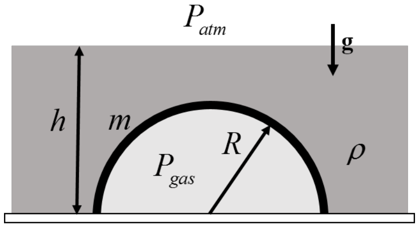
# Physique générale: Électromagnétisme (SMT), examen du 01.02.2023

**Nom:**..........................................................................**No. Sciper:**.......................**No. Place:**.............

## Problème 1 [6 points]

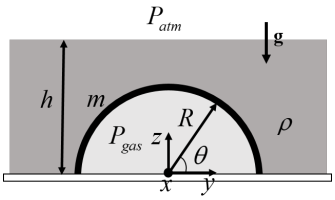
Une hémisphère vide d'une épaisseur négligeable, masse $m$, et rayon $R$ repose à une profondeur $h$ dans un fluide de densitè $\rho$. A l'intérieur se trouve un gaz à la pression $P_{gas}$, que nous supposons uniforme. La pression atmosphérique $P_{atm}$ agit sur la surface du fluide. La force de gravité est perpendiculaire à la surface du fluide. Déterminez la pression minimale de gaz $P_{gas,min}$ nécessaire pour soulever l'hémisphère.




Note: $\int\limits_0^{\pi/2} \sin\theta\cos\theta d\theta = \frac{1}{2}$; $\int\limits_0^{\pi/2} \sin^2\theta\cos\theta d\theta = \frac{1}{3}$

---

Solution:
$P_{gas,\min} = \frac{mg}{\pi R^2} + P_{atm} + \rho g\left(h - \frac{2}{3}R\right)$
Solution détaillée:




$\mathbf{F}_{gas} = F_{gas}\hat{\mathbf{z}}; F_{gas} = \int\limits_S P_{gas}\sin\theta ds$ (0.5)

$ds = 2\pi R\cos\theta R d\theta = 2\pi R^2\cos\theta d\theta$

$F_{gas} = \int\limits_S P_{gas}\sin\theta ds = \int\limits_0^{\pi/2} P_{gas}\sin\theta 2\pi R^2\cos\theta d\theta =$

$= 2\pi R^2 P_{gas}\int\limits_0^{\pi/2}\sin\theta\cos\theta d\theta$ $\int\limits_0^{\pi/2}\sin\theta\cos\theta d\theta = \frac{1}{2} \Rightarrow$

$F_{gas} = \pi R^2 P_{gas}$ (1.5)

$\mathbf{F}_g = F_g\hat{\mathbf{z}} = -mg\hat{\mathbf{z}}$ (0.5)

$\mathbf{F}_{fluide} = -F_{fluide}\hat{\mathbf{z}}; F_{fluide} = \int\limits_S P_h\sin\theta ds$ (0.5)

$P_{fluide} = P_{atm} + \rho g z = P_{atm} + \rho g(h - R\sin\theta)$

$F_{fluide} = \int\limits_0^{\pi/2}(P_{atm} + \rho g(h - R\sin\theta))\sin\theta 2\pi R^2\cos\theta d\theta =$

$= \int\limits_0^{\pi/2} P_{atm}\sin\theta 2\pi R^2\cos\theta d\theta + \int\limits_0^{\pi/2}\rho g h\sin\theta 2\pi R^2\cos\theta d\theta - \int\limits_0^{\pi/2}\rho g R\sin\theta\sin\theta 2\pi R^2\cos\theta d\theta$

$\int\limits_0^{\pi/2}\sin\theta\cos\theta d\theta = \frac{1}{2}$; $\int\limits_0^{\pi/2}\sin^2\theta\cos\theta d\theta = \frac{1}{3} \Rightarrow$

$F_{fluide} = \pi R^2 P_{atm} + \pi R^2\rho g h - \pi R^3\rho g\frac{2}{3} = \pi R^2(P_{atm} + \rho g h - \rho g\frac{2R}{3})$ (2)

