

## CONCOURS NATIONAL DEUG

---

Epreuve commune concours Physique et concours Chimie

### PHYSIQUE

#### PARTIE I

Durée : 2 heures

---

NB : Le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction.

Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

---

*Les calculatrices sont **autorisées**.*

*L'usage de tout ouvrage de référence et de tout document est **interdit**.*

---

De très 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.

Les parties **A**, **B**, **C** et **D** sont totalement indépendantes

## Partie A

### Électrocinétique

#### I. Générateurs : passage entre modèles équivalents de Thévenin et de Norton.

On peut remplacer le générateur de courant [courant électromoteur (c.é.m.)  $\eta$  et résistance  $r$  en parallèle], modélisé à la figure 1, par un générateur de tension équivalent [force électromotrice (f.é.m.)  $E$  et résistance  $R$  en série], modélisé à la figure 2.

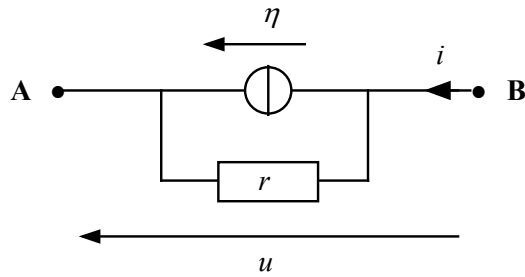


Figure 1

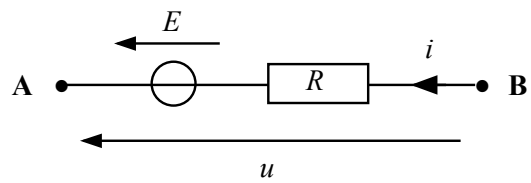


Figure 2

Exprimer  $E$  et  $R$  en fonction des données ( $\eta$  et  $r$ ) de la figure 1.

#### II. Association de générateurs

On associe maintenant, en parallèle, deux générateurs définis par leurs c.é.m. et résistance en parallèle, respectivement  $(\eta_1, r_1)$  et  $(\eta_2, r_2)$  (figure 3).

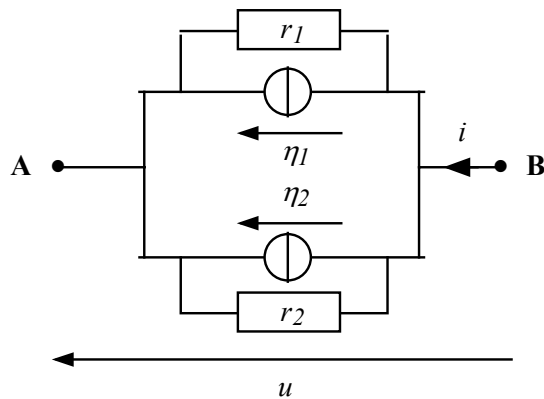


Figure 3

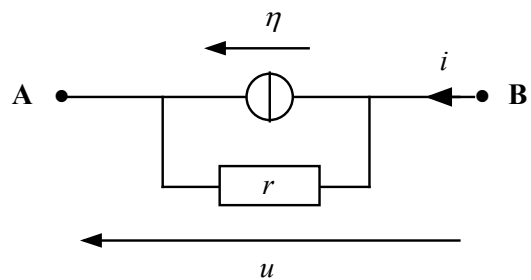


Figure 4

Exprimer le c.é.m.  $\eta$  et la résistance en parallèle  $r$  du générateur équivalent (figure 4), en fonction des données de la figure 3 ( $\eta_1, r_1, \eta_2$  et  $r_2$ ).

### III. Montage diviseur de tension et montage diviseur de courant

Un dipôle **AB** est constitué de deux résistors (résistances respectives  $R_1$  et  $R_2$ ).

