Olympiades Suisses de Physique

Tour final

Aarau, 29-30 mars 2014

Partie théorique 1 : Problèmes – 3 questions

Durée	:	150 minutes
Cotation	:	48 points (3·16)
Moyens autorisés	:	- Calculatrice sans base de données
		- Matériel pour écrire et dessiner

NB : Commencez chaque problème sur une nouvelle feuille

Bonne chance !

Supported by :
Alpiq Suisse SA
Staatssekretariat für Bildung und Forschung und Innovation
BASF (Basel)
Deutschschweizerische Physikkommission VSMP / DPK
Materials Science & Technology
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
ETH Zurich Department of Physics
Fondation Claude & Giuliana
Ernst Göhner Stiftung, Zug
Hasler Stiftung, Bern
Merck Serono S.A. (Genf)
Metrohm Striftung, Herisau
Neue Kantonsschule Aarau
Novartis International AG (Basel)
Quantum Science and Technology
F. Hoffmann-La Roche AG (Basel)
Schnelli Thermographie, Schaffhausen
Société Valaisanne de Physique
Swiss Academy of Engineering Sciences SATW
Swiss Academy of Sciences
Swiss Physical Society
Syngenta AG
Universität Bern FB Physik/Astronomie
Universität Zürich FB Physik Mathematik

Constantes fondamentales

Vitesse de la lumière dans le vide	c	=	$299\,792\,458\,\mathrm{m{\cdot}s^{-1}}$
Perméabilité du vide	μ_0	=	$4\pi \times 10^{-7}\,\mathrm{kg{\cdot}m{\cdot}A^{-2}{\cdot}s^{-2}}$
Permittivité du vide	ε_0	=	$8.854\,187\,817\ldots \times 10^{-12}\,\mathrm{A^2{\cdot}s^4{\cdot}kg^{-1}{\cdot}m^{-3}}$
Constante de Planck	h	=	$6.626\,069\,57 \times 10^{-34}\,\mathrm{kg{\cdot}m^2{\cdot}s^{-1}}$
Charge élémentaire	e	=	$1.602\,176\,565\,(35) \times 10^{-19}\,\mathrm{A{\cdot}s}$
Constante gravitationnelle	G	=	$6.673\,84\,(80) \times 10^{-11}\,\mathrm{m^3{\cdot}kg^{-1}{\cdot}s^{-2}}$
Accélération de la pesanteur	g	=	$9.81\,\mathrm{m{\cdot}s^{-2}}$
Nombre d'Avogadro	N_A	=	$6.022\,141\,29\,(27) \times 10^{23}\,\mathrm{mol^{-1}}$
Constante de Boltzmann	k_B	=	$1.380\,648\,8\,(13) \times 10^{-23}\,\mathrm{J{\cdot}K^{-1}}$
Constante de Stefan-Boltzmann	σ	=	$5.670\,373\,(21) \times 10^{-8}\,\mathrm{W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-4}}$
Masse de l'électron	m_e	=	$9.109\,382\,6\,(16) \times 10^{-31}\,\mathrm{kg}$
Masse du proton	m_p	=	$1.672\,621\,71\,(29) \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$
Masse du neutron	m_n	=	$1.674\,927\,28\,(29) \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$

