

Expéditeur	nom du fichier	an	école	option	n° ép	n° pb	du rée	En./ Cor	mots-clés
Dalloubeix	nancy.doc	95	Géologie Nancy				3h	En.	RLC interférences

[en-tête à remplacer par les caractéristiques de votre énoncé]

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE GEOLOGIE
- NANCY -

- SESSION 1995 -

EPREUVE DE PHYSIQUE

Durée: 3 heures

Indiquer clairement les numéros des questions traitées .

Utiliser les notations suivantes: Pour les dérivées $\frac{dx}{dt} = x'$; pour les complexes $j^2 = -1$

1 - Réponse d'un circuit .

On considère le circuit représenté sur la figure 1, formé d'un générateur idéal G de f.é.m e, de conducteurs ohmiques de résistance R_0 , d'un condensateur de capacité $C=2,53.10^{-6}$ F et d'une bobine purement inductive d'inductance $L=10$ mH. Les points S et M constituent la sortie du dispositif; elle peut être ouverte (rien n'est branché) ou fermée sur un dipole . La tension de sortie est $u_s(t)$.

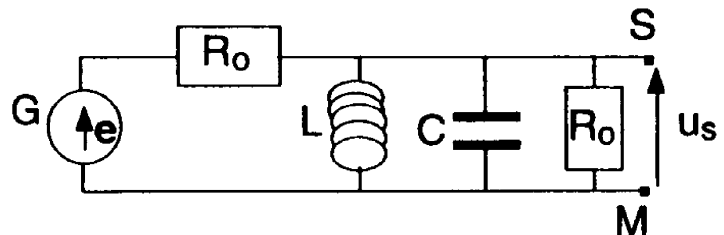


Fig 1

1 - 1) G est un générateur idéal de tension sinusoïdale $e = E_m \cos(\omega t)$ avec $E_m = 5$ V .

La sortie est ouverte; le régime sinusoïdal forcé est établi: $u_s(t) = U_{sm} \cos(\omega t + \phi)$.

Entre les points S et M, tout le circuit équivaut à un générateur de Norton, de courant électromoteur $\eta = \eta_m \cos(\omega t + \psi)$ et d'admittance complexe $\underline{Y}_n = \alpha + j\beta$. Les données sont : E_m , ω , L , C , R_0 .

- a) Déterminer littéralement en fonction des données: 1) α et β . 2) η_m et ψ . 3) U_{sm} et ϕ .
b) U_{sm} prend une valeur maximale $U_{s \max}$ pour une fréquence f_r ; déterminer littéralement puis numériquement f_r et $U_{s \max}$

1-2) La sortie est à présent fermée sur un condensateur de capacité C' . On mesure la fréquence de résonance de la tension de sortie: $f_r = 800$ Hz . Calculer C' .

On remplace dans le circuit initial (sortie ouverte), le générateur de tension sinusoïdal par un générateur idéal de tension continue de f.é.m $E = 5$ V en série avec un interrupteur K . On donne $Q = R_0/L\omega_0$; $LC\omega_0^2 = 1$ et $\tau = Q/\omega_0$.

A la date $t < 0$, K est ouvert; aucun courant ne circule dans le circuit . A $t=0$, on ferme K .

- a) Etablir l'équation différentielle liant u_s , ses dérivées par rapport au temps, E, τ , ω_0 .
b) On choisit R_0 pour que $Q = 1$. Calculer les valeurs de ω_0 et τ (préciser l'unité).
c) Donner l'équation horaire $u_s(t)$ faisant intervenir les constantes E et τ .
d) Déterminer l'équation horaire $i(t)$ du courant débité par le générateur .
e) Calculer, en fonction de E , R_0 , τ , l'énergie W_e transférée par le générateur au circuit entre les dates 0 et 10τ .

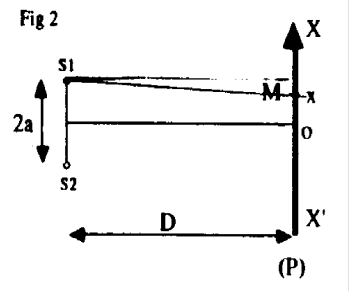
f) Comparer W_e à la variation, entre les mêmes dates, de l'énergie stockée dans le condensateur et dans la bobine . Conclure .

2- Interférence en lumière monochromatique .

