

**CONCOURS NATIONAL
DEUG**

PHYSIQUE

DURÉE: 4 heures

Les calculatrices programmables et alphanumériques sont autorisées sous réserve des conditions définies dans la circulaire n° 86-228 du 28 juillet 1986.

De nombreuses parties sont indépendantes. Il est conseillé aux candidats de prendre connaissance rapidement de la totalité du texte du sujet.

Les candidats doivent respecter les notations de l'énoncé et préciser, dans chaque cas, la numérotation de la question traitée.

On accordera la plus grande attention à la clarté de la rédaction, à la présentation et aux schémas.

Tournez la page S.V.P.

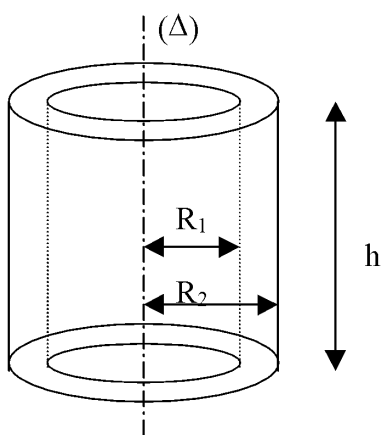
Partie A

- ETUDE DE QUELQUES CIRCUITS R-C -

I) Etude d'un condensateur cylindrique

Un condensateur cylindrique, placé dans de l'air sec ϵ_0 , est constitué de deux armatures métalliques coaxiales, de rayons R_1 et R_2 avec $R_1 < R_2$. La longueur des génératrices en regard vaut h (figure 1).

Figure 1



Les effets de bord existent, mais sont négligés. Soit Q la charge de l'armature interne et $-Q$ celle de l'armature externe (avec $Q > 0$).

Déterminer les caractéristiques du vecteur champ électrique en un point $M(r)$ situé entre les armatures, à la distance r de l'axe (Δ) .

- 2) En déduire l'expression de la capacité C du condensateur.
- 3) Quelle est l'unité de ϵ_0 ?
- 4) On néglige les effets de bord. Donner, qualitativement, les conditions que doivent vérifier les dimensions des armatures pour que l'approximation reste valable.
- 5) Si, en un point $M(r)$ (avec $R_1 < r < R_2$), la norme du champ électrostatique dépasse la valeur maximale E_m , il se produit une étincelle entraînant la destruction du condensateur. Quelle tension maximale U_m peut-on appliquer entre les deux armatures ?
- 6) On donne, pour x ($0 < x < 1$) : $\ln(1+x) \approx x$.
On pose $(R_2 - R_1) = e$. Que devient l'expression de la capacité C si $e \ll R_1$?

7) Application numérique. $R_1=19\text{cm}$; $R_2=20\text{cm}$; $h=1\text{ m}$;
 $(1/4((0) = 9.109\text{ SI}$; $E_m = 4.106\text{ V m}^{-1}$.

Calculer:

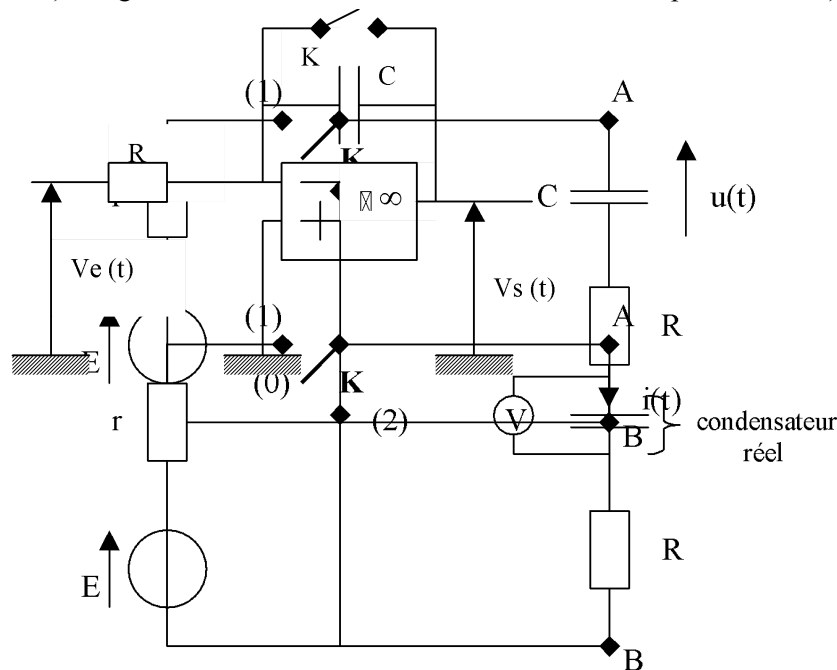
- 7.1. la capacité C ;
- 7.2. la tension maximale U_m applicable;
- 7.3. la charge électrique maximale Q_m correspondante.

