

PC5 Physique des plasmas

March 9, 2016

1 Exercice 1

Une onde électromagnétique de fréquence ω se propage vers un volume d'hélium avec une densité atomique de $n_n = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ à l'équilibre à $T = 0.8 \text{ eV}$.

- (a) la loi de Saha-Langmuir¹ peut être utilisée pour déterminer le degré d'ionisation en cas de faible ionisation:

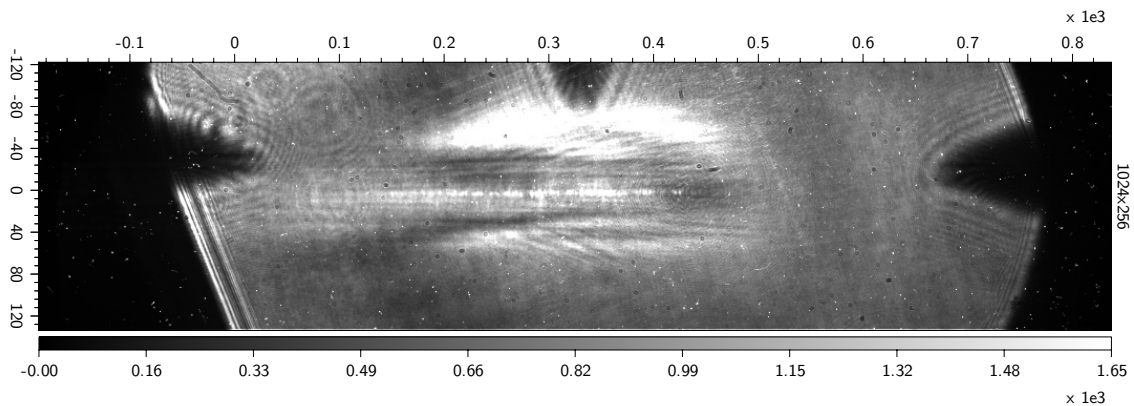
$$\frac{n_{i+1}n_e}{n_i} = 2 \left(\frac{2\pi m_e}{h^2} k_B T \right)^{3/2} \exp \left[-\frac{\epsilon_{i+1} - \epsilon_i}{k_B T} \right] \quad (1.1)$$

ou $(\epsilon_{i+1} - \epsilon_i)$ est l'énergie demandée pour enlever l' $i^{\text{ème}}$ électron. Calculez les densités $n_1 = n_{He+}$ et $n_2 = n_{He++}$ (première ionisation: 24.59 eV, deuxième ionisation: 54.42 eV);

- (b) calculez la densité électronique ainsi que paramètre d'ionisation et longueur de Debye. Combien d'électrons dans la sphère de Debye? Est-ce un plasma? Discutez.
- (c) on souhaite comparer la fréquence de collision électron-électron et la fréquence de collision ion-ion avec la fréquence de collision atome-atome (libre chemin moyen dans un gaz parfait à pression p : $l = k_B T / \sqrt{2} \pi d^2 p$; rayon de l'atome d'hélium: 140 pm; section efficace de collision $\pi d^2 = \pi (2r)^2$). À quelle température les deux fréquences sont égales? (négliger ici le deuxième degré d'ionisation)

2 Exercice 2

Une impulsion laser courte, $\lambda = 800 \text{ nm}$ se propage dans un gaz d'hélium à densité atomique $n_A = 3.4 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$. Suite à l'extrême intensité, le gaz est complètement ionisé dans un cylindre de rayon $r_{He++} = 50 \mu\text{m}$ autour de l'axe de propagation du laser; dans une couronne cylindrique de rayon $r_{He+} = 150 \mu\text{m}$ l'hélium est ionisé seulement une fois. Un deuxième laser avec une longueur d'onde $\lambda = 400 \text{ nm}$ est utilisé pour sonder le plasma, et se propage en direction normale.



¹ici, pour simplicité, on négligera la dégénérescence des états, et on supposera que l'état fondamentale est le seul niveau stable de l'atome d'hélium.

- (a) obtenez l'expression de la densité critique n_c à partir de la loi de dispersion pour une onde électromagnétique et exprimez les densités des plasmas en terme de n_c ;
- (b) à partir de quelle longueur d'onde le plasma est transparent?
- (c) dans le volume He++, une fraction d'électrons $\eta_{hot} = 0.1$ a été chauffé à une température de ~ 10 keV, alors que dans un filament de $r = 5 \mu\text{m}$ la température dépasse le MeV. Est-ce que l'approximation de plasma froid est toujours valable? Discutez;
- (d) Calculez les fréquences de collisions. Que peut on dire sur le temps nécessaire à la thermalisation des électrons? Et celle des ions?

3 Exercice 3

- (a) Rappelez la définition de "logarithme Coulombien", Λ ;
- (b) rappelez la définition de "paramètre plasma", N_D .

Quelle est la relation entre ces deux grandeurs?

4 Exercice 4

Lors de sa descente vers la Terre, autour d'une capsule spatial un plasma se forme, par conséquence à la friction avec l'atmosphère: les communications radio sont alors interrompues. En sachant que la fréquence porteuse de la communication est de $f = 300$ MHz, calculez la densité du plasma au moment de la coupure.