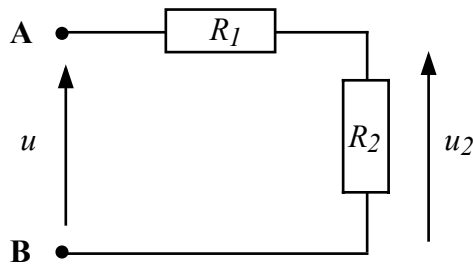


Figure 5

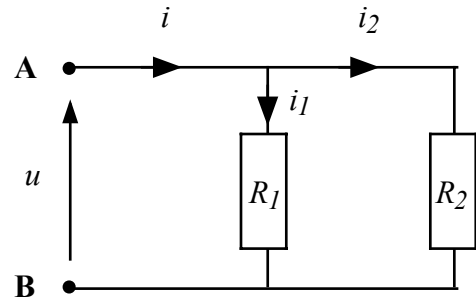


Figure 6

- 1) Les deux résistors sont montés en série et l'ensemble est soumis à une tension  $u$  (figure 5). Exprimer la tension  $u_2$ , aux bornes du résistor de résistance  $R_2$ , en fonction de  $u$ ,  $R_1$  et  $R_2$ .
- 2) Dans le second montage, les deux résistors sont montés en parallèle (figure 6). Un courant d'intensité  $i$  circule dans le dipôle **AB**. Exprimer l'intensité  $i_2$  du courant qui circule dans le résistor de résistance  $R_2$ , en fonction de  $i$ ,  $R_1$  et  $R_2$ .

### IV. Intensité $i$ du courant qui circule dans une branche d'un circuit

*La méthode de résolution est laissée au choix du candidat.*

Soit un circuit linéaire dont les résistances des conducteurs ohmiques, les f.é.m. des sources de tension et les c.é.m. des sources de courant sont indiqués sur la figure 7.

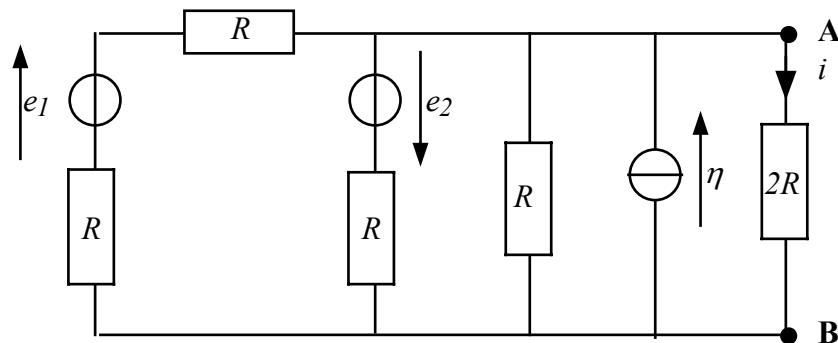


Figure 7

- 1) Déterminer, en fonction de  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $\eta$  et  $R$ , l'intensité  $i$  du courant qui circule dans le dipôle **AB**, de résistance  $2R$ .
- 2) *Application numérique.*  $e_1 = 20\text{ V}$  ;  $e_2 = 5,0\text{ V}$  ;  $\eta = 2,0 \times 10^{-2}\text{ A}$  ;  $R = 50\Omega$ .  
Calculer  $i$ .

## Partie B

### Thermodynamique

L'espace est rapporté, en coordonnées cartésiennes, à un repère orthonormé direct  $(Ox, Oy, Oz)$  de base  $(\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$ .

L'atmosphère, de masse volumique  $\rho$ , est en équilibre thermodynamique à l'altitude  $z$ , dans le champ de pesanteur uniforme et constant  $\vec{g} = -g \vec{e}_z$ .

L'équation fondamentale (1) de la statique des fluides est applicable en tout point M de l'espace :

$$\overrightarrow{\text{grad}} P(M) = \rho(M) \vec{g} \quad (1)$$

L'atmosphère (mélange gazeux) est assimilée à un gaz parfait unique, de masse molaire moyenne  $\overline{M}$ . Soient  $T_o$  et  $P_o$ , les température et pression au niveau du sol ( $z = 0$ ).

