

Groupe étoilé

Maths SPÉ



Physique Stage de Noël

EXERCICES

Stages THALES (Noël 2016 ; groupe *)

Professeur référent : O Granier (PC, lycée J.Decour, Paris)*

Lundi :

1) *A propos des diodes : (Mines)*

À PROPOS DES DIODES

Les données numériques se trouvent en fin d'énoncé. Les vecteurs sont surmontés d'un chapeau s'ils sont unitaires (\hat{u}_x), ou d'une flèche dans le cas général (\vec{v}). Pour les applications numériques on fournira 3 chiffres significatifs.

Aucune connaissance préalable sur les diodes n'est nécessaire pour traiter ce sujet. Le symbole électrique d'une diode est donné sur la figure 1. Idéalement, la diode est un composant électronique ayant la propriété de ne laisser passer le courant que dans un sens.

- ◊ Si $V \leq 0$, l'intensité i est nulle et la diode est dite bloquée.
- ◊ Si la tension V tend à devenir positive, la diode se débloque et se comporte comme un fil (ce qui annule aussitôt V). L'intensité i est alors positive et la diode est dite passante.

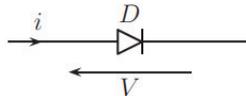


FIGURE 1 – Schéma électrique d'une diode.

I. — Diode à vide

Les diodes à vide ont été les premières diodes réalisées au début du XX^e siècle. Elles commandent un flux d'électrons, à l'origine du mot « électronique ».

Une diode à vide est formée de deux électrodes planes parallèles, la cathode C et l'anode A , de surface S et séparées d'une distance d . La cathode est maintenue à un potentiel nul ($V_C = 0$) mais elle est chauffée par un dispositif non représenté sur la figure 2. Par effet thermoélectronique, celle-ci libère des électrons ayant une vitesse faible (considérée comme nulle dans la suite). Ces électrons sont dirigés vers l'anode qui est portée au potentiel $V_A > 0$. On admet que les lignes de courant ainsi créées sont perpendiculaires aux deux plaques. La zone située entre les électrodes contient donc des électrons qui ont été émis sans vitesse initiale par la cathode.

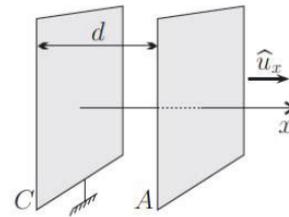


FIGURE 2 – Diode à vide

On néglige tout effet de bord et on ne s'intéresse qu'à l'espace inter-électrodes dans lequel on considère que la charge volumique ρ , le potentiel V , la vitesse des électrons v et l'intensité électrique I traversant une surface parallèle aux électrodes ne sont des fonctions que de la seule variable x indiquant la distance à la cathode. L'ensemble est sous vide dans une ampoule de verre non représentée sur la figure 2.

□ 1 — Ecrire l'équation liant le potentiel $V(x)$ et la densité de charge $\rho(x)$ dans l'espace inter-électrodes.

□ 2 — Par des arguments numériques, montrer que le poids des électrons peut en général être négligé devant la force électrostatique.

Dans la suite, le poids des électrons sera négligé devant la force électrostatique. Les chocs entre électrons seront également négligés.

□ 3 — Rappeler, en la justifiant, l'expression de l'énergie potentielle électrostatique d'une charge ponctuelle q située dans une zone de potentiel électrostatique V .

□ 4 — Par un raisonnement énergétique, établir l'expression de la vitesse $\vec{v}(x)$ des électrons dans la zone inter-électrodes. On donnera le résultat en fonction du potentiel $V(x)$ et des caractéristiques de l'électron.

□ 5 — Déterminer l'expression de l'intensité électrique $I(x)$ traversant une surface d'aire S située à une distance $x < d$ de la cathode et parallèle à celle-ci. On exprimera le résultat en fonction de la densité de charge $\rho(x)$, de la norme de la vitesse des électrons $v(x)$ et de S .

□ 6 — L'intensité I dépend-elle de x ? On justifiera sa réponse.

□ 7 — En utilisant les résultats précédents, déterminer l'équation différentielle du second ordre vérifiée par le potentiel V dans la zone inter-électrodes. On fera apparaître le paramètre positif

$$a = \frac{I}{S\epsilon_0} \sqrt{\frac{m}{2e}}$$

□ 8 — Intégrer cette équation différentielle pour trouver l'expression de $V(x)$. On pourra dans un premier temps multiplier l'équation par $\frac{dV}{dx}$ pour la ramener, après intégration, à une équation différentielle du premier ordre à variables séparables. On supposera que le potentiel et le champ électrique sont nuls en $x = 0$.

□ 9 — En déduire la relation entre l'intensité I et le potentiel V_A de l'anode. Cette relation est connue sous le nom de loi de Child-Langmuir à une dimension.

□ 10 — Cette relation est-elle valable quel que soit le signe de V_A ? Expliquer physiquement ce qui se passe lorsque cette relation n'est pas valable. Que vaut I dans ce cas?

□ 11 — Tracer l'allure de la caractéristique $I = f(V_A)$ de la diode (pour V_A variant sur un intervalle centré sur 0). Une diode à vide a pour caractéristiques $d = 3,00$ mm et $S = 3,00$ cm². Indiquer l'ordonnée du point d'abscisse $V_A = 10,0$ volts sur le graphe. Peut-on dire qu'un dispositif de ces dimensions a le comportement souhaité pour une diode?

□ 12 — Dans cette partie, les interactions entre électrons ont-elles été :

◇ omises, alors qu'il faudrait les prendre en compte?

◇ prises en compte, mais de manière partielle?

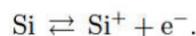
◇ prises en compte de manière exacte?

Indiquer, en la justifiant, la réponse correcte.

II. — Diode à jonction PN

Les diodes actuelles sont construites en matériaux semi-conducteurs.

Le silicium pur est un semi-conducteur intrinsèque. Il s'y produit des ionisations thermiques (à température ambiante par exemple) :



Un ion Si^+ est appelé « trou » positif. On dit que l'ionisation crée une paire électron-trou. Le silicium étant neutre, il y a autant de porteurs de charge N (électrons négatifs) que de porteurs de charge P (trous positifs).