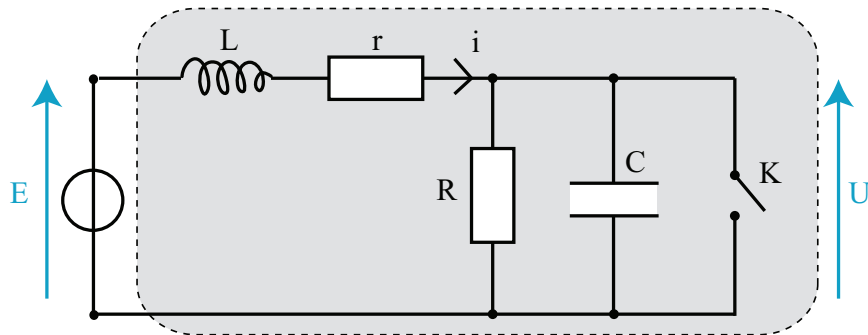


Exercices d'oraux

ÉLECTRODYNAMIQUE ET SIGNAUX NUMÉRIQUES

1 Réponse d'un circuit du second ordre

On considère le circuit du second ordre suivant. À $t = 0$, on ouvre l'interrupteur.



- Déterminer l'équation différentielle vérifiée par $u(t)$ pour $t > 0$ et la mettre sous la forme :

$$\ddot{u} + 2\lambda\dot{u} + \omega_0^2 u = \frac{E}{LC}$$

On précisera l'expression de λ et ω_0 .

- Résoudre l'équation différentielle précédente dans le cas où $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \lambda^2} \in \mathbb{R}$ et donner l'expression de $u(t)$ en faisant intervenir deux constantes A et B qu'on ne cherchera pas à calculer pour l'instant.
- On suppose que pour $t < 0$, le régime permanent est établi. En déduire les expressions de $u(t = 0^+)$, $i(t = 0^+)$ et de $\dot{u}(t = 0^+)$.
- En déduire les expressions de A et B puis celle de $u(t)$

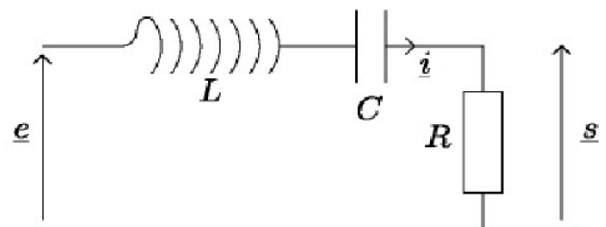
Réponses : 1. $\lambda = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{RC} + \frac{r}{L} \right)$ et $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} \left(1 + \frac{r}{R} \right)}$. 3. $A = -E \frac{R}{r+R}$ et $B = \frac{E}{\omega} \left[\frac{1}{rC} - \frac{R}{2(r+R)} \left(\frac{1}{RC} + \frac{r}{L} \right) \right]$.

2 Filtre RLC

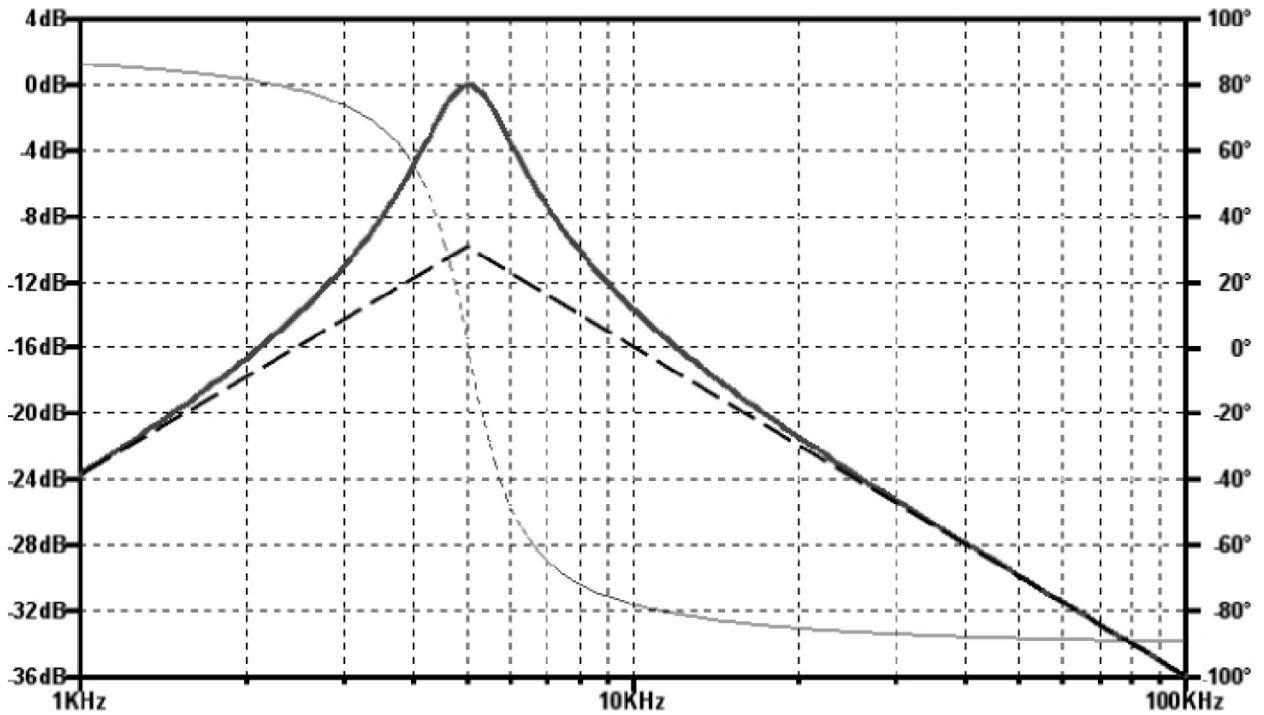
1) Calculer la fonction de transfert du filtre ci-dessous :

