PHYSIQUE GÉNÉRALE: Electrom. (SMT) Examen du 09.03.2022

Nom: ....**N. Sciper**……………………**N. Place** :..........

Problème 1 [6 points]

Un cylindre horizontal de rayon R_1 se déplace parallèlement à son axe avec une vitesse $\mathbf{u} = u\hat{\mathbf{z}}$ à l'intérieur d'un tube immobile de rayon R_2 coaxial au cylindre. Un fluide visqueux et incompressible occupe l'espace entre le cylindre et le tube ($R_1 < r < R_2$).

Déterminez:

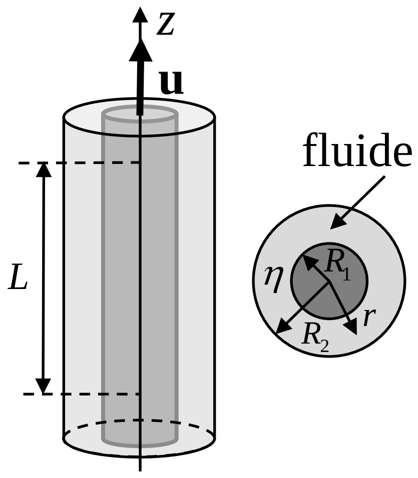
(a) par la symétrie du problème (sans calculs), quelle composantes de la vitesse du fluide **v** en coordonnées cylindriques v_z, v_r, v_φ sont non nulle.

(b) la vitesse du fluide **v** pour $R_1 < r < R_2$ (en fonction de R_1, R_2, r)

(c) la force de frottement exercée par le fluide sur la paroi interne d'une partie de longueur L du tube (en fonction de R_1, R_2, η, L)

Hypothèses:

Le cylindre et le tube sont infiniment longs; le régime stationnaire est établi; gravitation négligeable; $\nabla P = 0$ partout.



u : Vitesse du cylindre [m/s].	η: Viscosité du fluide [Pa s]
R_1: Rayon du cylindre [m].	ρ: Densité du fluide [kg/m^3]
R_2: Rayon du tube [m	r: Distance de l'axe en coordonnée cylindriques [m].

Indications:

1) Exprimer la vitesse **v** du fluide en coordonnées cylindriques v_r, v_φ, v_z

2) En coordonnées cylindriques dans la base $\hat{\mathbf{r}}, \hat{\boldsymbol{\varphi}}, \hat{\mathbf{z}}$ pour un champ scalaire U et un champ vectoriel **A**:

$$\nabla^2\mathbf{A} = \left(\nabla^2 A_r - \frac{A_r}{r^2} - \frac{2}{r^2}\frac{\partial A_\varphi}{\partial\varphi}\right)\hat{\mathbf{r}} + \left(\nabla^2 A_\varphi - \frac{A_\varphi}{r^2} + \frac{2}{r^2}\frac{\partial A_r}{\partial\varphi}\right)\hat{\boldsymbol{\varphi}} + \left(\nabla^2 A_z\right)\hat{\mathbf{z}}$$

$$\nabla^2 U = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial U}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 U}{\partial^2\varphi} + \frac{\partial^2 U}{\partial^2 z}$$

$$(\mathbf{A}\cdot\nabla)\mathbf{A} = \left(A_r\frac{\partial A_r}{\partial r} + \frac{A_\varphi}{r}\frac{\partial A_r}{\partial\varphi} - \frac{A_\varphi^2}{r} + A_z\frac{\partial A_r}{\partial z}\right)\hat{\mathbf{r}} + \left(A_r\frac{\partial A_\varphi}{\partial r} + \frac{A_\varphi}{r}\frac{\partial A_\varphi}{\partial\varphi} + \frac{A_\varphi A_r}{r} + A_z\frac{\partial A_\varphi}{\partial r}\right)\hat{\boldsymbol{\varphi}} +$$
$$+\left(A_r\frac{\partial A_z}{\partial r} + \frac{A_\varphi}{r}\frac{\partial A_z}{\partial\varphi} + A_z\frac{\partial A_z}{\partial z}\right)\hat{\mathbf{z}}$$

Solution :

(a)

Par la symétrie du probleme:

$v_r = v_\varphi = 0; \qquad v_z = v_z(r) \neq 0$ (1 point)

donc: $\mathbf{v} = v_z(r)\hat{\mathbf{z}}$

(b)

Navier-Stockes: $\rho \mathbf{g} - \nabla P + \eta \nabla^2 \mathbf{v} = \rho \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \rho (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v}$ (1 point)

mais: $\nabla P = 0$; gravitè négligeable $\Rightarrow$ $\mathbf{g} = 0$; régime stationnaire $\Rightarrow$ $\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} = 0$

$$(\mathbf{v}\cdot\nabla)\mathbf{v} = (0+0-0+0)\hat{\mathbf{r}} + (0+0+0+0)\hat{\boldsymbol{\varphi}} + \left(0+0+A_z\frac{\partial A_z}{\partial z}\right)\hat{\mathbf{z}} \text{ mais } \frac{\partial A_z}{\partial z} = 0 \Rightarrow (\mathbf{v}\cdot\nabla)\mathbf{v} = 0$$