II) Réponse d'un circuit R-C à un échelon de tension

Un dipôle AB est constitué d'un résistor de résistance R en série avec un condensateur de capacité C (figure 2).

Lorsque l'interrupteur K est en position (1), le dipôle est alimenté par une source de tension de f.é.m. E constante et de résistance r .

Les extrémités A et B du dipôle peuvent être court-circuitées en plaçant l'interrupteur en position 2). Figure 2*it*) désigne l'intensité instantanée du courant dans le dipôle AB et $u(t)$ la tension aux



bornes du condensateur. Le condensateur étant initialement déchargé, on place l'interrupteur K en position 1), à l'instant initial $t = 0$. On s'intéresse à la charge du condensateur.

- 1.1. Déterminer l'équation différentielle liant $u(t)$ et t .
- 1.2. En déduire la fonction $u(t)$.
- 1.3. Qu'appelle-t-on constante de temps du circuit ?
- 1.4. Tournez la page S.V.P. - 4 -
- 1.5. Donner l'expression de l'intensité $i(t)$.
- 1.6. Représenter graphiquement l'allure des fonctions $u(t)$ et $i(t)$.
- 1.7. Application numérique. $R = 1\text{ k}$; $r = 100$; $C = 15\text{ F}$. Donner un ordre de grandeur du temps de charge du condensateur.
- 1.8. Montrer qu'au bout d'un temps infini, l'énergie fournie par le générateur est également répartie entre le condensateur et la résistance $r+R$.
- 2) Au bout d'un temps très long t' , on bascule l'interrupteur en position 2).
- 2.1. Déterminer la fonction $u(t)$.
- 2.2. Donner l'expression de $i(t)$.
- 2.3. Représenter graphiquement ces deux fonctions. Donner, sans démonstration, la forme sous laquelle le condensateur restitue, au cours de la décharge, l'énergie qu'il avait emmagasinée.

III) Résistance de fuite d'un condensateur

Le condensateur de capacité C n'est plus idéal et présente une résistance de fuite notée R_f . La tension aux bornes du condensateur est mesurée grâce à un voltmètre électronique parfait (résistance interne infinie) (figure 3).

On place l'interrupteur K en position 1). Lorsque le condensateur est chargé, le voltmètre indique la tension $U_0 = E$. On ouvre l'interrupteur (position neutre 0)). Au bout d'un temps t_1 , le voltmètre indique la tension U_1 avec $U_1 < U_0$.

On recharge à nouveau le condensateur K en position 1). Lorsque le voltmètre indique la tension $U_0 = E$, on place brusquement l'interrupteur en position 2) afin de court-circuiter les pôles A et B. Au bout d'un temps t_2 , le voltmètre indique la tension U_2 avec $U_2 < U_1 < U_0$.

- 1) Le condensateur réel peut être

schématisé par une association de deux dipôles : capacité pure C et résistance R_f . Exprimer R_f en fonction des données de l'énoncé. 2) Exprimer, de la même façon, la résistance R_3) Application numérique. $C = 15 \text{ F}$; $U_0 = 7,00 \text{ V}$; $U_1 = 6,00 \text{ V}$; $U_2 = 5,00 \text{ V}$; $t_1 = t_2 = 30 \text{ s}$. 3.1. Calculer

