# 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 <u>indépendantes</u>. Il est conseillé aux candidats de prendre connaissance rapidement de la totalité du texte du sujet.**

**Les candidats doivent respecter les <u>notations de l'énoncé</u> 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 Thèvenin 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**.

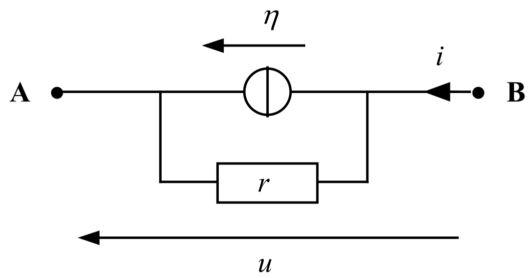


Figure **1**

$\Leftrightarrow$

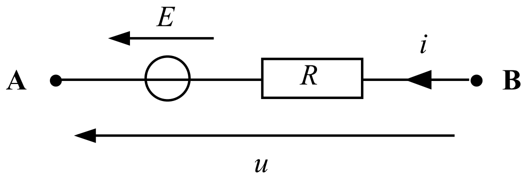


Figure **2**

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**).

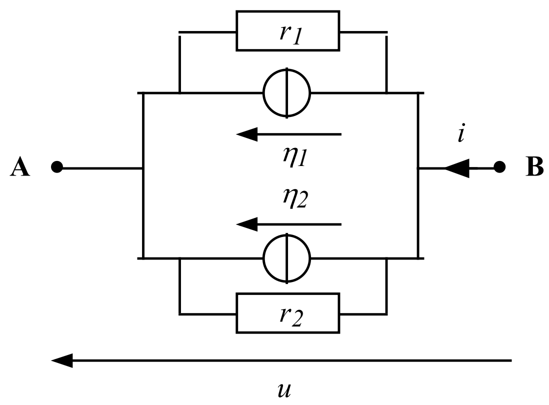


Figure **3**

$\Leftrightarrow$

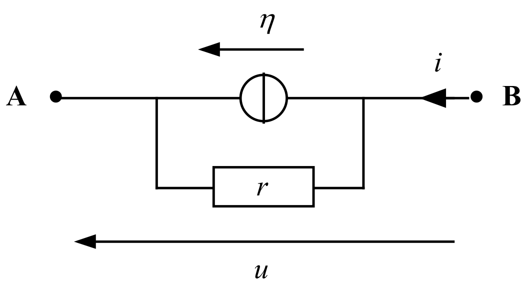


Figure **4**

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** $(\eta_1, r_1, \eta_2 \text{ et } r_2)$.

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

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

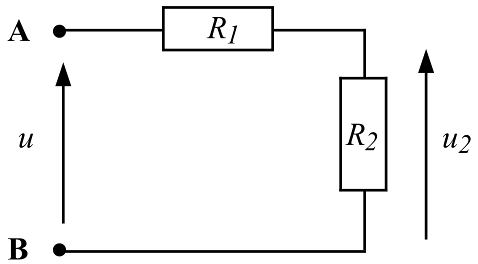


Figure **5**

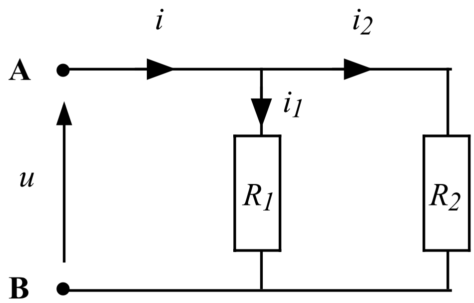


Figure **6**

**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**.

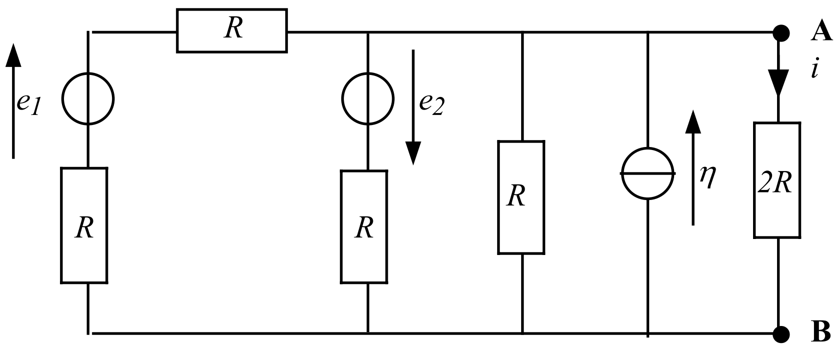


Figure **7**

**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 $2\,R$.

**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 $\left(\overrightarrow{e_x}, \overrightarrow{e_y}, \overrightarrow{e_z}\right)$.