$$\nabla^2\mathbf{v} = \left(\nabla^2 v_r - \frac{v_r}{r^2} - \frac{2}{r^2}\frac{\partial v_\varphi}{\partial\varphi}\right)\hat{\mathbf{r}} + \left(\nabla^2 v_\varphi - \frac{v_\varphi}{r^2} + \frac{2}{r^2}\frac{\partial v_r}{\partial\varphi}\right)\hat{\boldsymbol{\varphi}} + (\nabla^2 v_z)\hat{\mathbf{z}} =$$

$$(0-0-0)\hat{\mathbf{r}} + (0-0+0)\hat{\boldsymbol{\varphi}} + (\nabla^2 v_z)\hat{\mathbf{z}} = (\nabla^2 v_z)\hat{\mathbf{z}}$$

$$\nabla^2 v_z = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial v_z}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 v_z}{\partial^2\varphi} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial^2 z} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial v_z}{\partial r}\right) + 0 + 0 = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial v_z}{\partial r}\right)$$

$$\Rightarrow \quad \eta\nabla^2\mathbf{v} = 0 \Rightarrow \eta\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial v_z}{\partial r}\right) = 0 \Rightarrow$$

$r\frac{\partial v_z}{\partial r} = A \Rightarrow \frac{\partial v_z}{\partial r} = \frac{A}{r} \Rightarrow v_z(r) = A\ln(r) + B$ $\quad A, B$: constantes (1 point)

mais: $v_z(R_2) = 0$ et $v_z(R_1) = u \Rightarrow$

$$\begin{cases} A\ln(R_2) + B = 0 \\ A\ln(R_1) + B = u \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} B = -A\ln(R_2) \\ A\log(R_1) - A\ln(R_2) = u \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} B = -A\ln(R_2) \\ A = \dfrac{u}{\ln(R_1/R_2)} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} B = -\dfrac{u}{\ln(R_1/R_2)}\ln(R_2) \\ A = \dfrac{u}{\ln(R_1/R_2)} \end{cases}$$

$$\Rightarrow v_z(r) = \frac{u}{\ln(R_1/R_2)}\ln(r) - \frac{u}{\ln(R_1/R_2)}\ln(R_2) = u\frac{\ln(r/R_2)}{\ln(R_1/R_2)} \Rightarrow v_z(r) = u\frac{\ln(r/R_2)}{\ln(R_1/R_2)}$$ (1 point)

(c)

La force de frottement sur un element de surface de la paroi interne du tube est $ds = R_2 d\varphi dz$ est :

$$dF = \eta ds \left.\frac{\partial v_z(r)}{\partial r}\right|_{r=R_2}$$ (1 point)

mais: $$\frac{\partial v_z(r)}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial r}\left(u\frac{\ln(r/R_2)}{\ln(R_1/R_2)}\right) = \frac{u}{r}\frac{1}{\ln(R_1/R_2)} \Rightarrow \left.\frac{\partial v_z(r)}{\partial r}\right|_{r=R_2} = \frac{u}{R_2}\frac{1}{\ln(R_1/R_2)} \Rightarrow$$

$$dF = \eta ds\frac{u}{R_2}\frac{1}{\ln(R_1/R_2)} = \eta R_2 d\varphi dz\frac{u}{R_2}\frac{1}{\ln(R_1/R_2)} = \eta d\varphi dz\frac{u}{\ln(R_1/R_2)}$$

La force de frottement par unité de longuer est donc:

$$F = \int_0^L dz\int_0^{2\pi}\eta d\varphi\frac{u}{\ln(R_1/R_2)} = \eta\frac{u}{\ln(R_1/R_2)}\int_0^L dz\int_0^{2\pi}d\varphi = 2\pi L\eta\frac{u}{\ln(R_1/R_2)} \Rightarrow F = u\frac{2\pi L\eta}{\ln(R_1/R_2)}$$ (2 points)

Problème 2 [6 points]

Considérez une hémisphère isolante creuse de rayon R et de densité de charge surfacique homogène σ (en C/m^2).

Déterminez:

(a) le flux du champ électrique **E** à travers une sphère de rayon $2R$ avec centre au point (0,0,0).

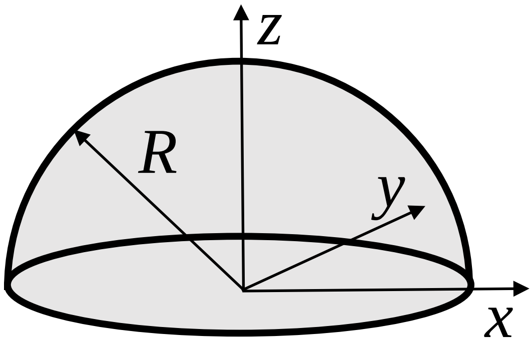
(b) le champ électrique $\mathbf{E}(0,0,0)$ au centre de la base de l'hémisphère.

(c) la différence de potentiel électrostatique $\Delta V = V(0,0,0) - V(0,0,R)$ entre le haut de l'hémisphère et le centre de la base de l'hémisphère.

