

# PC1 Physique des plasmas - généralités

27/11/2014

## Exercice 1

Sur un graphe log-log  $(n, T)$ , tracer les courbes  $\lambda_D = \text{cte}$  et  $N_D = \text{cte}$ , puis y placer les points correspondants aux plasmas suivants :

1. Plasma laser :  $n = 10^{26} \text{ m}^{-3}$ ,  $T = 10^5 \text{ K}$
2. Plasma de fusion magnétique :  $n = 10^{20} \text{ m}^{-3}$ ,  $T = 10^7 \text{ K}$
3. Cœur solaire :  $n = 10^{32} \text{ m}^{-3}$ ,  $T = 10^7 \text{ K}$
4. Couronne solaire :  $n = 10^{17} \text{ m}^{-3}$ ,  $T = 10^6 \text{ K}$
5. Vent solaire :  $n = 10^7 \text{ m}^{-3}$ ,  $T = 10^5 \text{ K}$
6. Ionosphère couche D (70km) :  $n = 10^9 \text{ m}^{-3}$ ,  $T = 100 \text{ K}$
7. Ionosphère couche F (250km) :  $n = 10^{12} \text{ m}^{-3}$ ,  $T = 100 \text{ K}$
8. Flamme :  $n = 10^{14} \text{ m}^{-3}$ ,  $T = 1000 \text{ K}$
9. Décharge luminescente :  $n = 10^{16} \text{ m}^{-3}$ ,  $T = 10^4 \text{ K}$
10. Foudre :  $n = 10^{24} \text{ m}^{-3}$ ,  $T = 10^4 \text{ K}$
11. Électrons d'un métal :  $n = 10^{29} \text{ m}^{-3}$ ,  $T = 300 \text{ K}$
12. Naine blanche :  $n = 10^{36} \text{ m}^{-3}$ ,  $T = 10^7 \text{ K}$
13. Plasma interstellaire :  $n = 10^6 \text{ m}^{-3}$ ,  $T = 10^3 \text{ K}$

## Exercice 2

On se propose de calculer le potentiel d'un ion de charge  $Ze$  dans un plasma idéal. On suppose ce plasma constitué d'un mélange de deux gaz parfaits d'ions et d'électrons. À l'équilibre thermodynamique, la densité  $n_j$  de particules d'une espèce donnée en présence d'un champ électrostatique de potentiel  $\phi$  suit localement une distribution de Boltzmann :

$$n_j = n_j^0 \exp\left(-\frac{q_j \phi}{k_B T}\right) \quad (0.1)$$

- (a) Écrivez l'équation de Poisson en considérant le noyau comme une source ponctuelle placée en  $r = 0$
- (b) On se place dans le cadre de l'approximation de faible couplage  $e\phi \ll k_B T$ . Linéarisez l'équation précédemment trouvée
- (c) Résoudre l'équation pour  $r \neq 0$ , puis imposez la continuité du potentiel en  $r = 0$  et  $r \rightarrow \infty$

## Exercice 3

On considère 2 plaques parallèles infinies situées dans les plans  $x = \pm d$  au potentiel électrique nul. L'espace entre les plaques est rempli d'un gaz de particules de charge  $q$  à la densité  $n$ .

Calculez la distribution de potentiel entre les plaques, et déduisez-en l'énergie nécessaire au déplacement d'une particule depuis une plaque vers le plan médian. Dans le cas où  $d > \lambda_D$ , comparez à l'énergie cinétique moyenne d'une particule.

## Exercice 4

Soit un plasma froid homogène infini dans lequel on introduit un défaut de quasi-neutralité selon la direction  $x$  : on retire tous les électrons dans une tranche d'épaisseur  $L$  définie par  $|x| \leq L/2$ . On a donc dans cette tranche  $n_e = 0$  et  $n_i = n_i^{(0)}$ . En dehors,  $n_e = n_e^{(0)}$  et  $n_i = n_i^{(0)}$ .

- (a) Calculez la différence de potentiel entre les plans  $x = 0$  et  $x = L/2$ .
- (b) Décrivez le mouvement d'un électron se trouvant initialement immobile au bord de la tranche
- (c) On se place dans le cadre d'une modélisation fluide des électrons et des ions (pas de comportement individuel). On négligera les collisions (pas de viscosité) et l'agitation thermique (pas de terme de pression). Effectuez le calcul complet de la fréquence plasma dans le cadre d'une petite perturbation de densité en utilisant l'équation de Poisson ainsi que les équations du mouvement et de continuité pour les différentes espèces. On posera  $\mathbf{E} = \mathbf{E}^{(1)}$  et pour chaque espèce,  $\mathbf{v}_j = \mathbf{v}_j^{(1)}$  et  $n_j = n_j^{(0)} + n_j^{(1)}$ .
- (d) On considère maintenant les ions immobiles ( $\omega_{pi} \simeq 0$ ) et on s'intéresse à l'existence d'ondes électromagnétiques transverses dans le plasma. En utilisant les équations de Maxwell et une modélisation en ondes planes, trouvez la relation de dispersion  $\omega = f(k)$  des ondes électromagnétiques dans ce plasma.
- (e) Calculez la fréquence plasma des couches D et F de l'ionosphère (*cf* ex.1), et comparez à la fréquence des ondes FM (env. 100 MHz) et des ondes courtes (entre 3 et 30MHz)