R_f . 3.2. Calculer R . IV) Circuit R-C avec A.O. idéal : montage intégrateur On étudie le circuit ci-dessous (figure 4), alimenté par la tension d'entrée V_{et} . L'amplificateur opérationnel A.O.) est supposé idéal en fonctionnement linéaire. Le condensateur utilisé est idéal, et sa capacité est notée C . (Figure 4) L'interrupteur K est ouvert. 1.1. Exprimer la tension de sortie V_{St} en fonction de R , C et V_{et} . 1.2. Quelle doit être la valeur de V_s à l'instant initial $t = 0$, pour que le circuit fonctionne en circuit intégrateur ? 2) L'interrupteur K est en position fermée. Quelle est la valeur de V_s ? 3) La tension d'entrée V_{et} est un signal en créneaux de période T . $V_{et} = +V_0$ pour $0 < t < T/2$ $V_{et} = -V_0$ pour $T/2 < t < T$. Tournez la page S.V.P.

- 6 -

A l'instant initial $t = 0$, on ouvre l'interrupteur.

3.1. Déterminer la tension $V_S(t)$.

3.2. Représenter graphiquement la fonction $V_S(t)$ dans l'intervalle $[0, 2 T]$.

V) Simulation d'une bobine réelle

Le montage suivant fait intervenir un condensateur de capacité C et deux résistors de résistances respectives R_1 et R_2 (figure 5).

Figure 5

Ce circuit est équivalent, entre les bornes d'entrée M et N , à une bobine d'inductance pure L montée en parallèle avec une résistance pure r .

1) Exprimer L en fonction de R_1 , R_2 et C .

2) Même question pour r .

3) Application numérique. $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$; $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$; $C = 15 \text{ F}$.

3.1. Calculer L .

3.2. Calculer r .

4) Les inductances usuelles valent quelques dixièmes de henry. Quel est l'intérêt d'un tel montage ?

- 7 -

Partie B

Les parties A et B sont indépendantes

- ETUDE D'UNE RADIATION QUASI-MONOCROMATIQUE -

On se propose d'étudier la raie rouge émise par une lampe à vapeur de cadmium.

Dans une première partie, on mesure sa longueur d'onde (à l'aide d'un spectroscope à réseau).

Dans une deuxième partie, on évalue sa largeur spectrale ((en examinant les franges d'interférences obtenues avec une lame mince.

I) Mesure de (

Un réseau parfait est constitué de traits fins et parallèles gravés sur un support plan

en verre et régulièrement espacés. L'équidistance des centres est a (pas du réseau).

Le réseau est éclairé perpendiculairement aux traits, par un faisceau parallèle de lumière monochromatique, de longueur d'onde λ , sous l'angle d'incidence i_0 .

Figure 6

On observe, dans des directions définies par l'angle $i = i_K$, des maxima principaux de lumière diffractée, d'ordre k entier.

Les angles i et i_0 sont comptés à partir de la normale au réseau, positivement dans le sens trigonométrique (figure 6).

1) Exprimer $\sin i_K$ en fonction de i_0 , k , λ et a .

Tournez la page S.V.P.

- 8 -

2) On appelle déviation D d'un rayon émergent, l'angle que fait la direction définie par i avec celle définie par i_0 . Déterminer D en fonction de i et i_0 .

3) On fait varier i_0 . Pour une valeur $i_0 = i_{0m}$ donnée, la déviation D du rayon (choisi dans le spectre d'ordre k) présente un extrémum (minimum) D_m . Exprimer D_m en fonction de i_{0m} .

4) Proposer un tracé de rayons illustrant le réglage au minimum de déviation, pour un ordre k donné et une longueur d'onde donnée.

5) Application numérique.

La raie bleue ($\lambda = 491,6 \text{ nm}$) de la lampe à vapeur de mercure présente, pour le spectre

d'ordre 2, un minimum de déviation $D_{m0} = 25,56^\circ$. Pour le même ordre 2, la raie rouge

du cadmium admet une déviation minimale $D_m = 33,68^\circ$

Calculer:

5.1. l'angle d'incidence i_{0m} correspondant à la déviation minimale de la raie rouge du cadmium;

5.2. la longueur d'onde λ de la raie rouge du cadmium;

5.3. le pas a du réseau;

5.4. le nombre N^* de traits par mm.

II) Détermination de la largeur spectrale ((

On considère, dans le vide (indice $n_0 = 1$), une lame mince (L), à faces parallèles, d'épaisseur e constante.

