جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي — الإسم واللقب:.....الفوج:....
كلية العلوم الدقيقة — التاريخ: 2021/06/06 المدة: 1 ساعة
سنة ثالثة فيزياء — تصحيح إمتحان الدورة العادية — المقياس: فيزياء البلازما

أسئلة الفهم

1) عرفنا في الدرس البلازما على أنها عبارة عن غاز مؤين يتكون من إلكترونات وأيونات بالاضافة إلى الذرات المتعادلة، بحيث يتسم هذا الغاز بصفتي التعادل الكهربائي والسلوك الجماعي. ما المقصود بصفتي التعادل الكهربائي والسلوك الجماعي؟. (3 نقطة)

◃ يقصد بالتعادل الكهربائي أن عدد الشحنات السالبة والموجبة يكون متساوي على المستوى الماكروسكوبي أي $\sum_{s=e,i} q_s n_s \simeq 0$.

◃ يقصد بالسلوك الجماعي أن كل جسيم مشحون يتفاعل في نفس الوقت مع عدد كبير من الجسيمات المشحونة وذلك عن طريق تفاعلات كولوم طويلة المدى.

2) هل يمكن القول عن كل غاز مؤين أنه بلازما؟ (3 نقطة)

◃ لا يمكن القول عن كل غاز مؤين أنه بلازما إلا إذا تحققت فيه الشروط التالية:

1. يجب أن تكون الأبعاد الفيزيائية لنظام البلازما L أكبر بكثير من λ_D.
2. يجب أن يكون عدد الإلكترونات داخل كرة N_D ديباي كبيرا جدا.
3. يجب أن يكون وسيط البلازما $g = 1/(n_e \lambda_D^3)$ أقل بكثير من الواحد .

3) فسر لماذا تكون بلازما التفريغ الكهربائي عند ضغط منخفض (مثل مصابيح النيون) غير متوازنة حراريا أي $T_e \gg T_i$. (2 نقطة)

◃ في بلازما التفريغ الكهربائي تكون الإلكترونات أسرع من الأيونات وذلك بسبب فارق الكتلة ولأن الضغط منخفض فهذا يعني أن الكثافة منخفضة (متوسط المسافة بين جسمين يكون كبير) وبالتالي تكون التصادمات بين الجسيمات قليلة، والتي تؤدي إلى التوازن الحراري من خلال تبادل الطاقة، فينتج عن هذا فارق كبير بين درجة حرارة الإلكترونات و درجة حرارة الأيونات .

4) ما هو المعنى الفيزيائي لكل من وسيط الترابط، طول ديباي؟. (3 نقطة)

◃ يمثل وسيط الترابط النسبة بين متوسط شدة الطاقة الكامنة ومتوسط شدة الطاقة الحركية $\Gamma = \langle E_p \rangle / \langle E_c \rangle$ ومن خلال هذا الوسيط يمكن أن نحدد ما إذا كانت البلازما شديدة الترابط لما $\Gamma > 1$ أو ضعيفة الترابط لما $\Gamma < 1$.

◁ طول ديباي $\lambda_D = \sqrt{\epsilon_0 k_B T / n_e e^2}$ هو مقياس للمسافة التي يحجب عندها تأثير الحقل الكهروستاتيكي لجسيم مشحون عن باقي الشحنات الأخرى.

5) متى يمكن إعتبار البلازما كمائع؟ وما الفرق بين الوصف الحركي والوصف المائعي للبلازما؟ (4 نقطة)

◁ يمكن إعتبار البلازما كمائع إذا كان متوسط المسير الحر l_s أقل بكثير من الطول الموجي المرافق للجسيمات λ ، وتردد التصادم ν_s أكبر بكثير من تردد البلازما ω_p.

◁ توصف البلازما في الوصف المائعي من خلال الكميات العيانية مثل الكثافة العددية $n_s(\vec{r},t)$ وسرعة المائع $\vec{u}_s(\vec{r},t)$ وتطور هذه الكميات يعطى من خلال معادلة الإستمرار ومعادلة الحركة، أما في الوصف الحركي فتحدد البلازما من خلال دالة التوزيع للجسيم $f_s(\vec{r},\vec{v},t)$ وتطور هذه الدالة يعطى من خلال معادلة بولتزمان.

تمرين تطبيقي

نعتبر بلازما الأرغون Ar^{+17} عند درجة حرارة $T = 4.1 \times 10^5 \mathrm{K}$ ، إذا علمت أن نسبة التأين تعطى بعلاقة ساها التالية:

$$\frac{n_e}{n_i} \approx 2.4 \times 10^{21} \frac{T^{3/2}}{n_e} \exp(- \mid \epsilon_i \mid / k_B T)$$

حيث قيمة الكثافة الأيونية وطاقة التأين هما على التوالي $n_i = 10^{29}\,\mathrm{m}^{-3}$ و $\mid \epsilon_i \mid = 15.76\,\mathrm{eV}$.

1. أوجد قيمة الكثافة الإلكترونية n_e. (1.5 نقطة)

◁

$$\begin{aligned} n_e &\approx \sqrt{2.4 \times 10^{21} T^{3/2} n_i \exp(- \mid \epsilon_i \mid / k_B T)} \\ &= \sqrt{2.4 \times 10^{21} (4.1 \times 10^5)^{3/2} 10^{29} \exp(-15.76/(8.617 \times 4.1))} \\ &\simeq 2 \times 10^{29}\,\mathrm{m}^{-3} \end{aligned}$$

2. أحسب درجة التأين α_{ion} ، ما هو نوع تأين البلازما؟ . (2 نقطة)

◁

$$\alpha_{ion} = \frac{n_e}{n_e + n_i} = \frac{2 \times 10^{29}}{2 \times 10^{29} + 10^{29}} = \frac{2}{3} \simeq 0.67$$

بما أن $\alpha_{ion} < 1$ فإن هذه البلازما مؤينة جزئيا.

3. أحسب تردد البلازما ω_p . (1.5 نقطة)

◁

$$\omega_p = \sqrt{\frac{n_e e^2}{m_e \varepsilon_0}} = \sqrt{\frac{2 \times 10^{29} \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{9.11 \times 10^{-31} \times 8.85 \times 10^{-12}}} = 2.52 \times 10^{16}\,\mathrm{rad/sec}$$

يعطى: $k_B \simeq 8.617 \times 10^{-5}\,\mathrm{eV/K}$ و $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\,\mathrm{C^2/N.m^2}$ و $m_e = 9.11 \times 10^{-31}\,\mathrm{Kg}$ و $e = 1.6 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$.