$F_{gas} = F_g + F_{fluide} \Rightarrow$

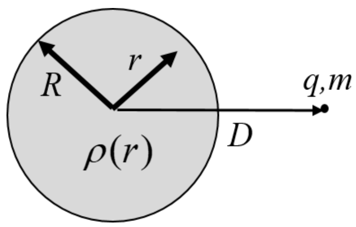
$\pi R^2 P_{gas} = mg + \pi R^2(P_{atm} + \rho g h - \rho g\frac{2R}{3}) \Rightarrow$

$P_{gas,\min} = \frac{mg}{\pi R^2} + P_{atm} + \rho g\left(h - \frac{2}{3}R\right)$ (1)

Note: La force exercée par le fluide sur la surface supérieure externe de l'hémisphère est égale à la force d'Archimède agissant sur un hypothétique hémisphère fermé entouré par le fluide moins la force de pression du fluide sur la surface de la base de l'hémisphère:

$\mathbf{F}_{fluide} = (\rho g\frac{1}{2}\frac{4}{3}\pi R^3 - (P_{atm} + \rho g h)\pi R^2)\hat{\mathbf{z}} = -\pi R^2\left(\rho g(h - \frac{2}{3}R) + P_{atm}\right)\hat{\mathbf{z}}$

## Problème 2 [4 points]




Une sphère isolante de rayon $R$ a une densité de charge positive $\rho$ non uniforme qui varie avec la distance $r$ du centre de la sphère de la manière suivante: $\rho = Ar^2$ pour $r < R$ et $\rho = 0$ pour $r > R$, où $A$ est une constante. Déterminez:
a) le champ électrique $\mathbf{E}$ à l'intérieur de la sphère (i.e., pour $r < R$).
b) le champ électrique $\mathbf{E}$ à l'extérieur de la sphère (i.e., pour $r > R$).
c) Si une particule ponctuelle de charge négative $q$ et de masse $m$, initialement immobile, peut se déplacer librement à partir d'une distance $D > R$ du centre de la sphère, déterminez la vitesse d'impact $\mathbf{v}$ de la particule avec la sphère en négligeant la force de gravité.

---

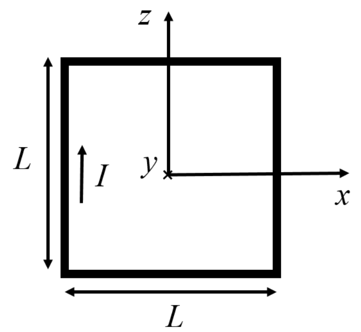
Solution:
a) $\mathbf{E} = \frac{Ar^3}{5\varepsilon_0}\hat{\mathbf{r}}$
b) $\mathbf{E} = \frac{AR^5}{5\varepsilon_0 r^2}\hat{\mathbf{r}}$
c) $v = -\sqrt{\frac{AR^5}{5\varepsilon_0}\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{D}\right)\frac{2q}{m}}\hat{\mathbf{r}}$

