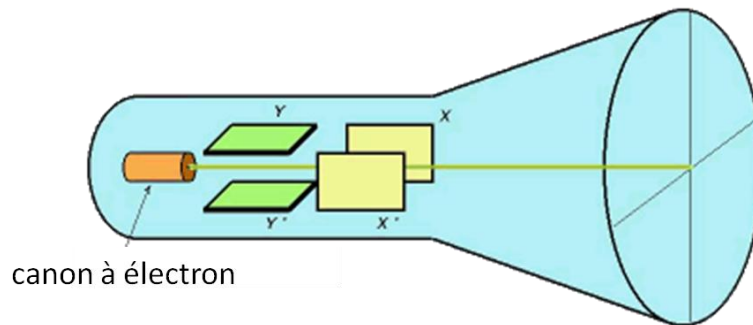


Problème 1 : L'oscilloscope cathodique

Le but de ce problème est d'expliquer le fonctionnement d'un oscilloscope cathodique, instrument permettant de visualiser une tension en fonction du temps.



Un tel instrument est composé d'un tube de verre à l'intérieur duquel règne un vide poussé. Un canon à électrons expulse un faisceau d'électrons selon l'axe du tube. Ce faisceau est dévié verticalement par des plaques horizontales soumises à la tension que l'on veut étudier, et dévié horizontalement par des plaques verticales, soumises à une tension en dent de scie pour assurer le balayage horizontal du spot à vitesse constante.

Partie I : Visualisation de signaux de tension

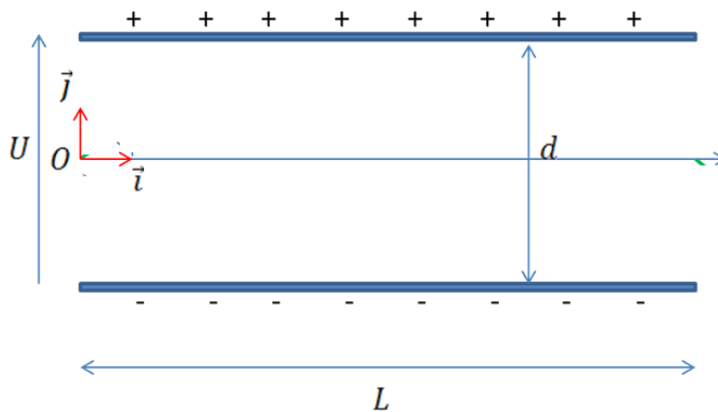
Un oscilloscope est réglé pour analyser une tension de 1,5 V en voie Y_A et une tension créneau de période 0,8 ms et de tension maximale 1 V en voie Y_B . Sur l'annexe, on peut lire les sensibilités verticale ($0,5 \text{ V div}^{-1}$ pour les voies Y_A et Y_B) et horizontale ($0,2 \text{ ms div}^{-1}$)

- 1) Tracer sur l'écran de l'annexe en rouge l'allure des deux courbes de tension.
- 2) Déterminer la période de balayage T_b , temps mis par le spot pour revenir à une même position sur l'écran. A quel fréquence de balayage f_b cela correspond-t-il ?
- 3) Si on admet qu'une image persiste sur la rétine de l'œil humain pendant $1/25 \text{ s}$, verrait on un spot se déplacer en ne visualisant que la tension de la voie Y_A par exemple ?
- 4) Avec la même période de balayage, quel réglage de la sensibilité verticale serait le plus adapté pour pouvoir mesurer en voie Y_A l'amplitude d'une tension sinusoïdale de fréquence 50 Hz et d'amplitude 30 V ?
- 5) Observerait on alors au moins une période du signal ?
- 6) Comment faudrait-il régler la base temps (sensibilité horizontale) pour n'observer que deux périodes entières ?
- 7) Plus généralement, établir un encadrement de la période de balayage permettant d'observer exactement un nombre entier n de périodes entières du signal. En déduire un encadrement de la sensibilité horizontale S_H qui permettrait de déterminer celle qu'il faut sélectionner.

- 8) Donner sur votre copie l'allure de la tension de balayage horizontal, appliquée aux plaques verticales

Partie II : Etude théorique de la déviation par les plaques verticales

Nous supposons ici que le spot ne subit qu'une déviation verticale, sous l'action d'une tension U appliquée entre les plaques horizontales. Le mouvement de l'électron s'effectue donc dans un plan vertical que nous munissons d'un repère orthonormé $(O, \vec{i}, \vec{j})$, O étant le point en lequel un électron entre dans la zone située entre les deux plaques verticales.