La mettre sous la forme canonique habituelle

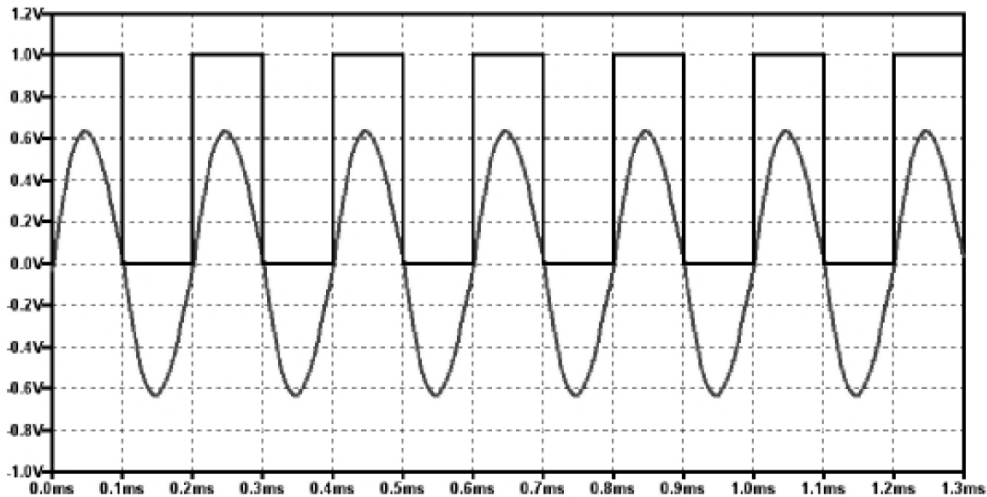
$$\underline{H} = \frac{H_0}{1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}$$



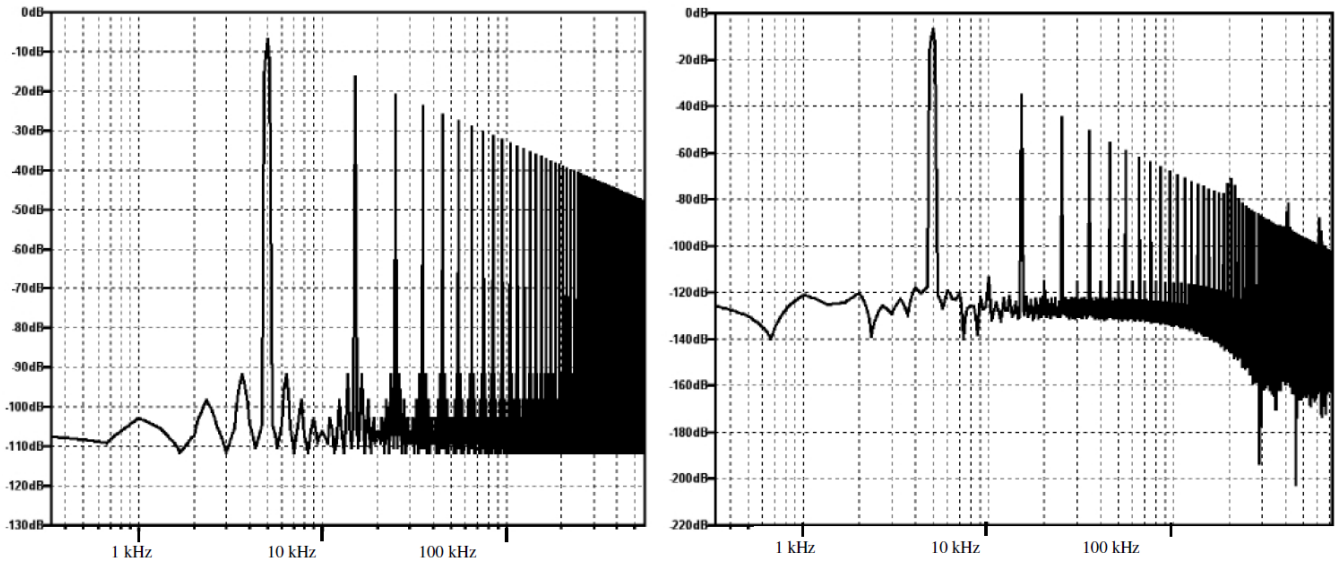
2) Déterminer à l'aide du diagramme de Bode suivant les valeurs de L et C. On donne : $R = 100 \Omega$



3) On alimente le circuit précédent par un signal rectangulaire, et on mesure à l'oscilloscope les tensions en entrée et en sortie. Justifier les courbes obtenues par une analyse spectrale.