Solution détaillée:
La symétrie du problème permet d'utiliser efficacement la loi de Gauss:
$\oint\limits_S \mathbf{E}\cdot d\mathbf{s} = \int\limits_V (\rho/\varepsilon_0)dV$ (0.25)
Pour la symétrie du problème: $\mathbf{E} = E\hat{\mathbf{r}}$ (0.25)
a)
$\oint\limits_S \mathbf{E}\cdot d\mathbf{s} = \oint\limits_S Eds = E\oint\limits_S ds = E4\pi r^2$
$\int\limits_V (\rho/\varepsilon_0)dV = (1/\varepsilon_0)\int\limits_V \rho dV = (1/\varepsilon_0)\int_0^r \rho 4\pi r^2 dr =$
$= (1/\varepsilon_0)\int_0^r Ar^2 4\pi r^2 dr = (1/\varepsilon_0)4\pi A\int_0^r r^4 dr = \frac{4\pi Ar^5}{5\varepsilon_0}$
$\Rightarrow E4\pi r^2 = \frac{4\pi Ar^5}{5\varepsilon_0}$
$\Rightarrow E = \frac{Ar^3}{5\varepsilon_0}$
$\Rightarrow \mathbf{E} = \frac{Ar^3}{5\varepsilon_0}\hat{\mathbf{r}}$ (1)
b)
$\oint\limits_S \mathbf{E}\cdot d\mathbf{s} = \oint\limits_S Eds = E\oint\limits_S ds = E4\pi r^2$
$\int\limits_V (\rho/\varepsilon_0)dV = (1/\varepsilon_0)\int\limits_V \rho dV = (1/\varepsilon_0)\int_0^R \rho 4\pi r^2 dr =$
$= \int_0^R Ar^2 4\pi r^2 dr = 4\pi A\int_0^R r^4 dr = \frac{4\pi AR^5}{5\varepsilon_0}$
$\Rightarrow E4\pi r^2 = \frac{4\pi AR^5}{5\varepsilon_0}$
$\Rightarrow E = \frac{AR^5}{5\varepsilon_0 r^2}$
$\Rightarrow \mathbf{E} = \frac{AR^5}{5\varepsilon_0 r^2}\hat{\mathbf{r}}$ (1)
c)
$V(D) - V(R) = \int_D^R \mathbf{E}\cdot d\mathbf{r} = -\int_R^D Edr =$
$= -\int_R^D \frac{AR^5}{5\varepsilon_0 r^2}dr = -\frac{AR^5}{5\varepsilon_0}\int_R^D \frac{1}{r^2}dr = -\frac{AR^5}{5\varepsilon_0}\left[-\frac{1}{r}\right]_R^D = \frac{AR^5}{5\varepsilon_0}\left(\frac{1}{D} - \frac{1}{R}\right)$
$\Rightarrow V(D) - V(R) = \frac{AR^5}{5\varepsilon_0}\left(\frac{1}{D} - \frac{1}{R}\right)$

Conservation de l'énergie de la particule chargée:
$q(V(D) - V(R)) = (1/2)mv^2$
$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{AR^5}{5\varepsilon_0}\left(\frac{1}{D} - \frac{1}{R}\right)\frac{2q}{m}} = \sqrt{\frac{AR^4}{5\varepsilon_0}\left(\frac{R-D}{D}\right)\frac{2q}{m}}$ (1.5))
($q < 0$ et $D > R$ donc l'argument de la racine est une quantité positive)

## Problème 3 [6 points]

Une boucle conductrice carrée, dont l'arête a une longueur $L$, est située dans le plan $xz$ avec son centre en (0,0,0). La boucle est traversé par un courant $I$ indépendant du temps. Déterminez:
a) le champ magnétique $\mathbf{B}$ au point $(0,0,0)$.
b) le champ magnétique $\mathbf{B}$ au point $(0,y,0)$.
Si la boucle conductrice carrée dans laquelle circule le courant $I$ se trouve dans une région de l'espace où il existe aussi un champ magnétique externe (c'est-à-dire non créé par la boucle elle-même) $\mathbf{B}_{ext} = B_{ext}\hat{\mathbf{x}}$, déterminez:
c) la force totale $\mathbf{F}$ agissant sur la boucle.
d) le couple totale $\mathbf{N}$ agissant sur la boucle.
Note: $\int \frac{1}{(x^2+a)^{3/2}}dx = \frac{x}{a\sqrt{a+x^2}}$; $\int \frac{1}{\cos^2(x)}dx = \tan x$



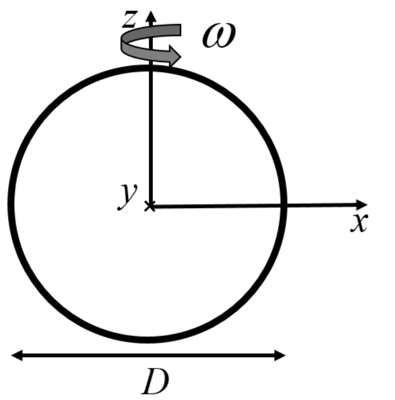

---

Solution:
a) $\mathbf{B}(0,0,0) = 2\sqrt{2}\frac{\mu_0 I}{\pi L}\hat{\mathbf{y}}$
b) $\mathbf{B}(0,y,0) = \frac{\mu_0 I L^2}{2\pi(y^2+L^2/4)\sqrt{y^2+L^2/2}}\hat{\mathbf{y}}$
c) $\mathbf{F} = 0$
d) $\mathbf{N} = IL^2 B_{ext}\hat{\mathbf{z}}$