Problème 1 : Encore plus froid *(16 points)*

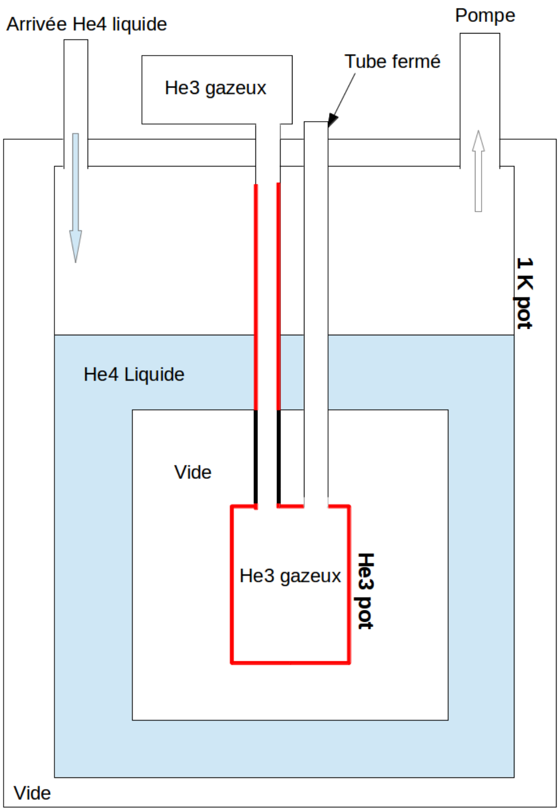


Fig. 1 – Frigo à hélium 3

On s'intéresse ici au fonctionnement basique d'un frigo dit à hélium 3, un outil qui permet d'atteindre des températures entre 0.2 K et 5 K. L'hélium 3 est un isotope de l'hélium 4, ses propriétés physiques différant quelque peu de celles de l'hélium 4. Le frigo devrait vous rappeler un problème des sélections régionales, il est constitué de deux systèmes séparés hermétiquement (voir figure 1). Le 1Kpot contient de l'hélium 4 dont la température de liquéfaction est d'environ 4.3 K à pression atmosphérique. Vous pouvez considérer qu'on peut réguler l'apport d'hélium liquide ainsi que la puissance de la pompe selon nos besoins au moyen de valves. Le He3pot contient de l'hélium 3 dont la température de liquéfaction est d'environ 3.2 K à pression atmosphérique. L'hélium 3 étant très cher (plusieurs milliers de CHF le litre de gaz), il est contenu dans un circuit fermé. Les parties du circuit qui sont à l'intérieur du 1Kpot (en rouge) sur le schéma sont en argent.

Partie A. Froid primaire (2 points)

Tout d'abord un rappel de la fonction du 1Kpot.

i. (2 pts) Que se passe-t-il quand on enclenche la pompe, au niveau du 1Kpot ? Quelle(s) conséquence(s) cela aura-t-il sur l'hélium 4 liquide contenu dans ce dernier ? Expliquez qualitativement, vous pouvez vous servir du schéma.

Partie B. Encore plus froid (4 points)

Supposez qu'on descende la température de l'hélium 4 dans le 1Kpot à 1.5 K

i. (1.5 pts) Que va-t-il se passer dans le He3pot ? Quelle température y fera-t-il ?

ii. (1.5 pts) Que doit-on ajouter au design pour refroidir le He3pot en dessous de 1 K ?

iii. (1 pt) Pourquoi le He3pot est-il entouré de vide ?

Partie C. Mesures (3 points)

Supposez que vous voulez effectuer des mesures de conductivité électrique sur un échantillon à basse température.

i. (1.5 pts) A quel endroit du frigo attacheriez-vous le porte-échantillon ? Dessinez-le sur le schéma et justifiez votre choix.

ii. (1.5 pts) Votre échantillon doit être connecté à vos appareils de mesures dans le laboratoire, comment éviter que la chaleur du laboratoire réchauffe votre échantillon ? (pensez à une solution pratique)

Partie D. Dans un champ magnétique (7 points)

On souhaite étudier les propriétés de conductivité électrique de notre échantillon sous l'influence d'un champ magnétique variable.

Durant l'expérience, on varie le champ magnétique de 0 à 11 T en 12 h. Peu importe où vous avez décidé de placer le porte-échantillon, nous allons considérer que ce dernier est un cylindre de rayon R et de longueur L. Le champ magnétique est parallèle à son axe (cf figure 2), uniforme sur toute la surface de ce dernier et on considère que la variation du champ magnétique est constante dans le temps.

i. (1.5 pts) Expliquez pourquoi des courants électriques vont se former à l'intérieur du porte-échantillon lorsque le champ magnétique varie dans le temps.

ii. (2 pts) La formule suivante vous donne la puissance thermique qui découle de la variation temporelle du champ magnétique $\dot{B}$ dans un volume V de résistivité ρ_{el}

$$P_{th} = \frac{R^2 \dot{B}^2 V}{8 \rho_{el}}$$

Supposez que votre frigo tombe en panne au début de l'expérience (lorsque $B = 0\,\mathrm{T}$ et la température est de 1 K) et que l'échantillon n'est donc plus refroidi. Calculez l'élevation de température de ce dernier (algébriquement en premier lieu).