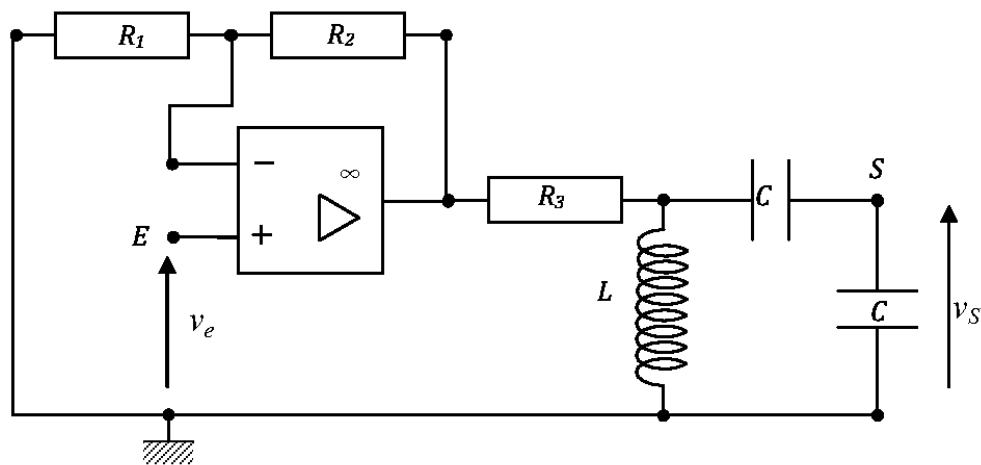
4) Une transformée de Fourier rapide (FFT), réalisable à l'aide d'un logiciel ou par un oscilloscope numérique, permet le calcul et l'affichage du spectre des signaux d'entrée et de sortie. Attribuer le bon spectre à chaque signal, et vérifier que ceux-ci sont en accord avec les résultats connus.



3 Filtre et oscillateur

On envisage le montage ci-dessous, où l'A.O. fonctionne en régime linéaire.

1. Établir sans calcul la nature du filtre puis déterminer sa fonction de transfert $H = \frac{v_s}{v_e}$.
2. On relie par un fil les points E et S : déterminer l'équation différentielle vérifiée par $v_s(t)$. En déduire une condition pour que le système oscille sans source de tension extérieure.

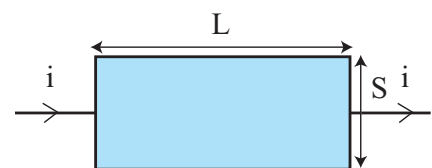


Réponses : 1. $H = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{1}{2 + jR_3C\omega + \frac{2R_3}{jL\omega}}$. 2. $R_1 = R_2$.

4 Mesure de la présence d'impuretés dans une solution

Un cylindre de longueur L et de section S est rempli d'une solution aqueuse conductrice. Sa résistance est notée R_0 .

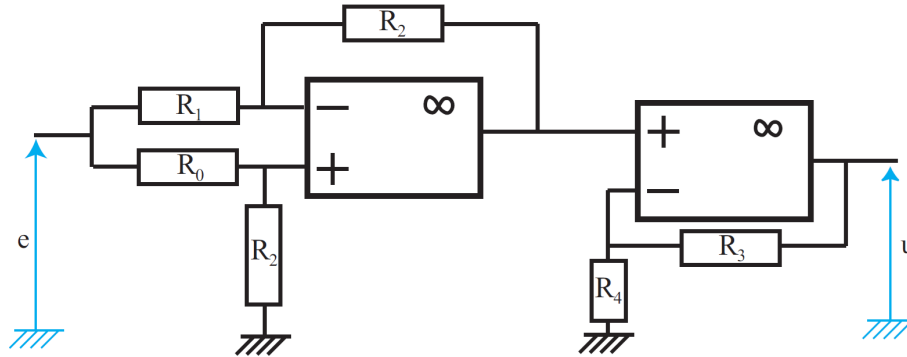
On remplit un second cylindre de même dimension d'une solution boueuse contenant N impuretés non conductrices. Sa résistance est notée $R_1 = R_0 + \delta R_0$ avec $\delta R_0 \ll R_0$.



1. En ne considérant qu'une seule impureté de section σ et de longueur ℓ , montrer que $\frac{\delta R_0}{R_0}$ est indicateur de la fraction volumique de l'impureté.

On supposera que pour N impuretés, $\frac{\delta R_0}{R_0}$ est également indicateur de la fraction volumique totale occupée par les N impuretés.

2. On considère le montage ci-dessous. Quelles sont les conditions sur R_2 , R_3 , R_4 et e pour que u indique le pourcentage de volume indiqué par les N impuretés ?



Réponses : 1. $\delta R_0 = R_0 \frac{v}{V}$. 2. Valeurs telles que $\frac{(R_3 + R_4)R_2}{R_4(R_0 + R_2)} = 1$ et $e = 1 \text{ V}$.

MECANIQUE DU POINT ET DU SOLIDE

5 Glissement du haut d'un igloo

On pose au sommet d'un igloo hémisphérique une petite pièce assimilable à un point matériel. On pousse très légèrement la pièce, de sorte qu'elle commence à chuter le long de l'igloo. A quel endroit la pièce décolle-t-elle de l'igloo si on néglige l'influence des frottements solides entre la pièce et la glace ?

6 Frottement de l'atmosphère sur un satellite à basse altitude

Un satellite, de masse m , décrit une orbite circulaire à l'altitude h autour de la Terre (M_T , R_T).

- Calculer la norme v de la vitesse en fonction des données, en négligeant les frottements.
- Montrer qu'en l'absence de frottement, les énergies potentielle, cinétique et mécanique du satellite sont telles que : $E_m = -E_c = \frac{E_p}{2}$.
- Le satellite subit en fait des frottements dus à la présence de l'atmosphère.
 - Que peut-on dire de l'énergie mécanique du satellite ? On admet cependant que les résultats précédents restent valables en première approximation.
 - Que peut-on alors dire de l'évolution de l'altitude du satellite ?
- Soit dh l'évolution de l'altitude du satellite à chaque rotation ($|dh| \ll h$). Trouver la relation liant la variation de vitesse dv à la variation d'altitude dh à chaque tour. Commenter.

Données : $dh = -1\text{m}$; $h = 500\text{km}$; $M_T = 5.98 \times 10^{24}\text{kg}$; $R_T = 6.37 \times 10^3\text{km}$.

Réponses : 4. $dv = -\frac{\sqrt{GM_T}}{2(R_T+h)^{3/2}}dh = 0.56\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$.