Solution détaillée:
a)
Par symétrie: $\mathbf{B}(0,0,0) = B_y(0,0,0)\hat{\mathbf{y}}$ (0.5)
Nous appliquons la loi de Biot-Savart: $dB_y = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{(d\mathbf{l}\times\hat{\mathbf{r}})\cdot\hat{\mathbf{y}}}{r^2}$ (0.5)
$r^2 = x^2 + z^2$
$(d\mathbf{l}\times\hat{\mathbf{r}}) = (dx,0,0) \times \frac{(x,0,z)}{\sqrt{x^2+z^2}} = \frac{zdx}{\sqrt{x^2+z^2}}\hat{\mathbf{y}}$
$(d\mathbf{l}\times\hat{\mathbf{r}})\cdot\hat{\mathbf{y}} = \frac{zdx}{\sqrt{x^2+z^2}}$; $z = (L/2)$
$\Rightarrow dB_y = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{(L/2)dx}{(x^2+(L^2/4))^{3/2}}$
$B_y = 8\frac{\mu_0 I}{4\pi}\int_0^{L/2}\frac{(L/2)dx}{(x^2+(L^2/4))^{3/2}}dx = \frac{\mu_0 IL}{\pi}\int_0^{L/2}\frac{dx}{(x^2+(L^2/4))^{3/2}}dx =$
$= \frac{\mu_0 IL}{\pi}\left[\frac{8x}{L^2\sqrt{L^2+4x^2}}\right]_0^{L/2} = \frac{\mu_0 I}{\pi L}2\sqrt{2}$
$\Rightarrow \mathbf{B}(0,0,0) = \frac{\mu_0 I}{\pi L}2\sqrt{2}\hat{\mathbf{y}}$ (1)
b)
Par symétrie: $\mathbf{B}(0,y,0) = B_y(0,y,0)\hat{\mathbf{y}}$
Nous appliquons la loi de Biot-Savart: $dB_y = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{(d\mathbf{l}\times\hat{\mathbf{r}})\cdot\hat{\mathbf{y}}}{r^2}$
$r^2 = x^2 + y^2 + z^2$
$(d\mathbf{l}\times\hat{\mathbf{r}}) = (dx,0,0) \times \frac{(x,y,z)}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}} = \frac{1}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}}(-zdx\hat{\mathbf{y}} - ydx\hat{\mathbf{z}})$
$(d\mathbf{l}\times\hat{\mathbf{r}})\cdot\hat{\mathbf{y}} = -\frac{zdx}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}}$; $z = (L/2)$
$\Rightarrow dB_y = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{(L/2)dx}{(x^2+y^2+(L^2/4))^{3/2}}$
$B_y = 8\frac{\mu_0 I}{4\pi}\int_0^{L/2}\frac{(L/2)}{(x^2+y^2+(L^2/4))^{3/2}}dx = \frac{\mu_0 IL}{\pi}\int_0^{L/2}\frac{1}{(x^2+y^2+(L^2/4))^{3/2}}dx =$
$= \frac{\mu_0 IL^2}{2\pi}\frac{1}{(y^2+(L^2/4))\sqrt{y^2+(L^2/2)}}$
$\Rightarrow \mathbf{B}(0,y,0) = \frac{\mu_0 IL^2}{2\pi}\frac{1}{(y^2+(L^2/4))\sqrt{y^2+(L^2/2)}}\hat{\mathbf{y}}$ (2)
c)
$\mathbf{F} = \nabla(\mathbf{m}\cdot\mathbf{B}_{ext})$ mais: $\mathbf{m} = IL^2\hat{\mathbf{y}}$
$\Rightarrow \mathbf{F} = \nabla(\mathbf{m}\cdot\mathbf{B}_{ext}) = m\nabla B_{ext,y} = 0$ (1)
d)
$\mathbf{N} = \mathbf{m}\times\mathbf{B}_{ext}$ mais: $\mathbf{m} = IL^2\hat{\mathbf{y}}$; $\mathbf{B}_{ext} = B_{ext}\hat{\mathbf{x}}$
$\Rightarrow \mathbf{N} = mB_{ext}\hat{\mathbf{z}} = IL^2 B_{ext}\hat{\mathbf{z}}$ (1)