Cette lame de verre est éclairée en incidence quasi-normale, par une source étendue

en lumière

monochromatique (pour laquelle l'indice du matériau vaut n (figure 7)).

Figure 7

- 9 -

On considère, par exemple, un rayon incident R_0 , d'angle d'incidence i (r étant l'angle de réfraction correspondant).

Cette lame fournit, du rayon R_0 , une série de rayons transmis $R_1, R_2, R_3, R_4, \dots$

On observe les franges d'interférences sur un écran (E) disposé dans le plan focal d'une lentille, de centre O, d'axe optique perpendiculaire à (L) et de distance focale $OF' = f'$.

1)Recopier et compléter la figure 7, en faisant apparaître les rayons R_2, R_3, R_4 , ainsi que leur cheminement jusqu'à l'écran (E).

2)Comparer les directions prises par ces rayons entre la lame et la lentille.

3)Soit I_0 l'intensité lumineuse associée au rayon incident R_0 et I_i l'intensité associée au rayon transmis R_i (avec $i = 1, 2, 3, 4, \dots$). Soit R le pouvoir de réflexion (rapport entre les intensités des ondes réfléchi et incidente) de l'interface (air-verre ou verre-air) et

$T = (1-R)$, le pouvoir de transmission correspondant.

Application numérique. $R = 0,06$.

Montrer qu'on peut négliger les intensités $I_3, I_4, \dots$ devant I_1 et I_2 et qu'on peut donc se limiter à un phénomène d'interférences à deux ondes associées aux rayons R_1 et R_2 .

(désigne le déphasage entre les rayons R_1 et R_2 qui interfèrent.
L'intensité de l'onde résultante est :

Soit $I_{\max}$, l'intensité maximale (dans la direction des franges brillantes) et $I_{\min}$, l'intensité

minimale (dans la direction des franges sombres). On définit le contraste C des franges

par:

4.1. Exprimer C en fonction de I_1 et I_2

2

4.2. Application numérique. Calculer C .

4.3. Les franges sont-elles bien contrastées ?

5) Soit δ la différence de marche entre les rayons transmis R_1 et R_2 .

5.1. Exprimer δ en fonction de n , e et r .

5.2. Rappeler la relation liant les angles i et r .

5.3. On donne, pour x ($0 < x < \pi/2$) : $\sin x$ et $\cos x$ ($1 - x^2/2$).

En utilisant ces approximations, montrer que δ peut aussi s'exprimer en fonction de n , e et i .

Tournez la page S.V.P.

- 10 -

6) On observe, sur l'écran (E), des anneaux brillants concentriques de centre F' (foyer image de la lentille). Chaque anneau brillant, de rayon r_q , correspond à un ordre d'interférence q entier.

On donne pour $x \ll 0$, $\tan x \approx x$.

Exprimer q en fonction de n , e , r_q , x et f' .

7) La lame est éclairée avec la raie rouge étalon de la lampe à vapeur de cadmium. Le foyer F' est brillant. On mesure, à l'aide d'un micromètre, le rayon r_2 du 2ème anneau brillant.

Application numérique. $\lambda = 643,847 \text{ nm}$; $n = 1,52720$
 $f' = 0,200 \text{ m}$; $r_2 = 1,2543 \text{ cm}$.

7.1. Calculer l'épaisseur e de la lame.

7.2. Calculer l'ordre d'interférence q_2 du 2ème anneau.

La source n'est pas rigoureusement monochromatique. Sa largeur spectrale est $\Delta\lambda$. On mesure, toujours à l'aide du micromètre, l'épaisseur e du 2ème anneau brillant. Les faibles variations de la distance focale f' et de l'indice absolu n sont négligées.

8.1. Montrer que la mesure de r_2 permet d'accéder à la valeur $\Delta\lambda$.

8.2. Application numérique. $\Delta\lambda = 0,0050 \text{ nm}$. Calculer $\Delta\lambda$.

9) On montre que la condition de visibilité des anneaux est $q_0 \ll \lambda / \Delta\lambda$. Cette condition est-elle vérifiée ici ?

10) Pouvait-on mettre en évidence, à l'aide du spectroscopie à réseau (partie B, § I), cette largeur spectrale $\Delta\lambda$ (on pourra, pour répondre, s'appuyer sur un calcul numérique) ?

Fin de l'énoncé