Application numérique : $\rho = 9000\,\mathrm{kg/m^3}$, $R = 2\,\mathrm{cm}$, $l = 2\,\mathrm{mm}$, $\rho_{el} = 10^{-11}\,\Omega{\cdot}\mathrm{m}$ et $c = 10\,\mathrm{J/kgK}$

iii. (0.5 pts) Si on variait le champ magnétique en 1 heure au lieu de 12, quelle serait la température finale du porte-échantillon ?

iv. (1 pt) Pour une variation de température potentiellement grande, de quoi faudrait-il tenir compte dans votre modèle d'élévation de la température ?

v. (1 pt) Comment modifier le design du porte-échantillon pour réduire ces courants, appelés courants de Foucault, le plus possible ?

vi. (1 pt) Un bon conducteur thermique est souvent un bon conducteur électrique, expliquez quel dilemme cela pose pour le choix des matériaux qui composent le He3pot.

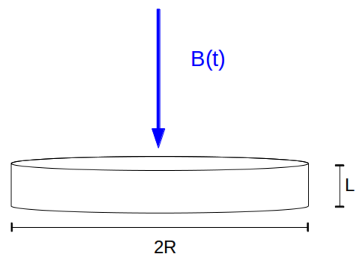


Fig. 2 – Schéma du porte-échantillon

Problème 2 : Une affaire de yoyo *(16 points)*

Les cinq parties de ce problème peuvent en principe être résolues séparément.

Partie A. Tour de chauffe (2 points)

Considérons deux cylindres possédant chacun le même rayon R et une masse identique m. La masse du cylindre 1 est principalement concentrée en son centre, alors que la masse du cylindre 2 est essentiellement distribuée sur sa circonférence. On pose chaque cylindre au sommet d'un plan incliné, puis on les lâche au même instant, les laissant rouler (sans glisser) jusqu'au fond de la pente.

i. (2 pts) Quel cylindre (1 ou 2) atteindra le fond du plan incliné en premier ? Justifiez votre réponse par un calcul.

Partie B. Moment d'inertie d'un yoyo (2 points)

Dans la suite de ce problème, on travaille avec un modèle de yoyo représenté sur la figure 3 : il est composé d'un cylindre central de rayon r et d'épaisseur l, ainsi que de deux cylindres extérieurs identiques centrés sur le cylindre du milieu, chacun ayant un rayon R et une épaisseur L. Les trois cylindres sont homogènes et composés du même matériau de densité ρ.

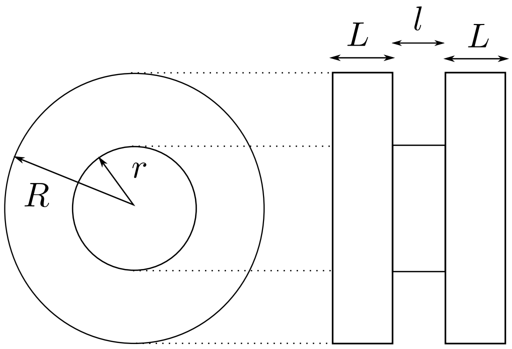


Fig. 3 – Modèle de yoyo

On souhaite écrire le moment d'inertie total du yoyo sous la forme $I = \gamma m R^2$, avec R le rayon d'un cylindre extérieur et m la masse totale (inconnue) du yoyo.

i. (2 pts) Exprimez la constante γ en fonction de R, r, L et l.

Indication : le moment d'inertie d'un cylindre de masse m et de rayon r autour de son axe est donné par $\frac{1}{2}mr^2$.

Partie C. Yoyo sur une table (4 points)

Le yoyo décrit précédemment (Fig. 3) se trouve à présent sur une surface horizontale, au repos. Une ficelle de masse et de diamètre négligeables est enroulée autour du cylindre central. Dans cette partie, on considère des roulements sans glissement.