On pose  $H = \frac{R T_o}{\overline{M} g}$ .

#### I. Généralités

- 1) Montrer que l'équation fondamentale (1) se traduit par une équation différentielle locale qui relie les grandeurs  $P(z)$ ,  $\rho(z)$ ,  $g$  et  $z$ .
- 2) Rappeler l'équation d'état du gaz parfait.
- 3) Exprimer la masse volumique  $\rho(z)$  de l'air, en fonction de  $P(z)$ ,  $T(z)$ ,  $\overline{M}$  et  $R$ .

#### II. Premier modèle

Un premier modèle simple consiste à considérer que la température de l'atmosphère est une grandeur uniforme et constante :  $T(z) = T_o$  (modèle de l'atmosphère isotherme).

- 1) Établir l'expression littérale de la pression  $P(z)$ .
- 2) La variation relative de pression, de  $z = 0$  à  $z$ , s'exprime par :  $\frac{\Delta P}{P_o} = \frac{P(z) - P_o}{P_o}$ . Jusqu'à l'altitude  $z_1$ , pour laquelle la pression peut être considérée comme uniforme, la variation relative  $\left| \frac{\Delta P}{P_o} \right|$  n'excède pas  $10^{-2}$ . Exprimer  $z_1$  en fonction de  $H$ .
- 3) *Application numérique.*  
 $R = 8,3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  ;  $T_o = 290 \text{ K}$  ;  $\overline{M} = 29 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}$  ;  $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$ .  
Calculer  $H$  et  $z_1$ .

#### III. Second modèle

Un deuxième modèle établit que l'atmosphère présente un gradient thermique  $\lambda$  constant. La température  $T(z)$  est une fonction affine de l'altitude  $z$ , selon la loi :  $T(z) = T_o + \lambda z$ . Établir l'expression littérale de la pression  $P(z)$ .

## Partie C

### Optique ondulatoire

Le contrôle interférométrique de l'homogénéité d'un matériau est réalisé grâce au dispositif expérimental, placé dans le vide d'indice de réfraction  $n_o = 1$ , représenté par la figure 8 :

