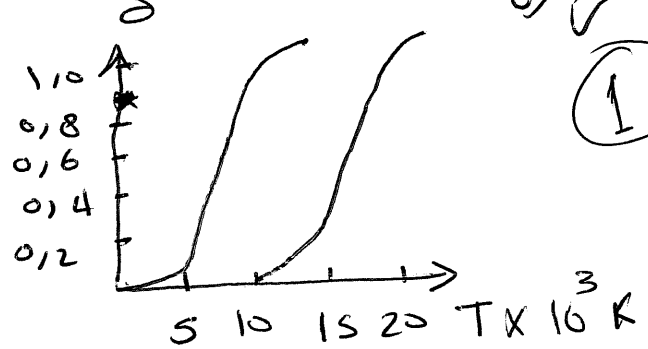
وبالتالي درجة التأين

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

وعليه

$$\log_{10} \frac{S_i^2}{1 - S^2} P = -5040 \frac{\varepsilon_i}{T} + \frac{5}{2} \log_{10} T - 6{,}5 \quad (**)$$

تمثل المعادلتين * و ** صيغ لمعادلة ساها والتي تعطي درجة التأين للغاز
عند ضغط معين بدلالة درجة الحرارة



(1)

دراسة حركة جسيم مشحون في حقل مغناطيسي منتظم بوجود قوى ثابتة:

إذا أثرت على الجسيم المشحون بالإضافة إلى قوة لورنتز قوى ثابتة فإن معادلة الحركة

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

نحلل كل من $\vec{a}$ و $\vec{F}$ إلى مركبتين ($\parallel$ و $\perp$) على $\vec{B}$ وبالتالي

$$\left.\begin{aligned} m a_{\parallel} &= F_{\parallel} \\ m a_{\perp} &= \frac{q}{c}(\vec{v}_{\perp} \wedge \vec{B}) + \vec{F}_{\perp} \end{aligned}\right| (2) \quad (3)$$

بما أن المركبتين الطولانية والعرضانية تجريان وفق منحيين مختلفين لذلك ندرس كل منهما على حدة

(1) بما أن المركبة الطولانية $F_{\parallel} \neq 0$ إذن يوجد تسارع طولاني لا يسمح بالصفر تقود إلى تغير المركبة الطولانية لسرعة الجسيم.

(2) المركبة العرضانية: (انحراف بطيء + حركة دورانية حول خطوط $\vec{B}$)

$$\vec{v}_{\perp} = \vec{v}_d + \vec{v}_R \Rightarrow m\vec{a}_{\perp} = m(\vec{a}_d + \vec{a}_R)$$

$$m\vec{a}_{\perp} = \left[(\vec{v}_d \wedge \vec{B}) + (\vec{v}_R \wedge \vec{B})\right] + \vec{F}_{\perp} \quad \star$$

(1) (2) (3)

نلاحظ من المعادلة $\star$ أن الحدين (1) و (3) ثابتان وهكذا نجد

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

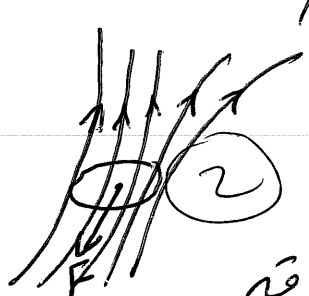
$$\vec{v}_d = \frac{c}{q}\left(\frac{\vec{F}_{\perp} \wedge \vec{B}}{B^2}\right) \overset{(2)}{=} \frac{c}{q}\left(\frac{\vec{F} \wedge \vec{B}}{B^2}\right) \quad (4)$$

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

وهكذا تمثل الحركة الدورانية لجسيم مشحون يتحرك بالاتجاه العمودي على خطوط قوة الحقل

لاثبات الناتج عند التدريج : يكافئ الجسيم المشحون الذي يتحرك بإحداثيات لاحور تناسبي قطب مغناطيسي عزمه يساوي (2)

$$\vec{M} = -M\frac{\vec{B}}{B}$$



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

فيخضع الجسيم المشحون لتأثير قوة تحاول تحريكه باتجاه تناقص قيم الحقل المغناطيسي تساوي (2)

(2) $$F_\perp = -M\vec{\nabla}_\perp B$$

وبالتالي ان الجسيم يتحرك بسرعة ناتجة عند التدريج تساوي إلى

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

نعوض (2) في (3) نجد (2)

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

نعوض فنجد M ونجري التبديل في الضرب الاتجاهي فنجد

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

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

(2)