(d) le travail W nécessaire pour déplacer une charge ponctuelle q du point $(0,0,R)$ au point $(0,0,\infty)$

Note : $\int \frac{\sin(x)}{\sqrt{1-\cos(x)}}dx = 2\sqrt{1-\cos(x)} + \text{constant}$

$\int \sin(x)\cos(x)dx = -(1/2)\cos^2(x) + \text{constant}$



Solution :

(a)

$$\Phi_E = \oint_S \mathbf{E}\cdot d\mathbf{s} = \int_V \frac{\rho}{\varepsilon_0}dV \Rightarrow \Phi_E = \int_{S'} \frac{\sigma}{\varepsilon_0}ds = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\int_{S'} ds = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\frac{1}{2}4\pi R^2 = \frac{2\sigma}{\varepsilon_0}\pi R^2$$

S : surface de la sphère de rayon $2R$, S' : surface de l'hèmisphère de rayon R

$\Rightarrow \Phi_E = \frac{2\sigma}{\varepsilon_0}\pi R^2$ (1 point)

(b)

$$d\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq}{r^2}\hat{\mathbf{r}}$$

$$dE_z = dE\cos\theta$$

$$dq = \sigma ds = \sigma R d\varphi \sin\theta R d\theta$$

$$E_z = \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi/2} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\sigma R d\varphi \sin\theta\cos\theta R d\theta}{R^2} = \frac{\sigma}{4\pi\varepsilon_0}\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi/2}\sin\theta\cos\theta d\theta d\varphi = \frac{2\pi\sigma}{4\pi\varepsilon_0}\int_0^{\pi/2}\sin\theta\cos\theta d\theta = \frac{2\pi\sigma}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{2} = \frac{\sigma}{4\varepsilon_0}$$

$\Rightarrow \mathbf{E}(0,0,0) = -E_z\hat{\mathbf{z}} = -\frac{\sigma}{4\varepsilon_0}\hat{\mathbf{z}}$ (2 points)

(c)

$$V=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_V\frac{\rho}{r}dV=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_S\frac{\sigma}{r}ds$$

$V(0,0,R):\quad ds=2\pi R\sin\theta Rd\theta=2\pi R^2\sin\theta d\theta \qquad r=\sqrt{R^2+R^2-2R^2\cos\theta}=\sqrt{2R^2(1-\cos\theta)}\Rightarrow$

$$V(0,0,R)=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_0^{\pi/2}\frac{\sigma}{\sqrt{2R^2(1-\cos\theta)}}2\pi R^2\sin\theta d\theta=\frac{\sigma R}{2\sqrt{2}\varepsilon_0}\int_0^{\pi/2}\frac{\sin\theta}{\sqrt{(1-\cos\theta)}}d\theta=\frac{\sigma R}{2\sqrt{2}\varepsilon_0}\left[2\sqrt{1-\cos\theta}\right]_0^{\pi/2}=\frac{\sigma R}{\sqrt{2}\varepsilon_0}$$

$V(0,0,0):\quad ds=2\pi R\sin\theta Rd\theta=2\pi R^2\sin\theta d\theta \qquad r=R$

$$V(0,0,0)=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_0^{\pi/2}\frac{\sigma}{R}2\pi R^2\sin\theta d\theta=\frac{\sigma R}{2\varepsilon_0}\int_0^{\pi/2}\sin\theta d\theta=\frac{\sigma R}{2\varepsilon_0}$$

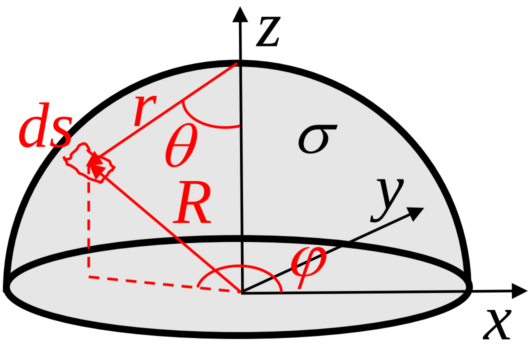
$$\Rightarrow \Delta V=V(0,0,R)-V(0,0,0)=\frac{\sigma R}{\varepsilon_0}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}-\frac{1}{2}\right)=\frac{\sigma R}{2\varepsilon_0}\left(\sqrt{2}-1\right)$$ (2 points)

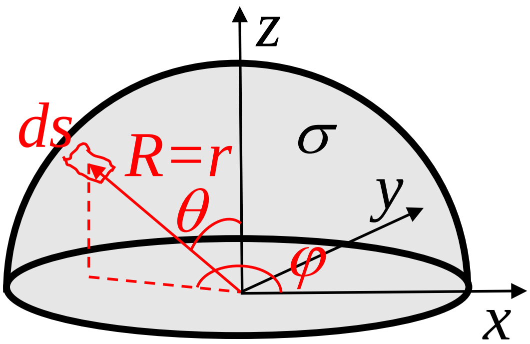
(d)

$$W=q\Delta V=q\left(V(0,0,R)-V(0,0,\infty)\right)$$

$$V(0,0,\infty)=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_V\frac{\rho}{r}dV=0\Rightarrow$$

$$W=qV(0,0,R)=\frac{q\sigma R}{\sqrt{2}\varepsilon_0}$$ (1 point)