## Problème 4 [4 points]

Une boucle conductrice circulaire de diamètre $D$ tourne à vitesse angulaire constante $\omega$ autour de l'axe $z$. La boucle se trouve dans un champ magnétique uniforme et indépendant du temps $\mathbf{B} = B\hat{\mathbf{x}}$. A l'instant $t = 0$, la boucle est dans le plan $xz$. La boucle a une résistance $R$ et une inductance négligeable. Déterminez la puissance mécanique $P_{mec}(t)$ nécessaire pour faire tourner la boucle à vitesse angulaire constante $\omega$.




---

Solution:
$P_{mec} = \frac{B^2\pi^2D^4\omega^2\cos^2(\omega t)}{16R}$

Solution détaillée:
$\varepsilon = -\frac{d}{dt}\int\limits_S \mathbf{B}\cdot d\mathbf{s} = -\frac{d}{dt}\int\limits_S B\sin(\omega t)ds = -B\pi(D/2)^2\frac{d}{dt}\sin(\omega t) = -B\pi(D/2)^2\omega\cos(\omega t)$

$\Rightarrow I = \frac{\varepsilon}{R} = -\frac{B\pi(D/2)^2\omega\cos(\omega t)}{R}$ (2)

$P_{mec} = \omega\,|\mathbf{N}| = \omega\,|\mathbf{m}\times\mathbf{B}| = \omega mB\cos(\omega t) =$
$= \omega I\pi(D/2)^2B\cos(\omega t) = \frac{\left(B\pi(D/2)^2\omega\cos(\omega t)\right)^2}{R}$
$\Rightarrow P_{mec} = \frac{\left(B\pi(D/2)^2\omega\cos(\omega t)\right)^2}{R} = \frac{B^2\pi^2D^4\omega^2\cos^2(\omega t)}{16R}$ (2)

Note 1: La puissance mécanique nécessaire pour faire tourner la boucle dans le champ magnétique est aussi égale à la puissance dissipée dans la résistance de la boucle:
$P_{mec}{=}P_J = RI^2 = \frac{\left(B\pi(D/2)^2\omega\cos(\omega t)\right)^2}{R} = \frac{B^2\pi^2D^4\omega^2\cos^2(\omega t)}{16R}$

Note 2: La force électromotrice peut également être calculée comme suit:
$\varepsilon = \oint\limits_C (\mathbf{v}\times\mathbf{B})\cdot d\mathbf{l}$
$\mathbf{B} = (B,0,0); \mathbf{v} = (v_x,v_y,0); d\mathbf{l} = (dl_x,dl_y,dl_z)$
$\Rightarrow (\mathbf{v}\times\mathbf{B})\cdot d\mathbf{l} = Bv_ydl_z$ mais:
$v_y = \cos(\omega t)(D/2)\cos(\theta)\omega$
$dl_z = (D/2)d\theta\cos(\theta)$
$\Rightarrow (\mathbf{v}\times\mathbf{B})\cdot d\mathbf{l} = B\cos(\omega t)(D/2)^2\cos^2(\theta)\omega d\theta$
$\Rightarrow$
$\varepsilon = \int\limits_0^{2\pi} B\cos(\omega t)(D/2)^2\cos^2(\theta)\omega d\theta =$
$= B\cos(\omega t)(D/2)^2\omega\int\limits_0^{2\pi}\cos^2(\theta)d\theta = B\cos(\omega t)(D/2)^2\omega\pi$

**Questions** [une seule réponse correcte par question, 1 point/question, 10 points]

| | |
|---|---|
| Pression atmosphérique | $P_{atm} \cong 1.0 \times 10^5$ Pa (pression atmosphérique normale) |
| Accélération de la pesanteur (gravité) | $g \cong 9.8$ m/s$^2$ (à la surface de la Terre) |
| Permittivité du vide | $\varepsilon_0 \cong 8.85 \times 10^{-12}$ F/m |
| Perméabilité du vide | $\mu_0 \cong 1.26 \times 10^{-6}$ H/m |
| Vitesse de la lumière dans le vide | $c \cong 3 \times 10^8$ m/s |
| Masse de l'électron | $m_e \cong 9.11 \times 10^{-31}$ kg |
| Charge de l'électron | $e \cong -1.6 \times 10^{-19}$ C |