2-1. Deux sources ponctuelles S_1 et S_2 , monochromatiques, synchrones émettent une onde électromagnétique de longueur d'onde $\lambda = 600 \text{ nm}$. Ces ondes interfèrent au point M, d'abscisse x , de l'écran translucide (P) (Fig 2).

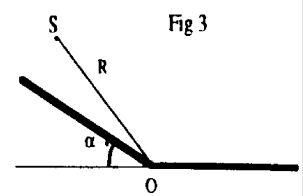
Les expériences se déroulent dans l'air, considéré comme un milieu homogène, d'indice de réfraction $n_0=1$; les ondes se propagent à la célérité $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$. Les données sont: $2a = 1 \text{ mm}$; $D = 80 \text{ cm}$; $\lambda = 600 \text{ nm}$.

- Calculer la fréquence f des ondes.
- Donner les explications théoriques justifiant l'existence de franges sur l'écran et déterminer l'expression et la valeur numérique de l'interfrange Δ .
- Un observateur regarde le plan (P). Le pouvoir séparateur de l'oeil de cet observateur est $\eta = 1,2$ minutes d'angle: sa distance minimale de vision distincte est $d_m = 25 \text{ cm}$. Verra-t-il les franges nettement?



2-2. Deux miroirs plans carrés, formant entre eux un angle $\alpha = 1^\circ$, sont éclairés par une source ponctuelle monochromatique S, située à la distance $OS=R=50 \text{ cm}$ de l'arête O, et émettant une onde de longueur d'onde $\lambda = 600 \text{ nm}$ (Fig 3).

- Montrer que ce dispositif équivaut aux sources S_1, S_2 évoquées en 2-1. Quel est son nom ? Calculer $S_1 S_2 = 2a$.
- L'observateur précédent regarde les franges sur un écran situé à la distance $D=80 \text{ cm}$ des sources S_1, S_2 et disposé comme en 2-1, à travers une loupe, assimilée à une lentille mince et mise au point pour une vision à l'infini.
 - Préciser la nature de la lentille et faire un tracé des rayons.
 - Donner une inégalité sur la distance focale f' de la loupe pour que l'observateur voit les franges nettement.



3- Interférences avec un faisceau électronique.

3-1. Accélération d'un électron .

Tous les mouvements ont lieu dans le vide. La pesanteur est $g=9,80 \text{ m.s}^{-2}$. Dans tout le problème, on supposera négligeables les corrections relativistes et le champ magnétique. On donne pour l'électron:

Charge $q = -e$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; Masse $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

Des électrons sont émis sans vitesse de la cathode K reliée à la masse de potentiel électrique nul. Ils sont accélérés par une anode A, portée à un potentiel V , et percée d'un petit trou S. En sortant de S, les électrons forment un faisceau divergent homogénéique de vitesse v_0 (Fig 6).

- Déterminer v_0 en fonction de e, m, V .
- Calculer v_0 si $V = 20\,000 \text{ volts}$.

3-2. Déviation d'un pinceau d'électrons .

Tous les mouvements seront examinés dans le repère OXY (fig 4).

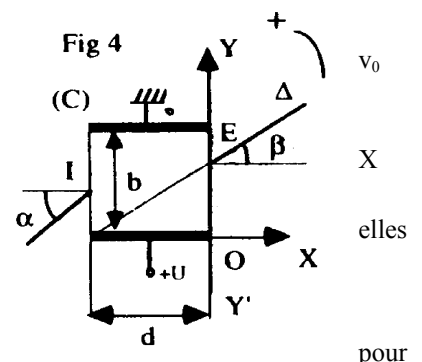
Un pinceau d'électrons issus de S se dirige sur un condensateur plan (C) avec la vitesse précédente. Il arrive au point I d'ordonnée Y_I en faisant un angle α avec l'axe $X'X$. Il

ressort de (C) au point E (ordonnée Y_E) avec la vitesse v_E en faisant un angle β avec X' (Fig 4).

Les armatures du condensateur sont disposées horizontalement. Leur longueur est d ; sont distantes de $b = 1 \text{ cm}$. La tension entre les armatures est $U = 80 \text{ volts}$.

On fera l'hypothèse simplificatrice que le champ électrique est uniforme entre les armatures et nul à l'extérieur.