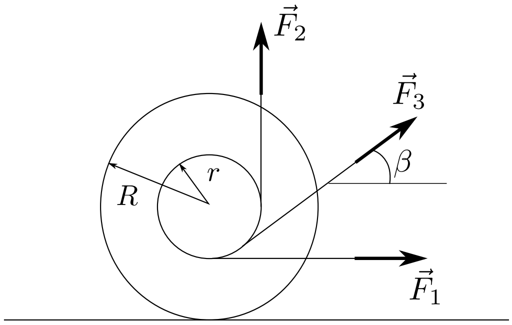


Fig. 4 – Yoyo posé sur une surface horizontale

i. (1 pt) On tire sur la ficelle avec une force $\vec{F}_1$ parallèle au sol, vers la droite (cf Fig. 4). Dans quel sens se déplace le yoyo ? Même question si on tire sur la ficelle avec une force $\vec{F}_2$ dirigée vers le haut. Justifiez vos réponses.

Indication : considérez l'instant initial de la rotation.

ii. (2 pts) Il existe un angle particulier β (angle entre la force et le sol) tel que si l'on tire sur la ficelle selon un angle plus grand ou plus petit, le yoyo se déplace dans un sens ou dans l'autre. Déterminez cet angle β en fonction des paramètres du yoyo.

iii. (1 pt) Que devient cet angle β dans les limites $r \to R$ et $r \to 0$? Expliquez ce qui se passe dans chaque situation.

Partie D. Yoyo sur plan incliné (4 points)

Cette fois-ci, notre yoyo décrit par la figure 3 est posé sur un plan incliné d'un angle θ par rapport à l'horizontale. Lorsqu'on le lâche, le yoyo se met à descendre le long de la pente. Il existe un angle critique θ_c tel que si $\theta < \theta_c$, le yoyo roule sans glisser, alors que dans le cas où $\theta > \theta_c$, on observe un roulement avec glissement.

On supposera les coefficients de frottement statique et cinétique identiques : $\mu_s = \mu_c = \mu$, et on prendra $I = \gamma m R^2$ comme moment d'inertie du yoyo, γ (une constante), m (la masse du yoyo) et R (le rayon extérieur) étant connus.

i. (0.5 pts) Faites un schéma du yoyo et de toutes les forces s'appliquant sur lui.

ii. (1.2 pts) Donnez l'expression de l'accélération linéaire du yoyo dans le régime $\theta < \theta_c$ (roulement sans glissement) en fonction de $\theta, R, m, \gamma, \mu$.

iii. (1.2 pts) Même question pour le régime $\theta > \theta_c$ (roulement avec glissement).

iv. (1.1 pts) Concluez en donnant une expression pour l'angle critique θ_c.

Partie E. Mouvement vertical d'un yoyo (4 points)

Dans cette partie, la ficelle – de longueur totale $l \gg r$ – est à nouveau enroulée autour du cylindre central de rayon r. Le yoyo est initialement immobile et suspendu au plafond comme sur la figure 5. Au temps $t_0 = 0$, on lâche le yoyo à partir de la position $x(t_0) = 0$. Notez que la ficelle reste verticale durant la chute du yoyo.

i. (2 pts) Déterminez la trajectoire $x(t)$ du yoyo.

ii. (2 pts) Déterminez les vitesses $v_{\max}$ et $\omega_{\max}$ (vitesse angulaire) atteintes par le yoyo.

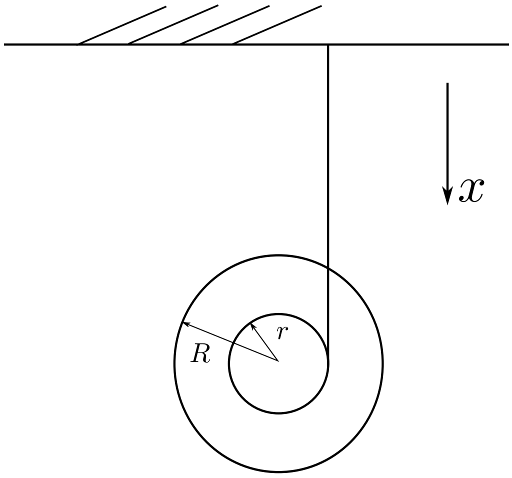


Fig. 5 – Mouvement vertical du yoyo

Problème 3 : Vecteur de Poynting *(16 points)*

Repris des sélections nationales US

Dans ce problème, nous considérons trois situations qui impliquent un transfert d'énergie vers une région de l'espace par des champs électromagnétiques. Dans le premier cas, cette énergie est stockée comme l'énergie mécanique d'un objet chargé. Dans les deux autres cas, l'énergie est stockée dans un champ électrique ou magnétique.