7 Mouvement d'une météorite

Très loin de la Terre, une météorite a une vitesse $\vec{v}_0 = v_0 \vec{u}_x$, portée par une droite Δ située à la distance b du centre de la Terre. On note m la masse de la météorite.

- Déterminer la distance minimale d entre le centre de la Terre et la météorite.
- Déterminer la valeur minimale b_{\min} de b pour que la météorite ne rencontre pas la Terre.
- Dans le cas où $b > b_{\min}$, on note \vec{v}_f la vitesse finale atteinte par la météorite.
 - Exprimer sa norme v_f en fonction de v_0 .
 - Exprimer le produit $r^2 \dot{\theta}$ en fonction de b et v_0 .
 - À l'aide du principe fondamental de la dynamique, établir une relation entre \vec{v}_f, \vec{v}_0 , et les vecteurs unitaires $\vec{u}_{\theta 0}$ correspondant à \vec{v}_0 et $\vec{u}_{\theta f}$ correspondant à \vec{v}_f .
 - En déduire l'angle de déviation φ de la météorite.
- Calculer b_{\min} . Calculer φ pour $b = 1,5b_{\min}$, avec $v_0 = 11 \text{ km s}^{-1}$.

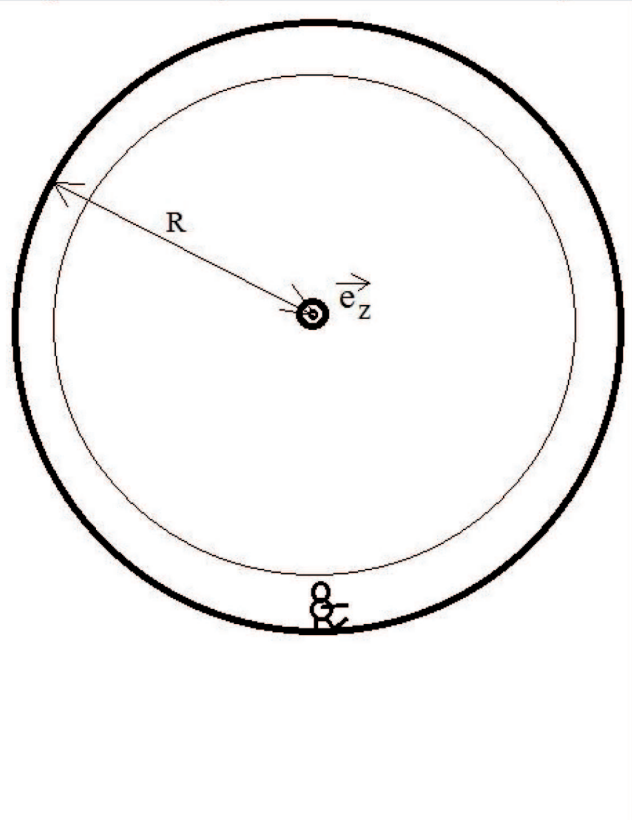
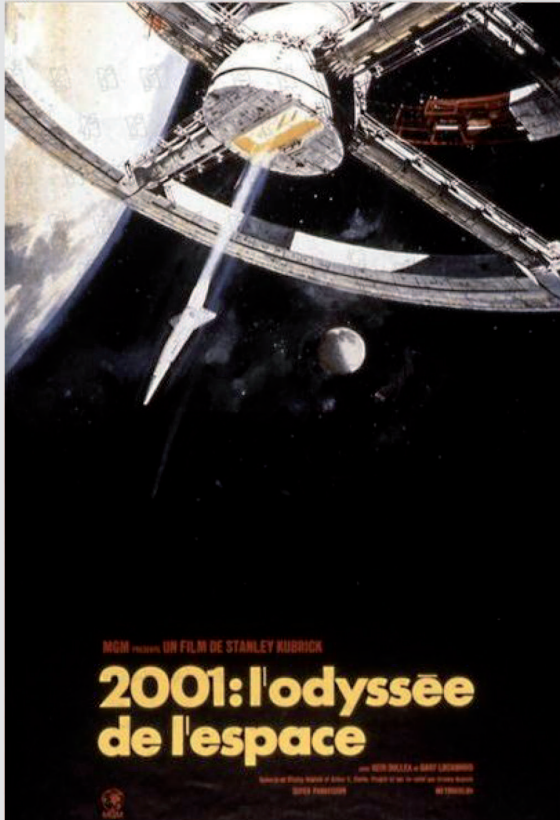
Réponse : 1. $d = -\frac{GM_T}{v_0^2} + \sqrt{b^2 + \frac{G^2 M_T^2}{v_0^4}}$, 3d. $\varphi = -2 \arctan\left(\frac{GM_T}{bv_0^2}\right)$. 4. $b_{\min} = 9,1 \times 10^3 \text{ km}$ et $\varphi = -0,47 \text{ rad}$.

8 Résolution de problème - 2001 l'odyssée de l'espace

D'après les scènes du film
de Stanley Kubrick

Comment créer une pesanteur artificielle dans l'espace ?

Dans le film "2001 l'odyssée de l'espace" de Stanley Kubrick, un vaisseau spatial constitué d'un tore de rayon R tourne autour de son axe Oz avec une vitesse angulaire $\vec{\Omega} = \omega \cdot \vec{e}_z$ constante dans un référentiel galiléen.



A gauche : affiche du film où l'on voit le vaisseau spatial et schéma (à droite) du vaisseau.