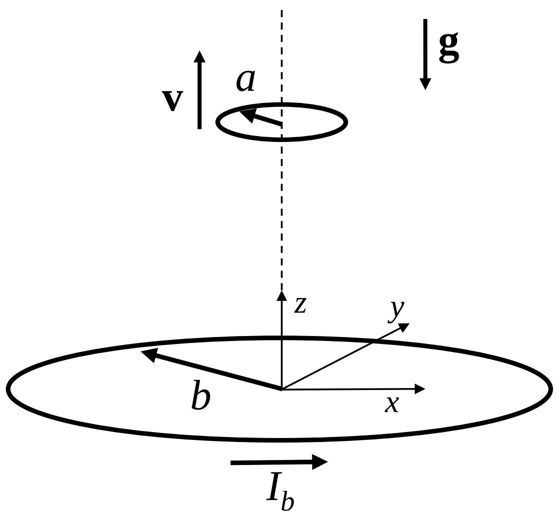




Problème 3 [6 points]

Considérer deux spires conductrices circulaires coaxiales contenues dans deux plans parallèles, perpendiculaires à l'axe z. La grande spire de rayon b est immobile, a son centre à (0,0,0), et est parcourue par un courant indépendant du temps I_b.
La petite spire de rayon $a \ll b$, résistance R, inductance négligeable, et masse M est maintenu en mouvement à une vitesse constante $\mathbf{v} = v\hat{\mathbf{z}}$ par un agent extérieur.
Déterminez:
(a) le courant I_a dans la petite spire en fonction de la position z de la petite spire.
(b) la force $\mathbf{F}$ appliquée par l'agent extérieur pour déplacer la petite spire à vitesse constant $\mathbf{v} = v\hat{\mathbf{z}}$ en fonction de la position z de la petite spire. Ne pas ignorer la force de gravité agissant sur la petite spire.

Indication: puisque $a \ll b$, on peut supposer que pour un z donné le champ magnétique $\mathbf{B}$ générée par la grande spire dans la surface de la petite spire est uniforme et égale a $\mathbf{B}(0,0,z)$.



Solution :

(a) Pour calculer le champ $\mathbf{B}$(0,0,z) produit par la grande spire, on utilise la loi de Biot-Savart:

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\mathbf{J}\times\hat{\mathbf{r}}}{r^2}dV = \frac{\mu_0 I_b}{4\pi}\frac{\hat{\mathbf{t}}\times\hat{\mathbf{r}}}{r^2}dl$$ (0.5 points)

mais $\left\|\hat{\mathbf{t}}\times\hat{\mathbf{r}}\right\| = 1 \Rightarrow \left\|d\mathbf{B}\right\| = dB = \frac{\mu_0 I_b}{4\pi}\frac{dl}{r^2} = \frac{\mu_0 I_b}{4\pi}\frac{dl}{\left(x^2+b^2\right)^2}$

Par symétrie, la seule composante non nulle de $\mathbf{B}(0,0,z) = B_z\hat{\mathbf{z}}$ **:**

$$dB_z = dB\sin\theta = \frac{\mu_0 I_b}{4\pi}\frac{dl}{\left(z^2+b^2\right)^2}\frac{b}{\left(z^2+b^2\right)^{1/2}} = \frac{\mu_0 I_b}{4\pi}\frac{b}{\left(z^2+b^2\right)^{3/2}}dl$$

$$\Rightarrow \mathbf{B}(0,0,z) = B_z\left(0,0,z\right)\hat{\mathbf{z}} = \int_0^{2\pi b}\frac{\mu_0 I_b}{4\pi}\frac{b}{\left(z^2+b^2\right)^{3/2}}dl\hat{\mathbf{z}} = \frac{\mu_0 I_b}{4\pi}\frac{b}{\left(z^2+b\right)^{3/2}}\int_0^{2\pi b}dl\hat{\mathbf{z}} = \frac{\mu_0 I_b}{2}\frac{b^2}{\left(z^2+b\right)^{3/2}}\hat{\mathbf{z}} \Rightarrow$$

$$\mathbf{B}(0,0,z) = \frac{\mu_0 I_b b^2}{2\left(b^2+z^2\right)^{3/2}}\hat{\mathbf{z}}$$ (0.5 points)

La force électromotrice est :

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt}\int_{S(t)}\mathbf{B}\cdot d\mathbf{s}$$

mais pour $a \ll b$, $\mathbf{B} \cong B_z(0,0,z)\hat{\mathbf{z}} \Rightarrow$

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt}\int_{S(t)}\mathbf{B}\cdot d\mathbf{s} = -\frac{d}{dt}\int_{S(t)}Bds = \pi a^2\frac{d}{dt}B = \pi a^2\frac{d}{dt}\frac{\mu_0 I_b b^2}{2\left(b^2+z(t)^2\right)^{3/2}} = \frac{3\pi a^2\mu_0 I_b b^2}{2}\frac{z}{\left(b^2+z(t)^2\right)^{5/2}}v$$