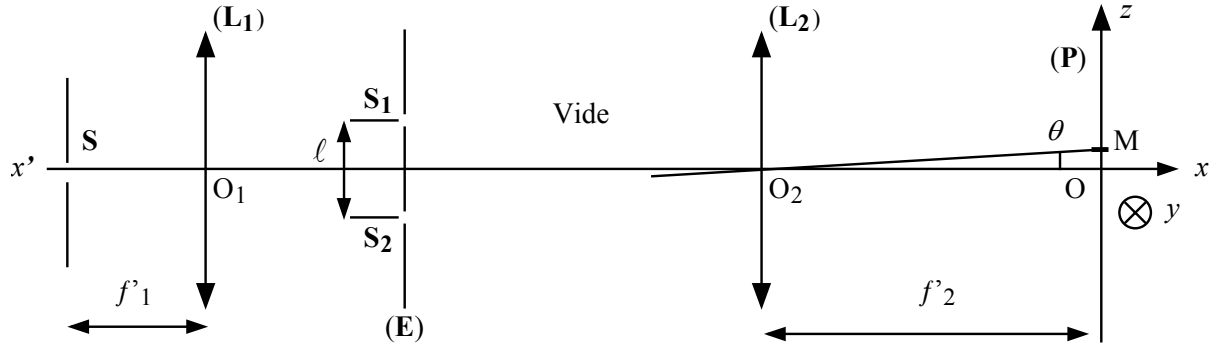


Figure 8

Une source quasi-punctuelle  $S$ , est placée au foyer objet d'une lentille mince convergente  $(L_1)$ , d'axe optique  $x'x$  d'origine  $O$ . Cette source émet une radiation monochromatique de longueur d'onde  $\lambda_o$ . À la sortie de  $(L_1)$ , se trouve un écran opaque  $(E)$ , perpendiculaire à l'axe optique et percé de deux trous circulaires  $S_1$  et  $S_2$  de très petites dimensions. Ces trous, espacés de  $\ell$  et symétriques l'un de l'autre par rapport à l'axe  $x'x$ , sont situés dans le plan  $xOz$  (plan de représentation). La lumière diffractée par  $S_1$  et  $S_2$  est reçue par une seconde lentille mince convergente  $(L_2)$ , d'axe optique  $x'x$ . Les phénomènes obtenus sont observés dans le plan  $yOz$  [plan  $(P)$ ], confondu avec le plan focal image de  $(L_2)$  (figure 8).

On suppose  $\ell \ll f'_2$ .

Données :  $\lambda_o = 0,5890 \mu\text{m}$  ;  $f'_2 = 2,0 \text{ m}$  ;  $\ell = 2,0 \text{ cm}$ .

#### I. Étude du champ d'interférences au niveau du plan (P), sur l'axe Oz

- 1) Recopier la figure 8 et tracer les rayons (1) et (2), issus de la source  $S$ , qui atteignent respectivement les trous  $S_1$  et  $S_2$ , et qui interfèrent en un point  $M$ , d'ordonnée  $z$ , sur l'axe  $Oz$ .
- 2) Indiquer, sur le dessin précédent, la différence de marche  $\delta(M)$  entre les rayons (1) et (2) [ou différence entre les chemins optiques  $(SM)_2$  et  $(SM)_1$ ].
- 3) Exprimer  $\delta(M)$  en fonction de  $\ell$  et  $\theta$ .
- 4) En déduire une expression  $\delta(z)$  de cette différence de marche  $\delta(M)$ .
- 5) Déterminer les ordonnées  $z_p$  des franges brillantes, avec  $p$  entier relatif.
- 6) Donner l'expression de l'interfrange  $i$ .
- 7) Dessiner le système de franges d'interférences dans le plan  $yOz$ .
- 8) On souhaite obtenir des franges plus lumineuses, dans le champ d'interférences. Comment modifier le dispositif décrit à la figure 8 ?
- 9) *Application numérique.* Calculer  $i$ .

## II. Contrôle de l'homogénéité d'un matériau

Sur le trajet des rayons diffractés par le trou  $S_1$ , on place, parallèlement à l'écran (E), une lame mince (L), transparente et d'indice  $n$ . Cette lame, d'épaisseur  $e$ , transmet intégralement la lumière. Ses faces sont supposées rigoureusement planes et parallèles (figure 9). On souhaite vérifier l'homogénéité du matériau qui constitue (L).

Données :  $\lambda_0 = 0,5890 \mu\text{m}$  ;  $e = 5,000 \times 10^{-3} \text{ m}$ .