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

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

$$\overrightarrow{grad}\,P(M) = \rho(M)\,\vec{g} \qquad (\mathbf{1})$$

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 $H = \dfrac{R\,T_o}{\overline{M}\,g}$ .

### 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 : $\dfrac{\Delta P}{P_o} = \dfrac{P(z) - P_o}{P_o}$. Jusqu'à l'altitude $z_1$, pour laquelle la pression peut être considérée comme uniforme, la variation relative $\left|\dfrac{\Delta P}{P_o}\right|$ n'excède pas $10^{-2}$. Exprimer $z_1$ en fonction de $H$.

**3)** *Application numérique.*
$R = 8{,}3\ \mathrm{J\,mol^{-1}\,K^{-1}}$ ; $T_o = 290\,\mathrm{K}$ ; $\overline{M} = 29\times10^{-3}\ \mathrm{kg\ mol^{-1}}$ ; $g = 9{,}8\,\mathrm{m\ s^{-2}}$ .
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** :

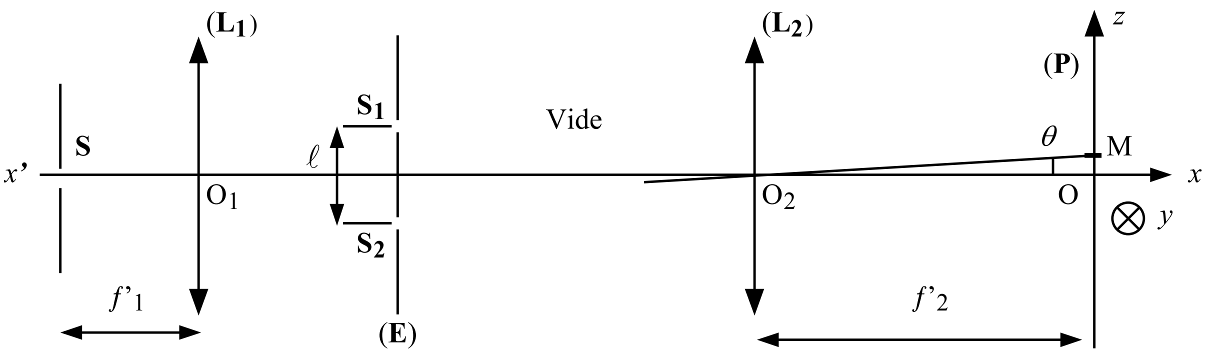


Figure **8**

Une source quasi-ponctuelle **S**, est placée au foyer objet d'une lentille mince convergente (**L₁**), d'axe optique $x'x$ d'origine O. Cette source émet une radiation monochromatique de longueur d'onde $\lambda_o$. À la sortie de (**L₁**), se trouve un écran opaque (**E**), perpendiculaire à l'axe optique et percé de deux trous circulaires **S₁** et **S₂** 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 **S₁** et **S₂** est reçue par une seconde lentille mince convergente (**L₂**), d'axe optique $x'x$. Les phénomènes obtenus sont observés dans le plan $yOz$ [plan (**P**)], confondu avec le plan focal image de (**L₂**) (figure **8**).

On suppose $\ell \ll f_2'$.

Données : $\lambda_o = 0,5890\,\mu\text{m}$ ; $f_2' = 2,0\,\text{m}$ ; $\ell = 2,0$ 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 **S₁** et **S₂**, 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 **S₁**, 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 : $\lambda_o = 0{,}5890\,\mu\text{m}$ ; $e = 5{,}000\times10^{-3}\ \text{m}$.