Le courant dans la petite spire est :

$$I_a = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{3\pi a^2\mu_0 I_b b^2}{2R}\frac{z}{\left(b^2+z^2\right)^{5/2}}v$$ (2 points)

(b)

Par conservation de l'énergie, la puissance fournie par l'agent extérieur pour maintenir la boucle à une vitesse constante **v** est convertie en puissance dissipée dans la petite boucle par effet Joule ($P_J = RI^2$) et en énergie potentielle gravitationnelle ($\Delta E_g = Mg\Delta z \Rightarrow P_g = \Delta E_g / \Delta t = \Delta E_g / (\Delta z / v) = Mgv$)

$$\mathbf{F}\cdot\mathbf{v} = P_J + P_g \Rightarrow Fv = RI_a^2 + Mgv \Rightarrow$$

$$F = \frac{RI_a^2}{v} + Mg = \frac{R}{v}\left(\frac{3\pi a^2\mu_0 I_b b^2}{2R}\frac{z}{\left(b^2+z^2\right)^{5/2}}v\right)^2 + Mg = \frac{v}{R}\left(\frac{3\pi a^2\mu_0 I_b b^2}{2}\frac{z}{\left(b^2+z^2\right)^{5/2}}\right)^2 + Mg \Rightarrow$$

$$\mathbf{F} = \frac{v}{R}\left(\frac{3\pi a^2\mu_0 I_b b^2}{2}\right)^2 \frac{z^2}{\left(b^2+z^2\right)^5}\hat{\mathbf{z}} + Mg\hat{\mathbf{z}} \qquad (3 \text{ points})$$

Autre solution :

$$\mathbf{F}_m = m_k \nabla B_k = m_z \nabla B_z = \pi a^2 I_a \frac{\partial}{\partial z} B = -\pi a^2 \frac{3\pi a^2\mu_0 I_b b^2}{2R}\frac{z}{\left(b^2+z^2\right)^{5/2}} v \frac{\mu_0 I_b b^2}{2}\frac{3z}{\left(b^2+z^2\right)^{5/2}}$$

$$\Rightarrow \mathbf{F}_m = \frac{v}{R}\left(\frac{3\pi a^2\mu_0 I_b b^2}{2}\right)^2 \frac{z^2}{\left(b^2+z^2\right)^5}\hat{\mathbf{z}} \Rightarrow \mathbf{F} = \mathbf{F}_m + \mathbf{F}_m = \frac{v}{R}\left(\frac{3\pi a^2\mu_0 I_b b^2}{2}\right)^2 \frac{z^2}{\left(b^2+z^2\right)^5}\hat{\mathbf{z}} + Mg\hat{\mathbf{z}}$$

Autre solution :

En coordonnes cylindriques :

$$\mathbf{B}(r,z,\varphi) = B_r(r,z,\varphi)\hat{\mathbf{r}} + B_z(r,z,\varphi)\hat{\mathbf{z}} + 0\hat{\boldsymbol{\varphi}} \quad \text{et} \quad \mathbf{v}_e \cong v\hat{\mathbf{z}}$$

Pour $r < a << b : B_z(r,z,\varphi) \cong B_z(0,z,\varphi)$

$$\varepsilon = \oint_{C(t)} (\mathbf{v}_e \times \mathbf{B})\cdot d\mathbf{l} \cong \oint_{C(t)} (\mathbf{v}\times\mathbf{B})\cdot a\,d\varphi\hat{\boldsymbol{\varphi}} = vB_r(a,z)2\pi a$$

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt}\int_{S(t)} \mathbf{B}\cdot d\mathbf{s} \cong \pi a^2 \frac{d}{dt}B_z(0,z) \Rightarrow$$

$$vB_r(a,z)2\pi a = \pi a^2 \frac{d}{dt}B_z(0,z) \Rightarrow B_r(a,z) = \frac{1}{2v}a\frac{d}{dt}B_z(0,z) = \frac{1}{2v}a\frac{1}{\pi a^2}\frac{3\pi a^2\mu_0 I_b b^2}{2}\frac{z}{\left(b^2+z^2\right)^{5/2}}v \Rightarrow$$

$$B_r(a,z) = \frac{3\mu_0 I_b b^2 a}{4}\frac{z}{\left(b^2+z^2\right)^{5/2}}$$

$$d\mathbf{F}_m = I_a d\mathbf{l}\times\mathbf{B}$$

$$\mathbf{F}_m = \int_C I_a dl B_r(a,z)\hat{\mathbf{z}} + 0\hat{\mathbf{r}} + 0\hat{\boldsymbol{\varphi}} = 2\pi a I_a B_r(a,z)\hat{\mathbf{z}} = 2\pi a I_a \frac{3\mu_0 I_b b^2 a}{4}\frac{z}{\left(b^2+z^2\right)^{5/2}}\hat{\mathbf{z}}$$

$$\mathbf{F}_m = 2\pi a \frac{3\pi a^2\mu_0 I_b b^2}{2R}\frac{z}{\left(b^2+z^2\right)^{5/2}} v \frac{3\mu_0 I_b b^2 a}{4}\frac{z}{\left(b^2+z^2\right)^{5/2}}\hat{\mathbf{z}} = \frac{v}{R}\frac{9}{4}\pi^2 3a^4\mu_0{}^2 I_b{}^2 b^4 \frac{z^2}{\left(b^2+z^2\right)^5}\hat{\mathbf{z}} =$$

$$= \frac{v}{R}\left(\frac{3\pi a^2\mu_0 I_b b^2}{2}\right)^2 \frac{z^2}{\left(b^2+z^2\right)^5}\hat{\mathbf{z}}$$