En règle générale, quand un champ électrique et un champ magnétique forment un angle entre eux, de l'énergie est transférée. Par exemple, c'est la raison pour laquelle une onde électromagnétique transporte de l'énergie. La puissance transférée par unité de surface est donnée par le vecteur de Poynting

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0}\vec{E} \times \vec{B}.$$

Dans chaque partie de ce problème, la dernière question vous demande de vérifier que le taux de transfert d'énergie par unité de surface est en accord avec la formule du vecteur de Poynting. Vous ne devez donc pas utiliser cette formule avant la dernière question de chaque partie.

Partie A. Barre chargée (5 points)

Une longue barre cylindrique isolante de rayon R porte une densité de charge électrique volumique uniforme positive ρ. La barre est placée dans un champ électrique externe uniforme E avec son axe parallèle au champ. Elle se déplace dans la direction du champ à la vitesse v.

i. (2 pts) Quelle est la puissance par unité de longueur $\mathcal{P}$ transmise à la barre par le champ électrique ?

ii. (1 pt) Donnez l'intensité du champ magnétique B à la surface de la barre et dessinez un diagramme qui indique sa direction.

iii. (2 pts) Calculez le vecteur de Poynting, indiquez sa direction sur un diagramme, et vérifiez qu'il soit en accord avec le taux de transfert d'énergie.

Partie B. Condensateur (6 points)

Un condensateur à plaques parallèles est formé de deux disques de rayon R séparés d'une distance $d \ll R$. Le condensateur porte à un moment donné une charge Q et est alimenté par un petit courant constant I.

i. (2 pts) Quelle est la puissance P délivrée au condensateur ?

ii. (2 pts) Quel champ magnétique B règne immédiatement au bord du condensateur ? Dessinez sa direction sur un diagramme. (Ignorez les effets de bord sur le champ électrique dans ce calcul)

iii. (2 pts) Calculez le vecteur de Poynting, indiquez sa direction sur un diagramme, et vérifiez qu'il soit en accord avec le taux de transfert d'énergie.

Partie C. Solénoïde (5 points)

On considère un long solénoïde de rayon R et $\mathcal{N}$ spires par unité de longueur. Un courant I parcourt le solénoïde et est progressivement augmenté à un faible taux constant $\frac{dI}{dt}$.

i. (2 pts) Quelle est la puissance par unité de longueur $\mathcal{P}$ transmise au solénoïde ?

ii. (2 pts) Quel est le champ électrique E juste à la surface intérieure du solénoïde ? Indiquez sa direction sur un diagramme.

iii. (1 pt) Calculez le vecteur de Poynting, indiquez sa direction sur un diagramme, et vérifiez qu'il soit en accord avec le taux de transfert d'énergie.

Olympiades Suisses de Physique

Tour final

Aarau, 29-30 mars 2014

Partie théorique 2 : 6 questions courtes

Durée	:	60 minutes
Cotation	:	24 points (6·4)
Moyens autorisés	:	- Calculatrice sans base de données
		- Matériel pour écrire et dessiner

NB : Commencez chaque problème sur une nouvelle feuille

Bonne chance !

Supported by :
Alpiq Suisse SA
Staatssekretariat für Bildung und Forschung und Innovation
BASF (Basel)
Deutschschweizerische Physikkommission VSMP / DPK
Materials Science & Technology
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
ETH Zurich Department of Physics
Fondation Claude & Giuliana
Ernst Göhner Stiftung, Zug
Hasler Stiftung, Bern
Merck Serono S.A. (Genf)
Metrohm Striftung, Herisau
Neue Kantonsschule Aarau
Novartis International AG (Basel)
Quantum Science and Technology
F. Hoffmann-La Roche AG (Basel)
Schnelli Thermographie, Schaffhausen
Société Valaisanne de Physique
Swiss Academy of Engineering Sciences SATW
Swiss Academy of Sciences
Swiss Physical Society
Syngenta AG
Universität Bern FB Physik/Astronomie
Universität Zürich FB Physik Mathematik