Ato7

في منطقة سطح البلازما مقاومة كهربائية في البدء بسبب تساوي عدد الالكترونات والايونات فيها بعد مرور فترة من الزمن تختل هذا التوازن وذلك لأن عدد الالكترونات الايونات التي تصل إلى هذا السطح خلال والمدة الزمن سيكون أقل من عدد الالكترونات نتيجة الفرق في الكتلة بينهما وبالتالي جدار البلازما سيكتسب شحنة سالبة بالنسبة لباقي مناطق البلازما هذا التأثير لا يمكن أن يستمر حتى لا يعود إلى وضع مستقر جدا تضبع فيه المنطقة الخارجية للبلازما سالبة الشحنة في حين تبقى بقية مناطق البلازما الداخلية موجبة الشحنة وبالتالي يجب التأثير بطل وعاكس أخر يقوم بمعادلة التأثير الأول بطريقة ما أن وجود هذا التجمع للشحنات السالبة عند حافة درع البلازما سيؤدي إلى نشوء فرق جهد كهربائي بين منطقة الحافة وداخل البلازما ونفرض ان عدد الالكترونات الحر يكثير من عدد الايونات الموجبة وبالتالي

$$\nabla^2 V = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \Rightarrow \frac{d^2V}{dx^2} = \frac{n_e e}{\varepsilon_0} \quad (2)$$

لحافة جدار البلازما L

$$\frac{dV}{dx} = \frac{n_e e}{\varepsilon_0} x + c_1 \quad (1)$$

وبالتالي توقف الجهد عند L وبذلك يكون $\frac{dV}{dx} = 0$ أي عندما $x = L$ على اعتبار $x = L$ هي حافة البلازما الخارجية وبذلك يكون ثابت التكامل c_1 مساويا للصفر و $V = 0$ عند $x = 0$ فنجد

$$V = \frac{1}{2}\frac{n_e e}{\varepsilon_0} x^2 \Rightarrow \Delta V = \frac{n_e e}{2\varepsilon_0} L^2$$

والعامل الحقيقي ليس الاعتبار عن الطاقة الحرارية للالكترونات وبالتالي

$$\frac{1}{2} K_B T_e = \frac{1}{2} \frac{n_e e L^2}{\varepsilon_0} e \Rightarrow L = \sqrt{\frac{K_B T_e \varepsilon_0}{n_e e^2}}$$

وهو طول ديباي λ_D

جواب السؤال الخامس:

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = -i\omega\mu_0 \hat{\varepsilon}\,\vec{E} \quad (2)$$

$$\hat{\varepsilon} = \varepsilon_0\left(\hat{I} + i\,\frac{\hat{\sigma}}{\varepsilon_0\omega}\right) \quad (2)$$

$\hat{\varepsilon}$ تنسور العازلية

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

نعوض كل من $\hat{I}$ و $\hat{\sigma}$ فنجد

$$\hat{\varepsilon} = \varepsilon_0\left[\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \frac{1}{\varepsilon_0\omega}\begin{bmatrix} \sigma_I & -\sigma_H & 0 \\ \sigma_H & \sigma_I & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{11} \end{bmatrix}\right] \quad (2)$$

$$\varepsilon_0\begin{bmatrix} 1+\frac{i}{\varepsilon_0\omega}\sigma_I & -\frac{i}{\varepsilon_0\omega}\sigma_H & 0 \\ \frac{i}{\varepsilon_0\omega}\sigma_H & 1+\frac{i}{\varepsilon_0\omega}\sigma_I & 0 \\ 0 & 0 & \frac{i}{\varepsilon_0\omega}\sigma_{11} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\hat{\varepsilon} = \varepsilon_0\begin{bmatrix} \varepsilon_1 & -\varepsilon_2 & 0 \\ \varepsilon_2 & \varepsilon_1 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

A to Z

لطلب السؤال الخامس:

$$v_{ph}^2 = \frac{w^2}{K^2} = \frac{w_{pe}^2}{K^2} + \frac{3K_B T_e}{m_e} \quad (1)$$

$$v_{ph} = \frac{w}{K} = \sqrt{\frac{w_{pe}^2}{K^2} + 3\frac{K_B T_e}{m_e}} \quad (2)$$

طيكن الحصول على سرعة المجموعة بمفاضلة عبارة التيدر بالنسبة لـ K

$$2w\,dw = 2\left(\frac{3K_B T_e}{m_e}\right) K\,dK \quad (1)$$

$$\frac{w}{K}\frac{dw}{dK} = 3\frac{K_B T_e}{m_e} \quad (2)$$

$$v_g = \frac{3K_B T_e / m_e}{\sqrt{\frac{w_{pe}^2}{K^2} + 3\frac{K_B T_e}{m_e}}} \quad (2)$$

تتحرك الالكترونات بسرعة $v_e = \sqrt{3\frac{K_B T_e}{m_e}}$ (2) وهو المطلوب

مكتبة

مكتبة A TO Z

فرع 1
تجمع الكليات(كلية العلوم)

فرع 2
الكورنيش الشرقي جانب MTN

طباعة محاضرات ـ قرطاسية

Mob:0931 497 960