1. Alors qu'ils sont loin de toute planète, les astronautes vivent dans le tore du vaisseau spatial comme sur Terre : ils sont soumis à une gravité artificielle. Évaluer les valeurs numériques de R et de ω pour que les astronautes subissent une gravité artificielle de valeur $g = 9,81 m \cdot s^{-2}$, à 10% près entre les pieds et la tête.
2. Dans l'une des scènes du film, un astronaute (Poole) fait un jogging dans le tore. Expliquer pourquoi il peut être très fatigant pour lui de courir dans la station spatiale (on choisira les valeurs numériques pour illustrer le raisonnement). Le sens choisi pour faire le footing est-il important ?

9 Pendule soumis à une excitation sinusoïdale

On considère un pendule simple de longueur ℓ et de masse M fixé au point I , mobile sur l'axe Ox horizontal selon la loi $x(t) = x_0 \sin(\omega t)$. On note \mathcal{R} le référentiel fixe attaché au point O et \mathcal{R}' le référentiel mobile attaché au point I .

1. Que dire de \mathcal{R}' ? Justifier
2. Quelles forces s'exercent sur le point M ? Les exprimer dans la base mobile.
3. En considérant uniquement des oscillations de faible amplitude, appliquer le théorème du moment cinétique et déterminer l'équation du mouvement du point M
4. On suppose pour les conditions initiales que $\theta(t=0) = 0$ et $\dot{\theta}(t=0) = 0$. Déterminer $\theta(t)$.

Réponses : 3. $\ddot{\theta} + \omega_0^2 \theta = a \omega^2 \sin(\omega t)$ avec $\omega_0^2 = g/\ell$ $a = x_0/\ell$. 4. $\theta(t) = -a \frac{\omega^3}{\omega_0(\omega_0^2 - \omega^2)} \sin \omega_0 t + a \frac{\omega^2}{\omega_0^2 - \omega^2} \sin \omega t$.

ELECTROMAGNETISME ET PHYSIQUE DES ONDES

10 Sphère chargée créant un champ de module constant

Soit une sphère de rayon R portant une densité volumique de charge $\rho(r)$ à symétrie sphérique, où r est la distance au centre de la sphère.

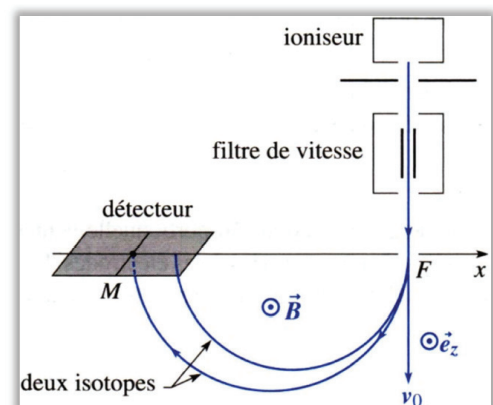
1. Déterminer $\rho(r)$ pour que le champ électrostatique ait un module E_0 constant à l'intérieur de la sphère. Une telle distribution de charge est-elle réalisable expérimentalement ?
2. Quelle est alors la charge totale Q de la sphère ?
3. Déterminer le champ et le potentiel en tout point de l'espace.

Réponses : 1. $\rho(r) = \frac{2\epsilon_0 E_0}{r}$, 2. $Q_{tot} = 4\pi R^2 \epsilon_0 E_0$.

11 Spectrographe de Bainbridge

Un spectrographe de Bainbridge est un dispositif dans lequel des ions, positifs dans la figure ci-contre, sortent d'un ioniseur où ils ont été préalablement accélérés sous une tension de valeur absolue $U = 10 \text{ kV}$, traversent d'abord un filtre de vitesse, puis pénètrent dans un champ magnétique $\vec{B} = B \vec{e}_z$ transversal uniforme et indépendant du temps, avec $B = 0,1 \text{ T}$, et décrivent alors un demi-cercle et viennent finalement impressionner la plaque photographique.

La fente F étant supposée très fine, déterminer la distance séparant les isotopes $^{39}\text{K}^+$ et $^{41}\text{K}^+$ sur la plaque.



Réponse : $d = \frac{2}{B} \sqrt{\frac{2U}{eN_A}} |\sqrt{M_1} - \sqrt{M_2}| = 5 \text{ cm}$.

12 Solénoïde en régime lentement variable

On considère un solénoïde infini, d'axe Oz , de rayon $a = 1\text{cm}$, comportant n spires par unité de longueur, parcourues par un courant d'intensité :

$$i(t) = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

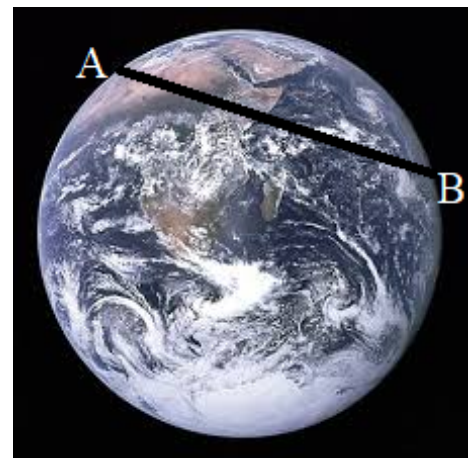
- Sachant que le solénoïde est équivalent à une inductance $L \simeq 1\text{mH}$ en série avec une résistance $R \simeq 100\Omega$, en déduire l'expression de τ en fonction de L et R , et l'ordre de grandeur de τ . Le cadre de l'ARQS est-il adapté à l'étude de l'évolution des paramètres physiques dans ce solénoïde ?
- (a) Donner sans calcul l'expression du champ magnétique.
(b) En utilisant les symétries du problème, montrer que le champ électrique généré est de la forme $\vec{E} = E(r, t) \vec{u}_\theta$.
(c) En utilisant la loi de Faraday sur un contour que l'on précisera, calculer le champ électrique à l'intérieur du solénoïde.
- (a) Montrer que la densité volumique d'énergie électrique u_e est négligeable devant la densité d'énergie magnétique u_m dans le solénoïde.
(b) Calculer le vecteur de Poynting $\vec{\Pi}$.
(c) Que vaut la puissance volumique des forces de Lorentz à l'intérieur du solénoïde ?
(d) Vérifier que l'équation locale de Poynting est bien vérifiée dans le solénoïde. On donne $\text{div}(r\vec{u}_r) = 2$ en coordonnées cylindriques.
- (a) Calculer les énergies électrique U_e et magnétique U_m dans une portion de solénoïde de longueur h . Montrer qu'on retrouve là encore que l'énergie électrique est négligeable devant l'énergie magnétique dans la portion de solénoïde.
(b) Montrer qu'on retrouve ici l'expression d'une inductance L de cette portion du solénoïde.
(c) Calculer le flux du vecteur de Poynting $\vec{\Pi}$ à travers la portion de solénoïde.
(d) Que vaut la puissance des forces de Lorentz dans cette portion de solénoïde ?
(e) Vérifier que le bilan global d'énergie est bien vérifié.