Constantes fondamentales

Vitesse de la lumière dans le vide	c	=	$299\,792\,458\,\mathrm{m{\cdot}s^{-1}}$
Perméabilité du vide	μ_0	=	$4\pi \times 10^{-7}\,\mathrm{kg{\cdot}m{\cdot}A^{-2}{\cdot}s^{-2}}$
Permittivité du vide	ε_0	=	$8.854\,187\,817\ldots \times 10^{-12}\,\mathrm{A^2{\cdot}s^4{\cdot}kg^{-1}{\cdot}m^{-3}}$
Constante de Planck	h	=	$6.626\,069\,57 \times 10^{-34}\,\mathrm{kg{\cdot}m^2{\cdot}s^{-1}}$
Charge élémentaire	e	=	$1.602\,176\,565\,(35) \times 10^{-19}\,\mathrm{A{\cdot}s}$
Constante gravitationnelle	G	=	$6.673\,84\,(80) \times 10^{-11}\,\mathrm{m^3{\cdot}kg^{-1}{\cdot}s^{-2}}$
Accélération de la pesanteur	g	=	$9.81\,\mathrm{m{\cdot}s^{-2}}$
Nombre d'Avogadro	N_A	=	$6.022\,141\,29\,(27) \times 10^{23}\,\mathrm{mol^{-1}}$
Constante de Boltzmann	k_B	=	$1.380\,648\,8\,(13) \times 10^{-23}\,\mathrm{J{\cdot}K^{-1}}$
Constante de Stefan-Boltzmann	σ	=	$5.670\,373\,(21) \times 10^{-8}\,\mathrm{W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-4}}$
Masse de l'électron	m_e	=	$9.109\,382\,6\,(16) \times 10^{-31}\,\mathrm{kg}$
Masse du proton	m_p	=	$1.672\,621\,71\,(29) \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$
Masse du neutron	m_n	=	$1.674\,927\,28\,(29) \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$

Problème 1 : Satellite espion *(4 points)*

Un satellite espion passe à 300 km au-dessus d'Aarau. En gros, il s'agit d'un téléscope spatial avec un miroir de 2.4 m de diamètre pointé vers le bas. Pour simplifier le problème, on supposera qu'il voit la vie en jaune, plus particulièrement un jaune-vert de 570 nm de longueur d'onde.

i. (2 pts) Si l'examen avait lieu sur le toit de la NKSA, est-ce que l'opérateur du satellite pourrait vous aider à tricher ? Justifiez votre réponse.

ii. (1 pt) Quelles devraient être les dimensions du miroir du satellite pour qu'il puisse le faire ? Est-ce réaliste ?

iii. (1 pt) Si l'opérateur du satellite décide maintenant d'utiliser un drone équipé d'un système optique avec une lentille de 24 cm de diamètre, à quelle altitude le drone devrait-il voler pour pouvoir vous aider à tricher ?

Problème 2 : Zéro Absolu *(4 points)*

On vous donne un manomètre (appareil servant à mesurer la pression), un thermomètre gradué en degrés Celsius, un corps de chauffe et une boîte hermétique sur laquelle on peut fixer ces trois objets. A l'aide de cette liste proposez une expérience pour déterminer le zéro absolu de la température.

i. (1.5 pts) Faites un schéma de l'expérience en indiquant les légendes et les éventuels compléments à la liste du matériel.

ii. (2 pts) Enoncez la loi physique sur laquelle vous vous basez pour déterminer le zéro absolu de la température en expliquant vos hypothèses.

iii. (0.5 pts) Décrivez la procédure type de votre expérience. Comment obtenir un resultat le plus précis possible ?

Problème 3 : Potentiel gaussien *(4 points)*

Un scientifique observe une particule de masse m connue qui peut se déplacer le long d'une unique dimension et qui est soumise au potentiel Gaussien

$$V(x) = -V_0 \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{2d^2}\right).$$

Notez que V_0 représente la profondeur du puits de potentiel et d sa largeur. Ces deux grandeurs sont malheureusement inconnues, mais avec votre aide, notre scientifique pourra les mesurer.

i. (0.5 pts) Si la particule se situe initialement au minimum du potentiel, quelle vitesse minimale v_{min} le scientifique doit-il lui imprimer pour qu'elle puisse s'échapper du puits de potentiel ?