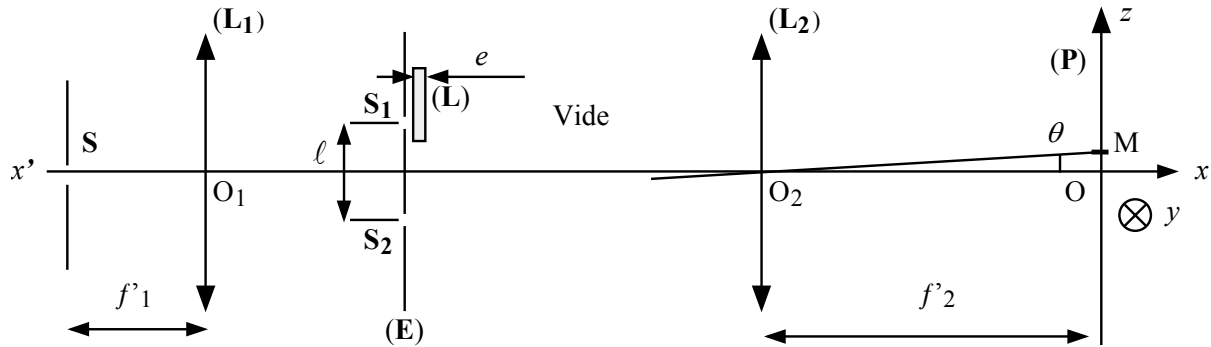


Figure 9

- 1) La lame est, dans un premier temps, supposée homogène. Exprimer, en fonction de  $n$  et  $e$ , la différence de marche  $\delta(O)$  des rayons qui interfèrent au point O.
- 2) Pour une certaine position de (L) devant  $S_1$ , on observe une frange brillante au point O. On déplace alors lentement la lame devant  $S_1$ , parallèlement à l'écran (E) et sans jamais intercepter les rayons issus de  $S_2$ . On opère de façon à ce que tous les points de la lame soient au moins une fois éclairés par le faisceau issu de  $S_1$ . On remarque que la frange brillante peut être, suivant la position de (L), progressivement remplacée, en O, par l'une ou l'autre de ses deux franges sombres immédiatement voisines. Déterminer, en fonction de  $\lambda_0$  et  $e$ , l'écart  $\Delta n = n_{\max} - n_{\min}$  présenté par les valeurs de l'indice de réfraction de la lame.
- 3) Dans quel sens se déplace le système de franges si, au cours de la translation de (L), la valeur de l'indice  $n$ , de la partie de matériau éclairée, augmente.
- 4) *Application numérique.*
  - Pour la radiation jaune (doublet « D » à  $\lambda_0 = 0,5890 \mu\text{m}$ ) du sodium, la valeur de l'indice absolu du matériau (flint) étudié vaut  $n_D = 1,6725$ . Calculer la variation relative d'indice  $(\Delta n/n_D)$ , pour le doublet jaune du sodium, que présente cette lame de verre.
  - Un milieu transparent est homogène si  $(\Delta n/n_D) \leq 10^{-5}$ . Conclusion ?

## Partie D

### Diffusion de matière

Des neutrons ( ${}_0^1\text{n}$ ) lents sont produits par une source (S), de forme sphérique, de centre O et de rayon  $R$ . À la surface extérieure ( $\Sigma$ ) de la source, sont émis  $N_0$  neutrons par unité de surface et unité de temps (figure 10).

À l'extérieur de la source, au temps  $t$  et en tout point  $M$  du milieu **(M)**, les particules sont soumises au phénomène de diffusion régi par la loi de Fick, d'équation générale :

$$\vec{j}(M, t) = -D \overrightarrow{\text{grad}} N^*(M, t) ,$$

avec  $\vec{j}(M, t)$  vecteur densité de courant particulaire,  $D$  coefficient (constante positive) de diffusion des neutrons et  $N^*(M, t)$  nombre de neutrons par unité de volume.

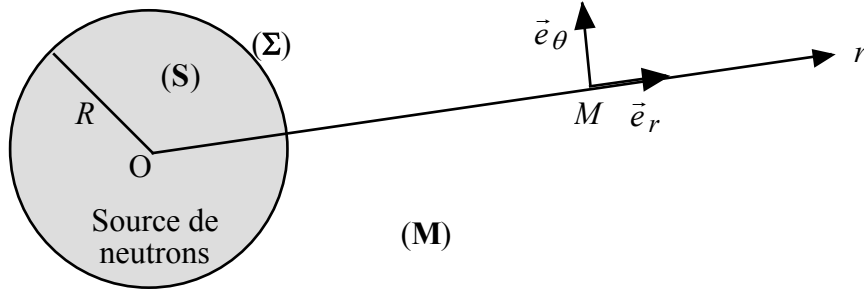


Figure 10

## I. Généralités sur la diffusion

La diffusion est à symétrie radiale (diffusion unidimensionnelle). On rappelle, en coordonnées polaires [base  $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta)$ ], les composantes du vecteur gradient :

$$\overrightarrow{\text{grad}} N^*(M, t) = \begin{pmatrix} \frac{\partial N^*(M, t)}{\partial r} \\ \frac{1}{r} \frac{\partial N^*(M, t)}{\partial \theta} \end{pmatrix}$$