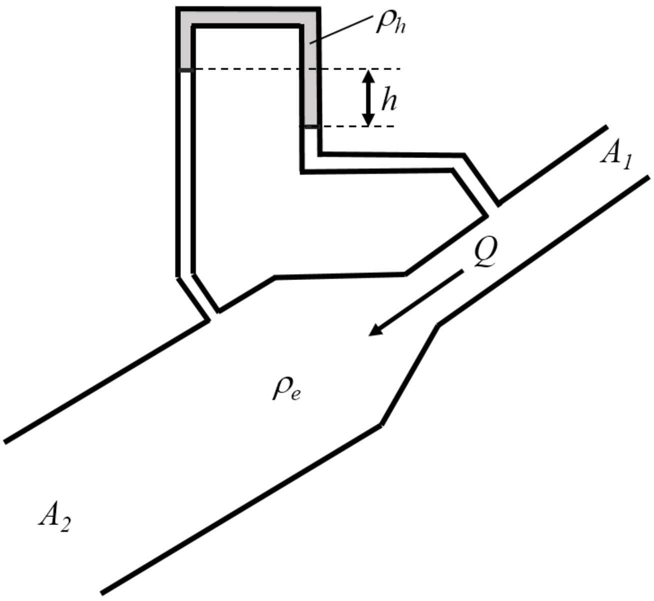
## Question 1

Calculez la vitesse limite $v_{lim}$ d'une sphère de rayon $R$ et de densité $\rho$ tombant dans un fluide de viscosité $\eta$ et de densité $\rho_0$. Supposons que la force de viscosité agissant sur la sphère soit $F_{visc} = 6\pi\eta R v$ où $v$ est la vitesse de la sphère.

A. $\frac{2}{9}R^2\frac{\rho}{\eta}g$
B. $\frac{2}{9}R^2\frac{\rho_0}{\eta}g$
C. $\frac{2}{9}R^2\frac{\rho-\rho_0}{\eta}g$
D. $\frac{1}{6}R\frac{\rho}{\eta}g$
E. $\frac{1}{6}R\frac{\rho_0}{\eta}g$
F. $\frac{1}{6}R\frac{\rho-\rho_0}{\eta}g$
G. $R^3\frac{\rho-\rho_0}{\eta}g$
H. $R^3\frac{\rho}{\eta}g$

## Question 2

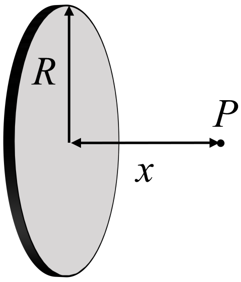
Un tuyau incliné, dont la section transversale passe de $A_1$ à $A_2$ (en m$^2$), est entièrement rempli d'eau qui s'écoule avec un débit $Q$ (en m$^3$/s). Les pressions en amont et en aval de la constriction sont mesurées à l'aide d'un manomètre contenant de l'huile avec une densité inférieure à celle de l'eau (i.e., $\rho_h < \rho_e$). Déterminez la hauteur $h$ donnée par le manomètre, en supposant que l'eau est un fluide incompressible parfait.