On donne :

Tension entre plaques : $U = 1,5 \text{ V}$

Distance entre plaques : $d = 4 \text{ cm}$

Longueur des plaques : $L = 10 \text{ cm}$,

Vecteur vitesse de l'électron en O : $\vec{v}_0 = v_0 \vec{i}$; $v_0 = 2,5 \times 10^7 \text{ m s}^{-1}$

masse de l'électron : $m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$

charge élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

accélération de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$

On rappelle que la relation existant entre la norme du champ électrostatique $\vec{E} = -E \vec{j}$, constant dans la zone située entre les armatures et à distance des bords, la tension U et la distance entre armatures d est :

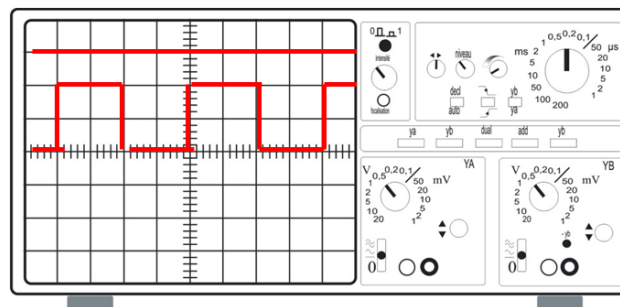
$$U = \|\vec{E}\| \times d = E d$$

Compte tenu de la vitesse élevée de l'électron, la tension U peut être considérée comme constante pendant le trajet de ce dernier entre les plaques et représentative de la tension instantanée à mesurer au moment où l'électron laisse un impact sur l'écran (spot).

- 1) Faire le bilan des forces agissant sur l'électron pendant son parcours entre les armatures et représenter les sur un schéma sur lequel figurera également le champ électrique
- 2) Calculer numériquement l'intensité de chaque force et en déduire que l'une d'elle est négligeable devant l'autre.
- 3) En appliquant la loi de Newton, établir formellement les équations du mouvement.
- 4) Résoudre le système d'équations différentielles et en déduire le système des équations horaires du mouvement.
- 5) Eliminer le paramètre temps dans les équations horaires et en déduire une équation cartésienne du support de trajectoire de la forme $y = ax^2$. On explicitera a en fonction des paramètres et on fera l'application numérique.
- 6) Etablir l'équation de la tangente au point d'abscisse L
- 7) On suppose l'écran à l'abscisse $L + b$, avec $b = 25 \text{ cm}$, en déduire, formellement puis numériquement, l'ordonnée du spot sur l'écran.

Corrigé

1)



- 2) La période de balayage correspond au temps mis par le spot pour balayer les 8 divisions donc si on note S_H la sensibilité horizontale, on a :

$$T_b = 10 S_H = 10 \times 0,2 = 2 \text{ ms}$$

La fréquence de balayage s'en déduit :

$$f_b = \frac{1}{T_b} = \frac{1}{2 \times 10^{-3}} = 500 \text{ Hz}$$

- 3) La persistance rétinienne étant :

$$t = \frac{1}{25} = 0,04 \text{ s} = 40 \text{ ms} > T_b$$

On ne voit pas le spot défiler.

4) Sensibilité verticale adaptée : $S_V = 10 \text{ V div}^{-1}$

5) La période du signal est :

$$T = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ s} = 20 \text{ ms} > T_b$$

On ne verrait donc pas une période mais seulement 1/10 de période du signal (2/20)

6) Deux périodes correspondent à 40 ms. La période de balayage doit donc être au moins de 40 ms, ce qui donne une sensibilité horizontale d'au moins 4 ms (40/10). La sensibilité à sélectionner est donc $S_H = 5 \text{ ms div}^{-1}$

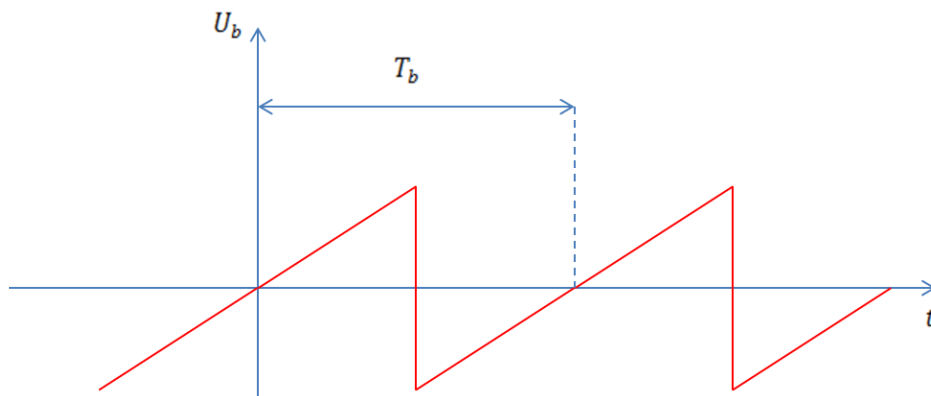
7) La condition sur la période de balayage pour visualiser n périodes est :