Avec cette relation, le scientifique peut déterminer expérimentalement la profondeur V_0 du puits de potentiel.

ii. (3.5 pts) Proposez maintenant une méthode pour trouver la largeur d à l'aide d'un chronomètre. Donnez l'observable qu'il faut mesurer puis exprimez algébriquement la valeur de d en fonction de cette observable. N'oubliez pas de décrire sous quelles conditions il faudra effectuer les mesures.

Problème 4 : Cylindre troué *(4 points)*

Soit un cylindre de hauteur H et de diamètre $2R$, placé dans une pièce où règnent la pression atmosphérique P_{atm} ainsi que l'accélération terrestre $\mathbf{g}$. Le cylindre est rempli à raz-bord par un liquide parfait, incompressible et de masse volumique ρ.

i. (0.5 pts) Déterminez la pression **absolue** P_b régnant au fond du cylindre (point B).

A l'instant t_0, on perce un trou de diamètre $2r$ dans le fond du cylindre. Pour simplifier le problème, on suppose que $r \ll R$.

ii. (1.5 pts) Pour un temps $t > t_0$, exprimez la vitesse de la surface du liquide dans le cylindre (v_a) en fonction de la vitesse du liquide passant au travers du trou (v_b).

iii. (2 pts) En tenant bien compte des hypothèses de l'énoncé, exprimez la vitesse du liquide à la sortie du trou v_b en fonction de la hauteur h de liquide dans le cylindre.

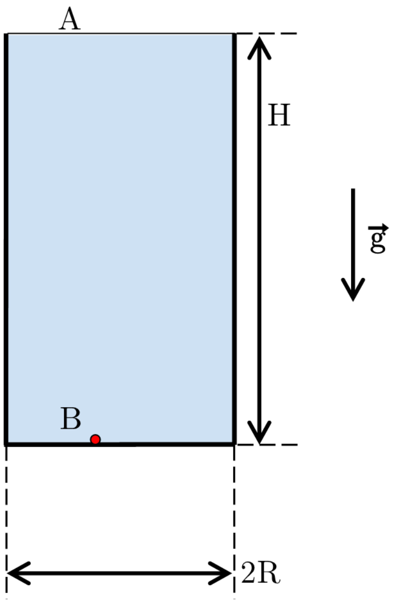


Fig. 1: Schéma pour la question i.

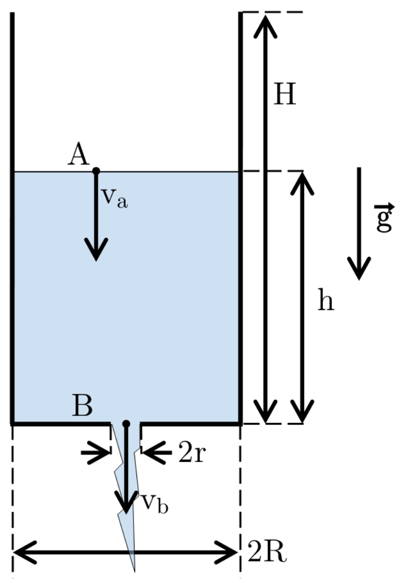
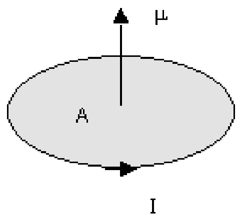


Fig. 2: Schéma pour les questions ii. à iv.

Problème 5 : James Bond *(4 points)*

Ne donnez les valeurs numériques qu'à la fin. La majorité des points est attribuée pour la solution algébrique.

Dans le film *Vivre et laisser mourir*, James Bond reçoit de Q une montre magnétique. Elle devrait être en mesure de dévier la trajectoire d'une balle et ainsi de potentiellement sauver la vie de son utilisateur. Bond veut en faire la démonstration à M, qui est plutôt sceptique, et enclenche la montre dans son bureau. M est en train de boire un café, et la cuillère posée sur sa sous-tasse vole subitement vers la montre. Est-ce bien réaliste ?