A. $\frac{1}{2g}\frac{\rho_e}{\rho_e-\rho_h}Q^2\left(\frac{1}{A_1^2}-\frac{1}{A_2^2}\right)$
B. $\frac{1}{2g}\frac{\rho_h}{\rho_e-\rho_h}Q^2\left(\frac{1}{A_1^2}-\frac{1}{A_2^2}\right)$
C. $\frac{1}{2g}\frac{\rho_e}{\rho_e-\rho_h}Q\left(\frac{1}{A_1^2}-\frac{1}{A_2^2}\right)$
D. $\frac{1}{2g}\frac{\rho_h}{\rho_e-\rho_h}Q\left(\frac{1}{A_1^2}-\frac{1}{A_2^2}\right)$
E. $\frac{1}{2g}\frac{\rho_e}{\rho_e-\rho_h}Q^2\left(\frac{1}{A_1}-\frac{1}{A_2}\right)$
F. $\frac{1}{2g}\frac{\rho_h}{\rho_e-\rho_h}Q^2\left(\frac{1}{A_1}-\frac{1}{A_2}\right)$
G. $\frac{1}{2g}\frac{\rho_e}{\rho_e-\rho_h}Q\left(\frac{1}{A_1}-\frac{1}{A_2}\right)$
H. $\frac{1}{2g}\left(\frac{\rho_e-\rho_h}{\rho_h}\right)Q^2\left(\frac{1}{A_1^2}-\frac{1}{A_2^2}\right)$
I. $\frac{1}{2g}\left(\frac{\rho_e-\rho_h}{\rho_e}\right)Q^2\left(\frac{1}{A_1^2}-\frac{1}{A_2^2}\right)$
L. 0

## Question 3

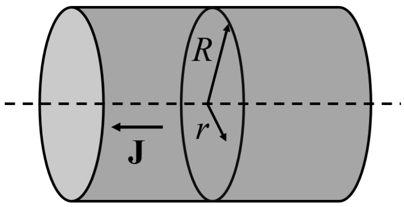
Un disque mince de rayon $R$ est chargé uniformément avec une densité de charge de surface $\sigma$ (en $C/m^2$). Il est placé dans le plan $yz$ avec son centre à l'origine $(0, 0, 0)$. Déterminez l'amplitude du champ électrique $E$ au point $P = (x, 0, 0)$.
Note: $\int \frac{x}{(x^2+a^2)^{3/2}} dx = -\frac{1}{(x^2+a^2)^{1/2}}$




A. $0$
B. $\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$
C. $\frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \frac{1}{x^2}$
D. $\frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \left[ \frac{x}{\sqrt{R^2+x^2}} \right]$
E. $\frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \left[ 1 - \frac{R}{\sqrt{R^2+x^2}} \right]$
F. $\frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \left[ 1 - \frac{x}{\sqrt{R^2+x^2}} \right]$
G. $\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$
H. $\frac{\sigma \pi R^2}{\varepsilon_0 x^2}$

## Question 4

Un conducteur long et cylindrique de rayon $R$ transporte un courant $I$ indépendant du temps. La densité de courant $J$ n'est pas uniforme sur la section transversale du conducteur, mais dépend de la distance de l'axe du conducteur $r$. En particulier, $J = br$ pour $r < R$ et $J = 0$ pour $r > R$, où $b$ est une constante. Déterminez l'amplitude du champ magnétique $B$ à une distance $r < R$ mesurée à partir du centre du conducteur.




A. $0$
B. $(1/3)\mu_0 br^2$
C. $(1/3)\mu_0 bR^2$
D. $(1/3)\mu_0 br^3$
E. $(1/2)\mu_0 br^2$
F. $(1/2)\mu_0 br$
G. $(1/2)\mu_0 bR$
H. $(1/2)\mu_0 b^2 r^2$

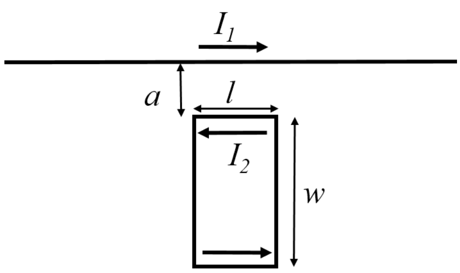
## Question 5

Une goutte sphérique d'eau est en lévitation dans un champ magnétique $B$ vertical non uniforme ayant une valeur d'environ 4 T là où la goutte est située. En supposant que l'eau a une susceptibilité magnétique $\chi \cong 10^{-5}$ et une densité $\rho \cong 1000$ kg/m$^3$ déterminez approximativement le gradient de $B$.