$$n T \leq T_b < (n + 1) T$$

D'où

$$\frac{n T}{10} \leq S_H < \frac{(n + 1) T}{10}$$

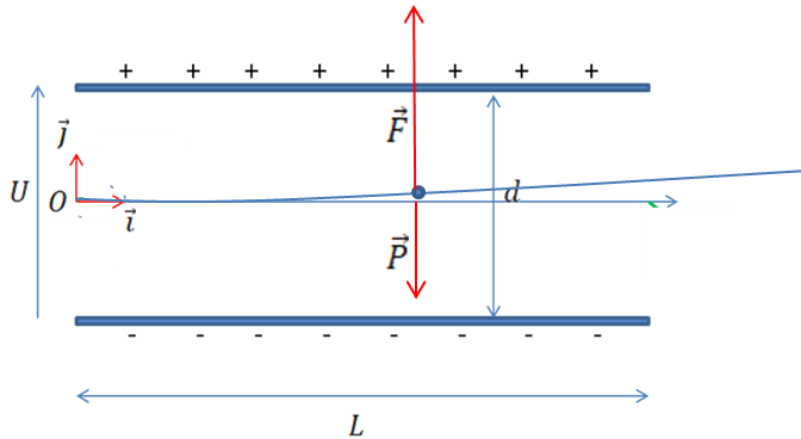
8)



Partie I

1) L'électron est soumis à son poids $\vec{P}$ et à une force électrostatique $\vec{F}$ définies par :

$$\vec{P} = m \vec{g} , \quad \vec{F} = -e \vec{E}$$



2)

$$\|\vec{F}\| = e E = \frac{e U}{d} = \frac{1,6 \times 10^{-19} \times 1,5}{4 \times 10^{-2}} \approx 6,0 \times 10^{-18} \text{ N}$$

$$\|\vec{P}\| = m g = 9,1 \times 10^{-31} \times 9,81 \approx 8,9 \times 10^{-30} \text{ N}$$

Le poids est donc grandement négligeable devant la force électrostatique.

3) La loi de Newton s'écrit :

$$\vec{F} = m \vec{a}$$

Soit :

$$\vec{a} = \frac{e E}{m} \vec{j}$$

4) La projection de la loi de Newton dans la base $(\vec{i}, \vec{j})$ donne le système :

$$\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = \frac{e E}{m} \end{cases}$$

En intégrant, on en déduit :

$$\begin{cases} v_x = cste1 \\ v_y = \frac{e E}{m} t + cste2 \end{cases}$$

Les conditions initiales de vitesse conduisent à :

$$\begin{cases} v_x(0) = v_0 = cste1 \\ v_y(0) = 0 = \frac{e E}{m} \times 0 + cste2 \end{cases}$$

D'où :

$$\begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = \frac{e E}{m} t \end{cases}$$

Par intégration, à nouveau :

$$\begin{cases} x = v_0 t + cste3 \\ y = \frac{e E}{2 m} t^2 + cste4 \end{cases}$$

Les conditions initiales de position conduisent à :

$$\begin{cases} x(0) = 0 = v_0 \times 0 + cste3 \\ y(0) = 0 = \frac{e E}{2 m} \times 0^2 + cste4 \end{cases}$$

D'où :

$\begin{cases} x = v_0 t \\ y = \frac{e E}{2 m} t^2 \end{cases}$
--

5) On peut éliminer t entre les deux équations :

$$\begin{cases} t = \frac{x}{v_0} \\ y = \frac{e E}{2 m v_0^2} x^2 \end{cases}$$

6) Posons :

$$f(x) = \frac{e E}{2 m v_0^2} x^2$$

Alors :

$$f'(x) = \frac{e E}{m v_0^2} x$$

L'équation de la tangente en $x = L$ est :

$$y = f'(L) (x - L) + f(L)$$

soit :

$$y = \frac{e E}{m v_0^2} L (x - L) + \frac{e E}{2 m v_0^2} L^2$$

$$y = \frac{e E}{2 m v_0^2} L (2 x - L)$$

7) Ordonnée du spot sur l'écran :

$$y(L + b) = \frac{e E}{2 m v_0^2} L (2 L + 2 b - L) = \frac{e U}{2 m d v_0^2} L (L + 2 b)$$

Numériquement :

$$y(L + b) = \frac{1,6 \times 10^{-19} \times 1,5 \times 0,1 \times 0,6}{2 \times 9,1 \times 10^{-31} \times 0,04 \times (2,5 \times 10^7)^2} \approx 3,2 \times 10^{-3} m = 3,2 mm$$