On admet qu'en tout point  $M$ , tel que  $OM = r \geq R$ , la densité particulaire de neutrons  $N^*(M, t)$  ne dépend que du rayon  $r$  et du temps  $t$ .

- 1) En déduire l'équation vectorielle qui relie  $\vec{j}(r, t)$  et  $\frac{\partial N^*(r, t)}{\partial r}$ .
- 2) Exprimer, en fonction des grandeurs  $r$ ,  $D$ , et  $\frac{\partial N^*(r, t)}{\partial r}$ , le flux  $\Phi(r, t)$  du vecteur  $\vec{j}(r, t)$  à travers la surface sphérique, de centre  $O$ , de rayon  $r \geq R$  et d'aire  $S = 4\pi r^2$ .
- 3) Rappeler l'unité du coefficient de diffusion  $D$ .

## II. Diffusion des neutrons dans un milieu non absorbant

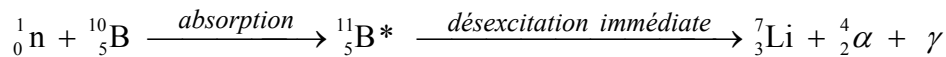
On suppose que le milieu **(M)** n'absorbe pas les neutrons et que le régime de diffusion de ces particules est stationnaire.

- 1) Quelle est la principale propriété du flux  $\Phi(r, t)$  en régime stationnaire ?
- 2) Donner, en fonction de  $R$  et  $N_o$ , l'expression de ce flux.

- 3) On suppose que lorsque  $r$  tend vers l'infini,  $N^*(r \rightarrow \infty) = 0$ . Déterminer la loi de distribution  $N^*(r)$ .
- 4) Dessiner l'allure de la courbe représentative de la fonction  $N^*(r)$ .

### **III. Absorption des neutrons par réaction nucléaire**

Le milieu (**M**), riche en noyaux  $^{10}_5\text{B}$  (isotope de l'élément bore), absorbe les neutrons à raison de  $C$  captures par unité de volume et unité de temps, selon la réaction nucléaire suivante (donnée à titre de simple information) :



On considère un volume élémentaire  $dV$  du milieu (**M**), compris entre les deux sphères concentriques, de centre O et de rayons respectifs  $r$  et  $r + dr$ .

Soient, pendant la durée infinitésimale  $dt$ ,  $\delta N_e$  le nombre de neutrons qui pénètrent dans le volume élémentaire  $dV$ ,  $\delta N_s$  le nombre de neutrons qui quittent ce volume par diffusion et  $\delta N_c$  le nombre de neutrons qui disparaissent de ce volume par capture.

On suppose un régime stationnaire interdisant toute accumulation de particules en un point donné de (**M**).

- 1) Exprimer, en fonction de la variable  $r$ , le volume élémentaire  $dV$ .
- 2) Traduire le bilan des flux de particules  $^1_0\text{n}$ , dans cet élément de volume, par une relation entre les nombres positifs  $\delta N_e$ ,  $\delta N_s$  et  $\delta N_c$ .
- 3) En déduire une équation différentielle reliant  $N^*(r)$  et  $r$ .
- 4) Déterminer le flux de diffusion  $\Phi(r)$ .
- 5) Montrer qu'il existe une valeur  $R_o$  de  $r$  qui annule le flux de diffusion.
- 6) Quelle est l'influence du coefficient de diffusion  $D$  sur la valeur  $R_o$  ?

**Fin de l'énoncé**