A. 3 T/m
B. 30 T/m
C. 300 T/m
D. 49 T/m
E. 490 T/m
F. 60 T/m
G. 600 T/m
H. 6000 T/m

## Question 6

Un long fil transporte le courant $I_1$ tandis qu'une boucle rectangulaire, dont la longueur et la largeur sont respectivement $l$ et $w$, transporte le courant $I_2$. Le fil se trouve dans le plan de la boucle, parallèlement à sa longueur, à une distance $a$, comme le montre la figure. Déterminez la force agissant sur la boucle.




A. $\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi} l \left( \frac{1}{a} \right)$
B. $\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi} l \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{a+w} \right)$
C. $\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi} l \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{a+w} \right)$
D. $\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi} l \left( \frac{1}{a+w} \right)$
E. $\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi} lw \left( \frac{1}{a} \right)$
F. $\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi} lw \left( \frac{1}{a+w} \right)$
G. $\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi} lw$
H. $0$

## Question 7

Vous êtes immobile sur un passage pour piétons et vous entendez une fréquence de 560 Hz de la sirène d'une ambulance qui s'approche. Après le passage de l'ambulance, vous entendez une fréquence de 480 Hz. A partir de ces observations, déterminez la vitesse de l'ambulance, en supposant que la vitesse du son est de 340 m/s.

A. 13 m/s
B. 26 m/s
C. 54 m/s
D. 80 m/s
E. 108 m/s
F. 160 m/s
G. 291 m/s
H. 340 m/s

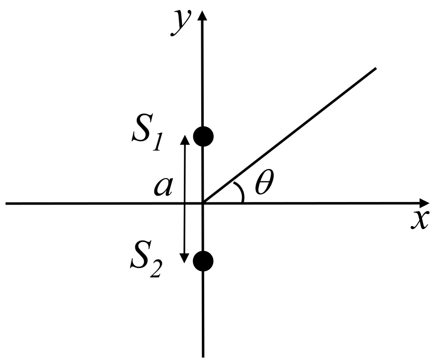
## Question 8

Une lame mince d'un matériau ayant un indice de réfraction $n_{lame} = 1.25$ et d'épaisseur $d_{lame}$ est illuminée perpendiculairement par une lumière verte de longueur d'onde $\lambda = 0.5\ \mu$m. L'espace au-dessus et au-dessous de la lame a un indice de réfraction de $n = 1$. Déterminez la plus petite $d_{lame}$ pour laquelle on observe un minimum d'intensité réfléchie.

A. 0.1 $\mu$m
B. 0.2 $\mu$m
C. 0.25 $\mu$m
D. 0.4 $\mu$m
E. 0.5 $\mu$m
F. 0.75 $\mu$m
G. 1.0 $\mu$m
H. 1.25 $\mu$m

## Question 9

Deux sources identiques d'ondes scalaires sphériques $S_1$ et $S_2$ de longueur d'onde $\lambda = 2a/3$ sont placées respectivement en $(0, a/2, 0)$ et en $(0, -a/2, 0)$. Pour quels angles $\theta$ observera-t-on une intensité nulle dans le plan $xy$ ?




A. $\pm 90°$
B. $\pm 41.8°$
C. $\pm 41.8°; \pm 90°$
D. $\pm 19.5°; \pm 90°$
E. $\pm 30°$
F. $\pm 12.5°$
G. $\pm 39°; \pm 90°$
H. $0°; \pm 90°$

## Question 10

Considérons une lumière polarisée linéairement voyageant à travers une série de $n$ polariseurs, chacun étant tourné dans le sens des aiguilles d'une montre d'un angle $\theta/n$ par rapport à celui qui le précède. Le premier polariseur étant tourné d'un angle $\theta/n$ dans le sens des aiguilles d'une montre par rapport à la polarisation initiale. Trouver l'intensité de la lumière après le dernier polariseur si l'intensité de la lumière avant le premier polariseur est égale à $I_0$.

A. 0
B. $I_0/n$
C. $I_0/n^2$
D. $I_0 \cos(\theta)$
E. $I_0 \cos(\theta/n)$
F. $(I_0/n) \cos^2(\theta/n)$
G. $I_0(\cos^2(\theta))^n$
H. $I_0(\cos^2(\theta/n))^n$