Réponses : 2.a) $\vec{B} = \mu_0 n i(t) \vec{u}_z$. 2.c) $\vec{E} = \frac{\mu_0 n I_0 r}{2\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} \vec{u}_\theta$. 4.b) $L = \mu_0 n^2 \pi a^2 h$.

13 Point matériel dans un tunnel

La Terre, considérée comme une boule homogène de rayon R et de masse m , est percée d'un tunnel rectiligne entre deux points A et B de sa surface non diamétralement opposés.

- Déterminer le champ gravitationnel en tout point à l'intérieur de la terre. (On néglige la modification du champ gravitationnel par le tunnel).
- Étudier le mouvement d'un point matériel de masse m' glissant sans frottement dans le tunnel, lâché sans vitesse depuis le point A . On négligera les forces d'inertie associées à la rotation de la Terre sur elle-même. On pourra noter x la position du point matériel par rapport au milieu de $[AB]$. Estimer l'ordre de grandeur du temps caractéristique du mouvement.

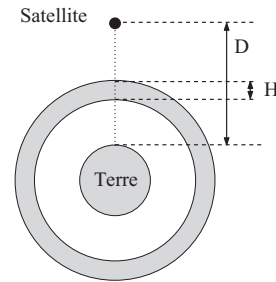


Réponses : 1. $\vec{g} = -\frac{Gm}{R^3} r \vec{e}_r$. 2. $\ddot{x} + \frac{Gm}{R^3} x(t) = 0$.

14 GPS

Le système de localisation GPS (Global Position System) est si précis qu'il est nécessaire de se placer dans le cadre de la relativité générale, mais aussi de prendre en compte la dispersion due à la traversée de l'ionosphère.

L'ionosphère, d'épaisseur H , est un plasma localement neutre. Les électrons ont une masse m , une charge e et une densité n . On envisage une onde électromagnétique plane progressive harmonique.



1. Appliquer le principe fondamental aux charges et établir la relation entre \vec{j} et \vec{E} .
2. Écrire les équations de MAXWELL en complexe. Montrer que $\vec{k}^2 = \frac{\omega^2 - \omega_p^2}{c^2}$. Exprimer ω_p .
3. Pourquoi cette pulsation ω_p est-elle appelée pulsation de coupure ? Calculer la vitesse de groupe.
4. Une onde électromagnétique est envoyée par un satellite vers la Terre. Quel est le temps τ mis pour parcourir la distance D ?

L'espace est assimilé à du vide en dehors de l'ionosphère. La fréquence de l'onde est telle que $f \gg f_p$, où $f_p = \frac{\omega_p}{2\pi}$, ce qui permet un calcul approché.

5. Pour prendre en compte la dispersion ionosphérique, on envoie deux trains d'onde de fréquences f_1 et f_2 et on mesure l'écart Δt entre leurs temps de parcours. Exprimer Δt avec $f_2 > f_1 \gg f_p$.
6. Montrer que $D = c\tau - d$, avec

$$d = \frac{f_1^2 f_2^2 c \Delta t}{f_2^2 (f_2^2 - f_1^2)}$$

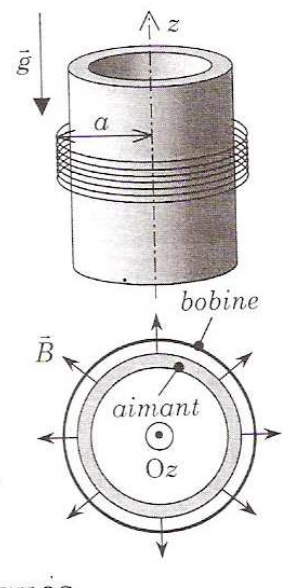
On trouve que d est de l'ordre de quelques mètres. Qu'en penser ?

Réponses : 1. $\vec{j} = -i \frac{ne^2}{m\omega} \vec{E}$. 2. $\omega_p = \sqrt{\frac{ne^2}{\epsilon_0 m}}$. 3. $v_g = c \sqrt{1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}}$. 4. $\tau \simeq \frac{D}{c} \left(1 + \frac{H}{2D} \frac{f_p^2}{f^2} \right)$. 5. $\Delta t = \frac{H f_p^2}{2cD} \frac{f_2^2 - f_1^2}{f_1^2 f_2^2}$.

15 Léviton magnétique d'une bobine

Une bobine électrique constituée d'une rangée de N spires circulaires coaxiales jointives de rayon a parcourues par un courant d'intensité I constante est enfilée sur un aimant cylindrique fixe vertical de grande longueur et de rayon légèrement inférieur à a .

L'aimant est fabriqué pour produire un champ magnétique radial dirigé vers l'extérieur, invariant le long de son axe de symétrie (O, \vec{u}_z) et autour de lui, de sorte que sa valeur B est la même en chaque point de la bobine.