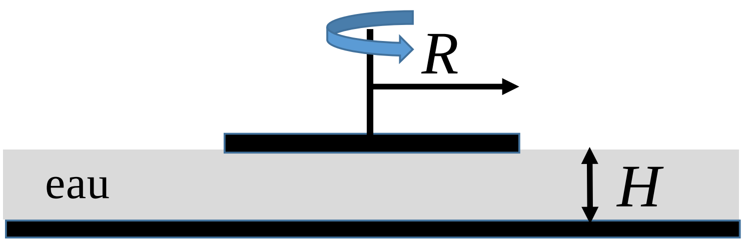
Questions [une seule réponse correcte par question, 1 point/question, 16 points]

ε_0	$\varepsilon_0 \cong 8.85\times10^{-12}$ F/m	
μ_0	$\mu_0 \cong 1.26\times10^{-6}$ H/m	
Vitesse de la lumière	$c \cong 3\times10^{8}$ m/s	(dans le vide)
Accélération de la pesanteur (gravité)	$g \cong 9.8$ m/s²	(à la surface de la Terre)
Pression atmospherique	$P_{atm} \cong 1.0\times10^{5}$ Pa	(pression atmosphérique "normale")
Masse de l'électron	$m_e \cong 9.11\times10^{-31}$ kg	
Charge de l'électron	$e \cong -1.6\times10^{-19}$ C	

Une balle de ping-pong a un diamètre d'environ 3.8 cm et une densité moyenne d'environ 0.084 g/cm³. Déterminez la force nécessaire pour maintenir la balle de ping-pong complètement immergée dans l'eau (la densité de l'eau est d'environ 1 g/cm³).

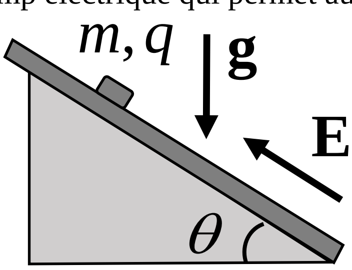
A. 0
B. 0.26 N
C. 0.28 N
D. 0.30 N
E. 0.4 N
F. 0.026 N
G. 0.028 N
H. 0.030 N

Un disque horizontal de rayon R tourne à une distance H au-dessus d'une surface solide. L'espace entre le disque et la surface solide est rempli d'eau (de viscosité η). Estimez le couple (en Nm) requis pour faire tourner le disque à une vitesse angulaire ω. Nous supposons un profil de vitesse linéaire entre le disque et la surface solide.



A. 0
B. $\pi\eta\omega R^3 / 2H^2$
C. $\eta\omega R^2 / 2$
D. $\pi\eta\omega R^2 / 4H$
E. $\eta\omega R^4 / H$
F. $2\pi\eta\omega R^3 / 3H$
G. $\pi\eta\omega R^4 / 2H$
H. $\eta\omega R^3 / 3H$

Un petit bloc de masse m et de charge q est placé sur un plan incliné, sans frottement et incliné d'un angle θ. Un champ électrique **E** est appliqué parallèlement à l'inclinaison. Déterminer la magnitude du champ électrique qui permet au bloc de rester au repos.



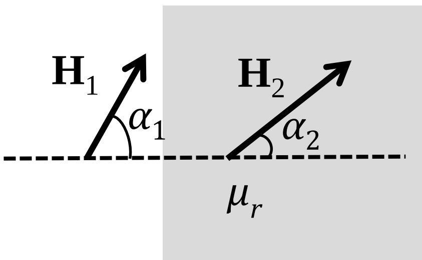
A. $mg\sin\theta / q$
B. $2mg\sin\theta / q$
C. $mg\cos\theta / q$
D. $mg / (q\cos\theta)$
E. mg / q
F. q / mg
G. mgq
H. $mg / (q\sin\theta)$

Un condensateur plan (i.e., à surfaces planes et parallèles) est rempli avec une feuille de mica de constante diélectrique ε_r à une capacité C_i et est initialement chargé à un potentiel V_i, puis isolé. Déterminer le travail W (en J) à fournir pour retirer la feuille de mica.