On respectera les orientations indiquées sur les figures 4-5. Les angles sont assez petits que l'on puisse utiliser systématiquement les expressions approchées des fonctions trigonométriques avec un seul terme.



Les données sont: $e, m, V, \alpha, d, b, g, U$.

Le schéma n'est pas à l'échelle

a) Comparer le poids de l'électron et la force électrique .

b) Déterminer l'expression littérale de β en fonction de β_0 , d , U , b , V .

En déduire l'expression particulière β_0 de l'angle β lorsque $\alpha=0$ et l'expression littérale de β en fonction de β_0 et α .

c) Déterminer l'expression littérale de $\Delta Y_E = Y_E - Y_1$ en fonction de α , β_0 , et d .

d) Déterminer l'équation de la droite Δ dans le repère OXY en faisant intervenir les paramètres α , β_0 , d , Y_1 .

e) Au degré d'approximation choisi, v_E est de la forme $v_E = v_0 \sqrt{c_1 + c_2 \alpha \beta_0 + c_3 \beta_0^2}$.

Calculer c_1 , c_2 , c_3 .

f) L'appareillage utilisé confine α dans l'intervalle $(2,5 \cdot 10^{-6} \text{ rad}; 0,05 \text{ rad})$. Donner une inégalité sur d pour que l'écart relatif entre v_E et v_0 soit inférieur à 0,01% pour tous les électrons du faisceau (envisager le cas $v_E > v_0$ puis $v_E < v_0$)

g) Dans toute la suite, on prendra $d = 1 \text{ mm}$. Calculer β_0 .

3-3 Étude du faisceau de sortie .

La source d'électrons S , située à la distance $L=20 \text{ cm}$, envoie sur le condensateur un faisceau homocinétique, de vitesse v_0 , calculée en 3. 1, limité par les pinceaux SI_1 et SI_2 tel que:

Le schéma n'est pas à l'échelle .

$Y_{11} = \varepsilon = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ et $Y_{12} = 1 \text{ cm}$ (Fig 5) . Le faisceau ressort en E_1 sous l'angle β_1 et en

E_2 sous l'angle β_2 . Il est limité par les droites Δ_1 et Δ_2 .

Un électron arrivant en Y_1 sous l'incidence α ressort en suivant la droite Δ .

a) Déterminer l'équation de la droite Δ faisant intervenir les paramètres α , β_0 , L , d .

b) Calculer littéralement puis numériquement $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ (en radian) .

c) Calculer l'angle $\Psi = \beta_2 - \beta_1$. Dessiner l'allure du faisceau de sortie .

d) Montrer qu'il y a focalisation du faisceau de sortie en un point S_1 dont on déterminera les coordonnées (c'est à dire que tout électron du faisceau issu de S ressort en passant par S_1) .

3-4. Onde associée au faisceau.

Le français Louis de Broglie a postulé en 1924, dans sa thèse de doctorat, qu'à toute particule de masse m et de vitesse v_0 , on pouvait associer une onde de longueur d'onde $\lambda = h/mv_0$ avec $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$.

Calculer la longueur d'onde λ associée aux électrons du faisceau précédent .

3-5 . Dispositif interférentiel .

On réalise un dispositif à l'aide de deux condensateurs identiques à (C) , accolés par l'armature centrale, d'épaisseur 2ε , portée à potentiel $U = 80 \text{ volts}$ (Fig 6).

Toutes les données numériques et tous les résultats de 3-1 à 3-4 sont utilisables .

a) Montrer, par un schéma géométrique, que le dispositif produit deux faisceaux de sortie qui présentent une partie commune et qui semblent provenir de deux sources virtuelles S_1 et S_2 .

b) Calculer l'écart $S_1 S_2 = 2a$.

c) On observe, dans le plan (P) situé à la distance $L' = 20 \text{ cm}$, des zones où les électrons s'accumulent et d'autres où ils ne vont pas . Expliquer l'analogie avec le phénomène optique et calculer l'écart Δ entre deux zones d'accumulation .

d) Le dispositif d'enregistrement permet de séparer les zones d'accumulation si leur écart Δ est supérieur à $\Delta_0 = 20 \text{ nm}$. Écrire l'inégalité sur U nécessaire à l'observation de ces zones . (Une expérience du type décrit ci dessus a été réalisée en 1956 (expérience de Fert))

Fig 6