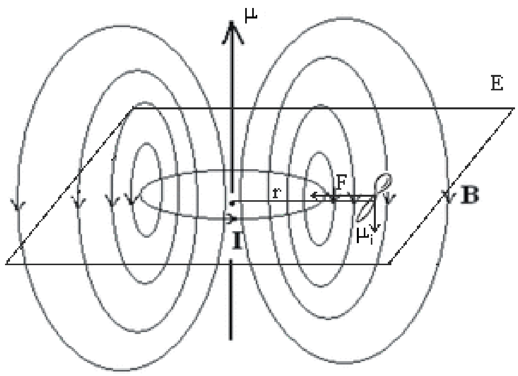
Une boucle de courant engendre un dipôle magnétique de moment $\vec{\mu} = i\vec{A}$ [Am^2].

Le mécanisme de la montre est remplacé par une bobine de $N = 1800$ boucles d'un fil de cuivre fin et de diamètre $d = 3\,\mathrm{cm}$, qui engendre le champ magnétique de la montre.

i. (0.5 pts) Calculez le moment magnétique μ_{Uhr} de la montre en fonction du courant I passant dans la bobine.

Si un object se trouve dans un champ magnétique, un moment magnétique $\vec{\mu}_i$ sera induit en lui. De plus, lorsqu'un moment magnétique est soumis à un champ magnétique, il subit une certaine force $\vec{F}$.

Les lois physiques suivantes décrivent ce phénomène pour le cas spécial d'un objet qui se trouve dans un plan perpendiculaire au moment magnétique $\vec{\mu}$ à une grande distance r de ce dernier.



- Champ magnétique d'un dipôle magnétique:
$$\vec{B} = -\frac{\mu_0 \vec{\mu}}{4\pi r^3}$$
- Moment magnétique induit:
$$\vec{\mu}_i = \frac{(\mu_r - 1)}{\mu_r} \frac{V\vec{B}}{\mu_0}$$
- Force qui agit sur un moment magnétique $\vec{\mu}_i$ plongé dans un champ magnétique:
$$\vec{F} = -\frac{d}{dr}(-\vec{\mu}_i \cdot \vec{B})\vec{e_r}$$

Ici V représente le volume de l'objet dans lequel un moment magnétique est induit, et μ_r sa perméabilité magnétique.

ii. (3.5 pts) Calculez le courant I nécessaire pour pouvoir déplacer la cuillère (celui pour lequel la force magnétique induite dépasse le poids de la cuillére). Pour renforcer le champ magnétique, un noyau de métal amorphe est inséré dans la bobine, qui amplifie le champ magnétique d'un facteur $\mu_a = 5 \times 10^5$. La cuillère possède une masse volumique $\rho = 7.5\,\text{g/cm}^3$ et une perméabilité $\mu_C = 5 \times 10^3$, et se trouve à une distance $r = 1.1\,\text{m}$ de la cuillère.

Problème 6 : Pont de Nernst *(4 points)*

La figure 3 illuste un circuit électrique appelé *pont de Nernst.* Il est branché à une source de tension alternative $U_{\text{eff}} = 10\,\text{V}$.

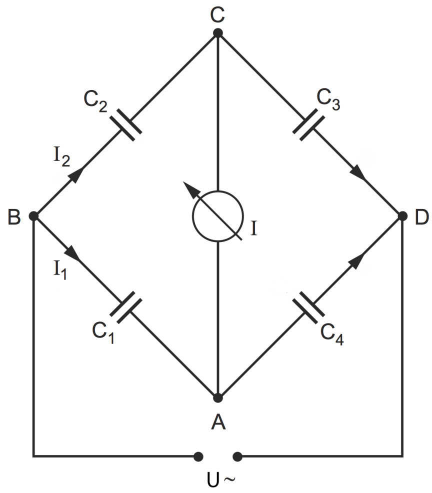


Fig. 3: Pont de Nernst

i. (3.5 pts) En supposant que $I = 0$ et que les capacités C_1, C_2 et C_3 sont connues, trouvez une formule qui permette de calculer C_4.
Indication: Calculez $\frac{I_1}{I_2}$
ii. (0.5 pts) Calculez C_4 pour $C_1 = 15\,\mu\text{F}$, $C_2 = 5\,\mu\text{F}$, $C_3 = 3\,\mu\text{F}$.