A. 0
B. $2C_iV_i^2(\varepsilon_r - 1)$
C. $C_iV_i(\varepsilon_r - 1)$
D. $(1/2)C_iV_i(\varepsilon_r - 1)$
E. $(1/2)C_iV_i^2\varepsilon_r$
F. $C_iV_i^2\varepsilon_r$
G. $C_iV_i^2(\varepsilon_r - 1)$
H. $(1/2)C_iV_i^2(\varepsilon_r - 1)$

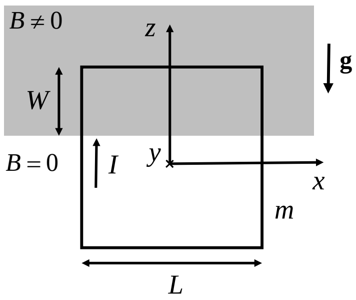
Une charge Q est placée à l'intérieur d'un objet isolant de constante diélectrique ε_r et sans autres charges libres. Le flux du champ **D** à travers la surface extérieure de l'objet est : (Attention: la question concerne le champ **D** et pas le champ **E**)	A. 0 B. Q C. Q/ε_0 D. $Q/\varepsilon_0\varepsilon_r$ E. Q/ε_r F. $Q/2\varepsilon_0$ G. Dépend des dimensions de l'objet. H. Dépend de la position de la charge Q.

Un électron se déplace dans un champ électrique uniforme **E** et un champ magnétique uniforme **B**, exprimé vectoriellement comme : $\mathbf{E} = (2.5\hat{\mathbf{x}} + 5\hat{\mathbf{y}})$ V/m $\quad \mathbf{B} = (0.4\hat{\mathbf{z}})$ T Déterminez l'accélération de l'électron lorsqu'il a une vitesse $\mathbf{v} = 10\hat{\mathbf{x}}$ m/s .	A. $(4.4\hat{\mathbf{x}} - 1.8\hat{\mathbf{y}}) \times 10^{11}\text{m/s}^2$ B. $(4.4\hat{\mathbf{x}} + 1.8\hat{\mathbf{y}}) \times 10^{11}\text{m/s}^2$ C. $(4.4\hat{\mathbf{x}} - 1.8\hat{\mathbf{z}}) \times 10^{11}\text{m/s}^2$ D. $(-4.4\hat{\mathbf{x}} + 1.8\hat{\mathbf{z}}) \times 10^{11}\text{m/s}^2$ E. $(-4.4\hat{\mathbf{x}} - 1.8\hat{\mathbf{z}}) \times 10^{11}\text{m/s}^2$ F. $(-4.4\hat{\mathbf{x}} + 1.8\hat{\mathbf{y}}) \times 10^{11}\text{m/s}^2$ G. $(-4.4\hat{\mathbf{x}} - 1.8\hat{\mathbf{y}}) \times 10^{11}\text{m/s}^2$

Considérez le champ magnétique **H** à l'interface entre le vide et un matériau de perméabilité magnétique relative μ_r . Dans le vide l'angle entre le champ **H**$_1$ et la normale à l'interface est α_1. Dans le matériau avec perméabilité magnétique relative μ_r l'angle entre le champ **H**$_2$ et la normale à l'interface est α_2. Déterminez l'angle α_2 à l'intérieur du matériau.  	A. 0 B. $\arctan(\mu_r \tan\alpha_1)$ C. $\arctan(\mu_0\mu_r \tan\alpha_1)$ D. $\arctan(2\mu_r \tan\alpha_1)$ E. $\arctan(\tan\alpha_1 / \mu_r)$ F. $\arctan(\mu_0 \tan\alpha_1 / \mu_r)$ G. $\arctan(\mu_0\alpha_1 / \mu_r)$ H. $\arctan(1/\mu_r)$ I. $\arctan(1/2\mu_r)$

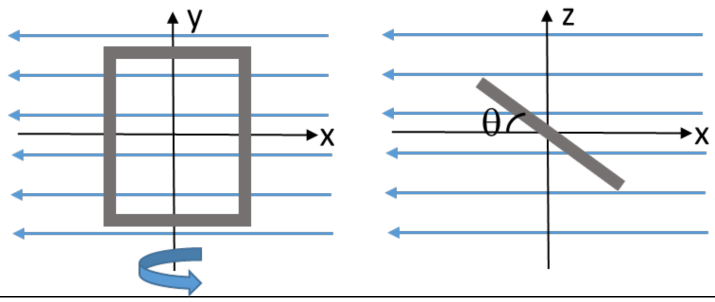
Une goutte sphérique d'eau ayant un diamètre de 1 cm est en «lévitation» dans un champ magnétique **B** vertical non uniforme ayant une valeur d'environ 2 T où la goutte est située. (Susceptibilité de l'eau $\chi \cong -10^{-5}$, densité de l'eau $\rho \cong 1000$ kg/m^3). Le gradient de **B** est approximativement donné par:	A. 61.6 T/m B. 616 T/m C. 6160 T/m D. 490 MT/m E. 490 T/m F. 4900 T/m G. 49 T/m H. 0

Une boucle conductrice carrée de masse m et de côté L est parcouru par un courant I. La partie superiore (d'hauteur W) se trouve dans champ magnétique **B** uniforme. La boucle est dans le plan xz et la gravité est le long de l'axe z. Déterminez le champ **B** qui est nécessaire pour maintenir la boucle en équilibre (c'est-à-dire en suspension).