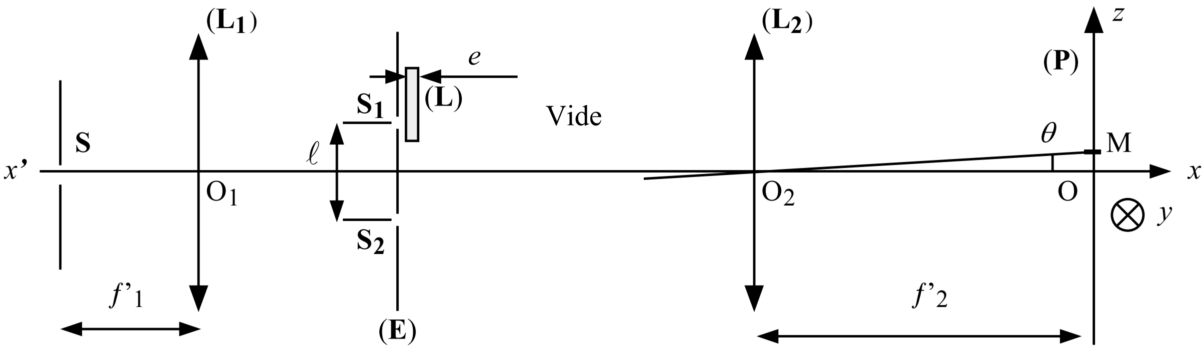


Figure **9**

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 **S₁**, on observe une frange brillante au point O. On déplace alors lentement la lame devant **S₁**, parallèlement à l'écran (**E**) et sans jamais intercepter les rayons issus de **S₂**. On opère de façon à ce que tous les points de la lame soient au moins une fois éclairés par le faisceau issu de **S₁**. 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 $\lambda_o$ 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 $\lambda_o = 0{,}5890\,\mu\text{m}$) 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 $(\Delta n / n_D) \le 10^{-5}$. Conclusion ?

# Partie D

## Diffusion de matière

Des neutrons $({}^1_0\text{n})$ 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 $N_o$ 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 :

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

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.

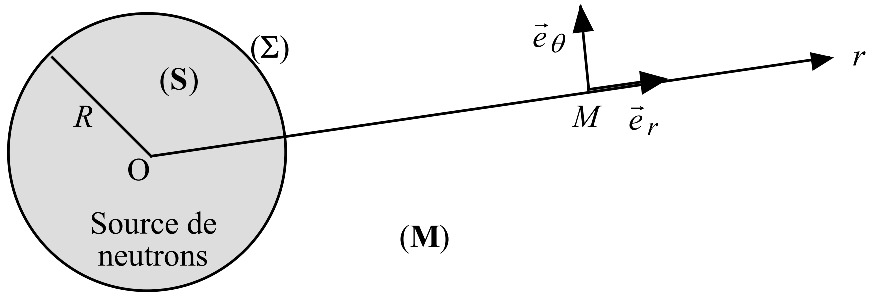


Figure **10**

## <u>I. Généralités sur la diffusion</u>

La diffusion est à symétrie radiale (diffusion unidimensionnelle). On rappelle, en coordonnées polaires [base $\left(\overrightarrow{e_r},\overrightarrow{e_\theta}\right)$ ], les composantes du vecteur gradient :

$$\overrightarrow{grad}\,N^*(M,t) = \left| \begin{array}{l} \dfrac{\partial N^*(M,t)}{\partial r} \\ \dfrac{1}{r}\,\dfrac{\partial N^*(M,t)}{\partial \theta} \end{array} \right.$$

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 $\dfrac{\partial N^*(r,t)}{\partial r}$.

**2)** Exprimer, en fonction des grandeurs $r$, $D$, et $\dfrac{\partial N^*(r,t)}{\partial r}$, 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 $D$.

## <u>II. Diffusion des neutrons dans un milieu non absorbant</u>

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, $N^*(r \to \infty) = 0$. 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 ${}^{10}_{5}\mathrm{B}$ (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) :

$${}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{10}_{5}\mathrm{B} \xrightarrow{\text{absorption}} {}^{11}_{5}\mathrm{B}^* \xrightarrow{\text{désexcitation immédiate}} {}^{7}_{3}\mathrm{Li} + {}^{4}_{2}\alpha + \gamma$$

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 ${}^{1}_{0}\mathrm{n}$, 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**