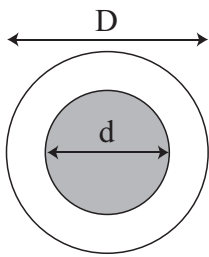


1. Quel doit être le sens du courant dans la bobine pour qu'elle soit mise en lévitation sans support et sans contact avec l'aimant dans le champ d'accélération uniforme \vec{g} de la pesanteur ?
2. Connaissant la masse m de la bobine, déterminer la valeur de l'intensité I pour que la bobine soit immobile en lévitation. Faire l'application numérique pour $m = 0,5 \text{ kg}$, $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$, $a = 5 \text{ cm}$, $B = 1 \text{ T}$ et $N = 100$ spires.

Réponses : 2. $I = \frac{mg}{2\pi N a B} \approx 160 \text{ mA}$.

OPTIQUE

16 Thermomètre à mercure



Un thermomètre à mercure est constitué d'un tube cylindrique en verre de diamètre extérieur $D = 5\text{mm}$, et de diamètre intérieur d inconnu. Ce tube creux est rempli de mercure.

1. Quelle est la taille du diamètre intérieur d pour que l'on ait l'impression visuelle que le tube n'est constitué que de mercure ?
2. Que se passe-t'il si l'on plonge le thermomètre dans l'eau ?

THERMODYNAMIQUE

17 Compresseur et création d'entropie

Dans un compresseur fonctionnant en régime permanent, de l'air est comprimé, de façon adiabatique, à partir de l'état $P_1 = 1,0 \cdot 10^5 \text{Pa}$, $T_1 = 293\text{K}$, jusqu'à une pression $P_2 = 3,0 \cdot 10^5 \text{Pa}$. On supposera le gaz parfait. On prendra $C_p = 29 \text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ et $M = 29 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$. On définit le coefficient de performance η comme le rapport du travail isentropique massique w_{is} que consommerait le compresseur sur le travail réel $w_{réel}$ absorbé par la machine. On donne $\eta = 0.8$.

1. Donner la valeur de la température finale T_2 ainsi que celle du travail w_{is} dans le cas idéal (compresseur isentropique).
2. Déterminer les nouvelles valeurs T_2' et $w_{réel}$ pour le compresseur réel. Définir et calculer la création d'entropie par unité de masse du fluide comprimé.

Réponses : 1. $T_2 = 401\text{K}$ et $w_{is} = \frac{C_p}{M}(T_2 - T_1) = 108 \text{J} \cdot \text{g}^{-1}$, 2. $T_2' = 429 \text{K}$ et $s_c = \frac{C_p}{M} \ln\left(\frac{T_2'}{T_1}\right) - \frac{R}{M} \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 66,3 \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

PHYSIQUE STATISTIQUE

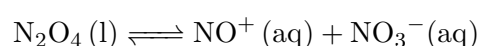
MECANIQUE QUANTIQUE

CHIMIE

18 Dérivés oxygénés de l'azote

L'ion nitrosyle NO^+ dérive du monoxyde d'azote NO qui est paramagnétique comme le dioxyde d'azote NO_2 . Ces deux oxydes se dimérisent facilement en N_2O_2 et N_2O_4 qui présentent tous les deux une liaison $\text{N}-\text{N}$.

1. Proposer des formules de Lewis pour l'ion NO^+ , les discuter.
2. Proposer des formules de Lewis pour NO , les discuter puis justifier sa facile dimérisation.
3. Faire de même pour le dioxyde d'azote NO_2 .
4. Justifier le caractère paramagnétique de NO et de NO_2 .
5. Identifier la nature de la réaction d'équation bilan :



19 Dismutation de l'acide nitreux

L'acide nitreux HNO_2 est une espèce instable. Sa transformation conduit à la formation de monoxyde d'azote NO (g) et d'ions nitrate NO_3^- .

1. Écrire la réaction d'oxydoréduction engagée lors de cette réaction (avec un coefficient stoechiométrique relatif à NO_3^- égal à 1).
2. Calculer les potentiels standard E^0 des deux couples oxydant-réducteur engagés.
3. Calculer l'enthalpie libre standard de réaction $\Delta_r G^0$ de la réaction à 298 K.
4. Pour quelle valeur de la pression partielle en monoxyde d'azote une solution décimolaire d'acide nitreux serait-elle stable en présence d'acide nitrique (H_3O^+ , NO_3^-) de concentration $c = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$?

Données à 298 K :

$$pK_A(\text{HNO}_2/\text{NO}_2^-) = 3,35$$

| Couple | NO_2^-/NO (g) | $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------|
| E^0 (V) | 1,18 | 0,85 |

20 Ordre initial d'une réaction (avec calculatrice)

Pour la réaction $\text{Fe}^{3+} + \text{I}^- \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + \frac{1}{2} \text{I}_2$, on a réalisé deux séries d'expériences à 25°C.

1. On mesure la vitesse initiale v_0 de la réaction avec une valeur constante de $[\text{I}^-]_0 = 3,45 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ et des valeurs variables de $[\text{Fe}^{3+}]_0$.

| | | | | |
|---|------|------|-------|-------|
| $[\text{Fe}^{3+}]_0$ (mmol · L ⁻¹) | 1,43 | 7,51 | 17,31 | 24,21 |
| v_0 (μmol · L ⁻¹ · s ⁻¹) | 0,15 | 0,79 | 1,82 | 2,54 |

Déterminer l'ordre partiel par rapport à Fe^{3+} .

2. Cette fois-ci, $[\text{Fe}^{3+}]_0 = 1,42 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ est maintenu constant et c'est $[\text{I}^-]_0$ qui varie.