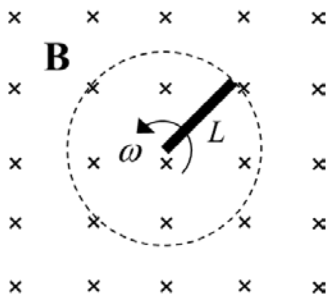
A. 0
B. $(mg / IL)\hat{\mathbf{x}}$
C. $(mg / IL)\hat{\mathbf{y}}$
D. $(mg / IL)\hat{\mathbf{z}}$
E. $(mg / IW)\hat{\mathbf{x}}$
F. $(mg / IW)\hat{\mathbf{y}}$
G. $(2mg / IW)\hat{\mathbf{x}}$
H. $(2mgW / I)\hat{\mathbf{y}}$
I. $(2mg / IL)\hat{\mathbf{y}}$

Une bobine conductrice tourne à vitesse angulaire constante autour de l'axe y dans un champ magnétique uniforme **B**=(B_x,0,0). La force électromotrice induite $\varepsilon(t)$ dans la bobine est :



A. $\varepsilon(t) = 0 \quad \forall t$
B. $\varepsilon(t) = 0$ pour $\theta(t) = 0°$
C. $\varepsilon(t) = 0$ pour $\theta(t) = 30°$
D. $\varepsilon(t) = 0$ pour $\theta(t) = 45°$
E. $\varepsilon(t) = 0$ pour $\theta(t) = 60°$
F. $\varepsilon(t) = 0$ pour $\theta(t) = 90°$
G. $\varepsilon(t) \neq 0 \quad \forall t$

Une barre de cuivre de longueur L tourne à vitesse angulaire ω constante dans un champ magnétique uniforme **B** perpendiculaire à son plan de rotation. Déterminer la force électromotrice induite entre les extrémités de la barre.

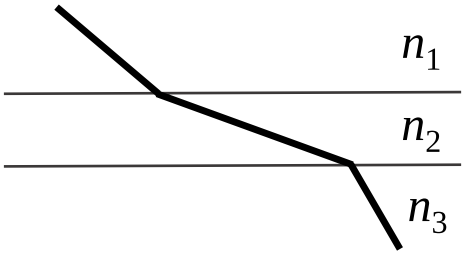


A. 0
B. $\pi L^2 B\omega$
C. $2\pi L^2 B\omega$
D. $B\omega L$
E. $B\omega L^2$
F. $(1/2)B\omega L^2$
G. $(1/2)B\omega L$
H. $2\pi LB\omega$
I. $4\pi LB\omega$

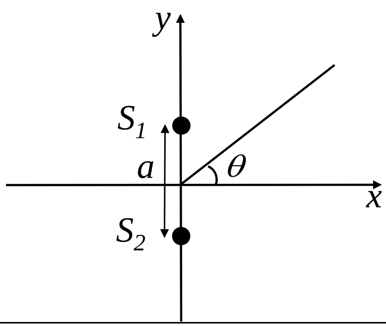
Une voiture avance vers un sonar de la police, qui émet a la fréquence f. La fréquence du signal réfléchi mesuré par la police est $(9/8)f$. La vitesse du son est 340 m/s. Déterminez la vitesse de la voiture.

A. 10 m/s
B. 20 m/s
C. 30 m/s
D. 37.8 m/s
E. 42.5 m/s
F. 89 m/s
G. 120 m/s
H. 302 m/s
I. 382 m/s

On diffracte la lumière d'un laser rouge au moyen d'un trou circulaire de diamètre D (cas 1) et d'un trou circulaire de diamètre $2D$ (cas 2), en gardant la même distance entre le trou et l'écran. La distance entre le centre et le premier minimum de la figure de diffraction sur l'écran est:	A. Plus grande pour le cas 1 que pour le cas 2. B. Plus petite pour le cas 1 que pour le cas 2. C. Les distances sont identiques.

Voici la trajectoire d'un rayon lumineux traversant trois milieux d'indices de réfraction différents n_1, n_2, n_3. La figure est à l'échelle. Que peut-on conclure ?  	A. $n_2 < n_1 < n_3$ B. $n_1 > n_2 > n_3$ C. $n_3 < n_1 < n_2$ D. $n_2 < n_3 < n_1$ E. $n_1 < n_3 < n_2$ F. $n_2 < n_1 = n_3$ G. $n_2 = n_1 = n_3$ H. $n_2 = n_1 < n_3$

Une lumière non polarisée ayant une intensité de 1 W/m^2 traverse, l'un après l'autre, trois polariseurs identiques orientés dans la même direction. Déterminez l'intensité de la lumière après le troisième polariseur.	A. 2 W/m^2 B. 1 W/m^2 C. 0.5 W/m^2 D. 0.33 W/m^2 E. 0.25 W/m^2 F. 0.125 W/ m^2 G. 0.75 W/ m^2 H. 0

Deux sources identiques d'ondes scalaires S_1 et S_2 de longueur d'onde $\lambda=2a/3$ sont placées en (0, a/2, 0) et en (0, -a/2, 0). Pour quels angles $\theta \in [-90°, +90°]$ observera-t-on une intensité nulle dans le plan xy ?  	A. $\pm 90°$ B. $\pm 41.8°$ C. $\pm 19.5°$; $\pm 90°$ D. $\pm 41.8°$; $\pm 90°$ E. $\pm 30°$; F. $\pm 45°$ G. $\pm 12.5°$ H. $\pm 39°$; $\pm 90°$ I. $0°$; ± 41.8