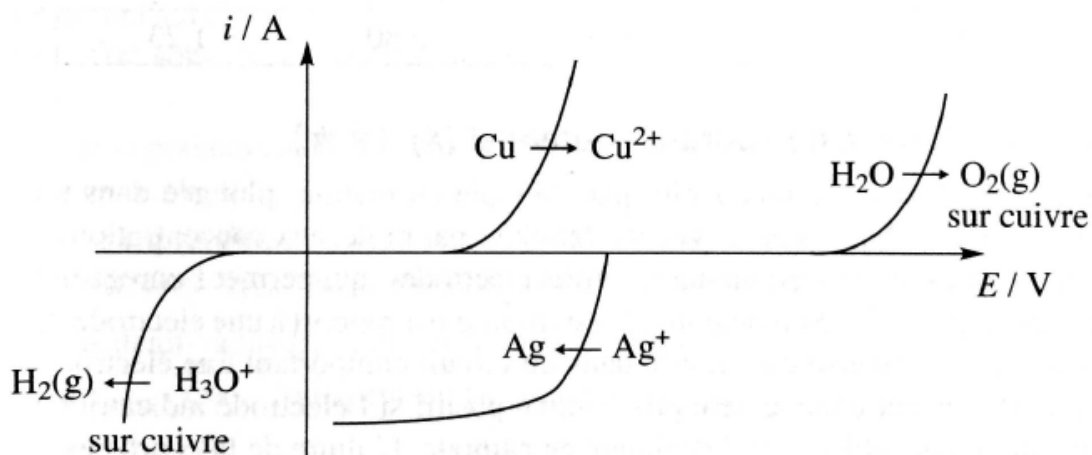
| | | | | |
|---|------|------|-------|-------|
| $[\text{I}^-]_0$ (mmol · L ⁻¹) | 3,45 | 8,31 | 11,82 | 14,11 |
| v_0 (μmol · L ⁻¹ · s ⁻¹) | 0,15 | 0,87 | 1,75 | 2,52 |

Déterminer l'ordre partiel par rapport à I^- .

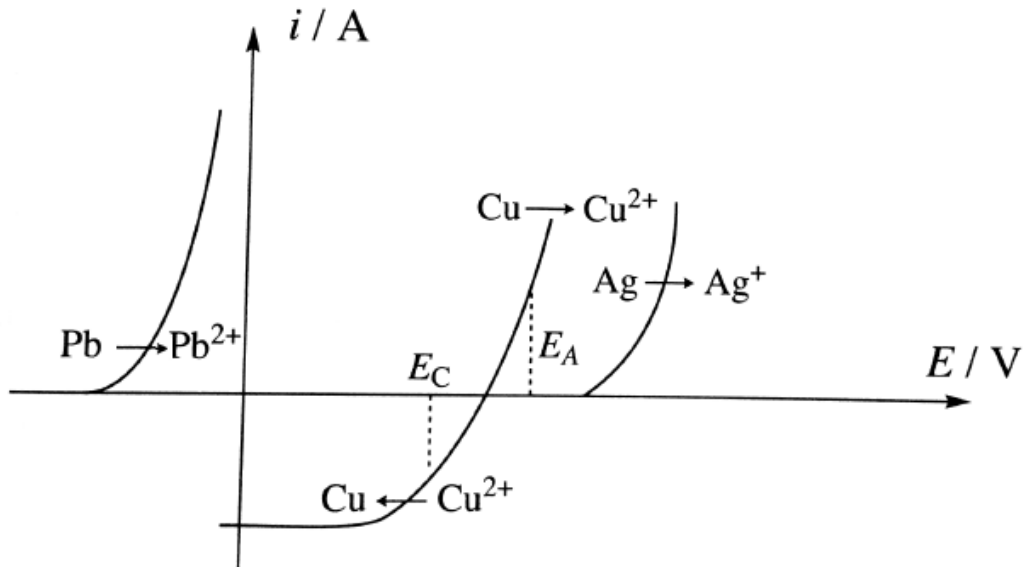
3. En déduire la loi de vitesse et calculer la valeur de la constante de vitesse.

21 Raffinage électrolytique du cuivre

Une lame de cuivre plonge dans une solution de nitrate d'argent. Les courbes intensité-potential relatives aux différents couples en présence sont représentées ci-dessous.



1. Écrire l'équation-bilan de la réaction qui a lieu. Déterminer sa constante d'équilibre à 298 K. Commenter la valeur obtenue.
2. À l'aide des courbes intensité-potentiel, prévoir si cette réaction est rapide ou lente (un schéma est souhaité).
3. Le raffinage électrolytique du cuivre consiste à placer du cuivre impur comme anode dans une solutions concentrée du sulfate de cuivre. Une électrode support (en acier inoxydable) est placée en vis-à-vis pour y déposer le cuivre par réduction cathodique. Les seules impuretés qui seront considérées ici sont le plomb Pb et l'argent Ag. Le système est modélisé de façon simple par une électrode de cuivre comportant des particules d'argent pur et de plomb pur. Les courbes intensité-potentiel relatives aux différents couples en présence sont représentées ci-dessous. E_A désigne le potentiel auquel est portée l'anode et E_C est le potentiel de la cathode.



Écrire la(les) réaction(s) observée(s) à l'anode. Même question à la cathode.

4. Expliquer l'intérêt de cette méthode quant à la purification du cuivre.

Données à 298 K :

| Couple | Pb ²⁺ /Pb (s) | Cu ²⁺ /Cu (s) | Ag ⁺ /Ag (s) | O ₂ (g)/H ₂ O (l) |
|-----------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---|
| E^0 (V) | -0,13 | 0,34 | 0,80 | 1,23 |