1 CCINP 24

▶**EX1** : on considère la réaction $N_{2(g)} + 3\ H_{2(g)} = 2\ NH_{3(g)}$ (décrite comme lente, il y avait aussi un petit texte autour de l'ammoniac). On ajoute alors un catalyseur à base de fer. On donne $R = 8,31\ J.K^{-1}.mol^{-1}$.

1. Le fer : rappeler le rôle d'un catalyseur. Justifier pourquoi le fer est finement divisé. Le fer considéré est la variété α, qui cristallise dans la structure cubique centrée (un atome par sommet du cube et un au centre du cube). Dessiner la maille en perspective et calculer sa compacité.

2. Constante d'équilibre : on donne $\Delta_r H°(450°C) = -114,7\ kJ.mol^{-1}$. Quelle caractéristique de la réaction peut-on déduire de ceci ? On donne $\Delta_r S°(450°C) = -200\ J.K^{-1}.mol^{-1}$. Expliquer très simplement sans calcul ce signe. Calculer la constante d'équilibre à 450°C. Conclusion ?

3. Rendement : la pression p dans l'enceinte est de 300 *bar* et la température de 450°C. On place les réactifs dans les proportions stœchiométriques. On définit le rendement comme étant la quantité d'ammoniac produite réellement sur la quantité d'ammoniac produite si la réaction était totale. Exprimer le rendement, puis exprimer la constante d'équilibre en fonction du rendement, et dire comment est impacté le rendement par une augmentation de la pression. Commenter enfin l'influence de la température sur l'équilibre.

▶**EX2** : on commence avec l'hypothèse irréaliste du moteur monotherme. On note Q le transfert thermique et W le travail. Thomson énonce le second principe ainsi : "il n'existe pas de moteur monotherme". Interpréter.

On passe au moteur ditherme. On note T_c et T_f les températures respectives de la source chaude et de la source froide. On note Q_c, Q_f et W (reçus par la machine). On suppose $T_c > T_f$.

1. À l'aide du premier et du second principes, retrouver les signes de Q_c et Q_f.
2. Expliquer en une courte phrase le fonctionnement d'un moteur ditherme, en utilisant les signes de Q_c, Q_f et W.
3. Expliquer pourquoi le moteur s'arrêtera nécessairement de fonctionner. Calculer la température finale. [On supposait les deux sources de même capacité calorifique.]
4. Application à un moteur ditherme (cycle de Beau de Rochas) : le cycle est constitué de deux adiabatiques (on les notera 1 et 3) et deux isochores (on les notera 2 et 4). On considère que le mélange air-essence est un gaz parfait diatomique ($\gamma = 1,4$). À l'aide d'un diagramme (P, V), décrire chaque transformation avec les mots suivants : échauffement, refroidissement, détente, compression, adiabatique, réversible, isochore, ... Donner le sens dans lequel le diagramme est parcouru. Définir le rendement et l'exprimer, puis l'exprimer à l'aide des températures T_c et T_f.

[L'examinatrice était assez bienveillante, sans chercher à déstabiliser mais plutôt à vérifier ce qui est maitrisé. En cas de blocage, elle posait une ou deux questions pour débloquer. Une calculatrice était donnée avec une notice d'explication, ainsi qu'un formulaire et la classification périodique des éléments. J'ai choisi de commencer par la chimie, mais on pouvait commencer par la thermodynamique.]

2 Centrale 24

Tir d'un projectile depuis le pôle nord pour atteindre le pôle sud, lancé avec un angle α par rapport à la verticale, avec une vitesse initiale v_0. On suppose le référentiel géocentrique galiléen.

1. Trouver une vitesse maximale à ne pas dépasser si l'on veut avoir une chance d'atteindre le pôle sud.
2. Équation du mouvement. On donne l'équation polaire d'une ellipse $r = \dfrac{p}{(1 + e\cos\theta)}$ et on pose $u = 1/r$. Il y avait en annexe l'accélération projetée selon $\overrightarrow{u_r}$ et $\overrightarrow{u_\theta}$.

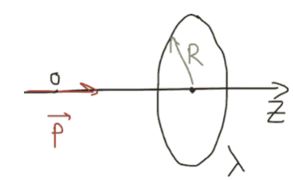
[Il y avait une autre question mais j'ai pas eu le temps de la faire. Examinateur silencieux, qui ne parlait que pour me dire que j'avais fait une étourderie. Il m'a demandé d'écrire au tableau même pas 20 secondes après m'avoir donné le sujet.]

3 Mines 24

▶**EX1** : on considère des trous d'Young séparés d'une distance a et on observe ce qu'il se passe sur un écran à une distance D des trous. On éclaire avec une source ponctuelle de lumière blanche.

1. Établir l'expression de l'intensité lumineuse sur l'écran, en supposant que l'intensité lumineuse émise par la source par unité de fréquence est constante. [L'examinateur a voulu que je dessine l'allure de la fonction obtenue. Comme j'ai eu un peu de mal, il a vérifié que je savais ce qu'on observait réellement.]
2. Combien de franges peut-on observer sur l'écran ?

▶**EX2** : on considère un dipôle électrostatique placé en O sur un axe Oz. On place un cercle chargé de rayon R et de densité linéique de charge λ. Le cercle est perpendiculaire à l'axe Oz et son centre est toujours sur l'axe (*i.e.* le cercle peut coulisser sur l'axe, mais on ne se soucie pas de comment il est fixé). Déterminer les positions d'équilibre du système.



On donne $V(M) = \dfrac{\vec{p}\cdot\overrightarrow{OM}}{4\pi\epsilon_0 OM^3}$ le potentiel créé à grande distance par un dipôle. et le schéma ci-dessous.

[15 min de préparation (ex1) et environ 55 min de passage. L'examinateur était bienveillant et montrait bien qu'il écoutait ce que je disais, en particulier au niveau du vocabulaire. Il m'a proposé de me donner le gradient en coordonnées polaires pour l'exercice 2, disant que ce n'était pas exigible. De façon générale, ses questions étaient pour aider ou pour que j'identifie des erreurs (homogénéité par exemple). Il ne m'a pas du tout guidée et m'a laissée avancer, il a juste posé deux questions, ayant pour but de m'aider.]

4 CCINP 24

▶**EX1** : cet exercice traite des perturbations des ondes électromagnétiques à cause des façades des immeubles. On suppose que la façade est un conducteur parfait. Une onde électromagnétique est émise en $x = -L$ depuis une antenne, de champ électrique donné par $\overrightarrow{\mathrm{E}} = E_0 \cos(2\pi f(t - x/c))\overrightarrow{e_z}$. Elle arrive en $x = 0$ au niveau de la façade (perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde).

1. Décrire l'onde incidente. On suppose que l'onde réfléchie ne subit pas d'atténuation, et conserve la même polarisation que l'onde incidente. Écrire l'expression du champ électrique de l'onde réfléchie.

2. La façade n'est plus parfaite (conductivité γ). En utilisant vos connaissances sur l'effet de peau, exprimer le champ électrique de l'onde transmise.

3. En utilisant les relations de passage (qui étaient rappelées), exprimer le champ électrique dans tout l'espace.

[Il y avait ensuite des questions sur la puissance et les applications mais je ne les ai pas traitées.]

►**EX2** : pour l'atmosphère la pression dépend de l'altitude z. Pour un système à l'équilibre thermique, Boltzmann a postulé l'expression de la probabilité de se trouver dans un état d'énergie E_j : $P(E_j) \propto \exp(-E_j/k_B T)$.

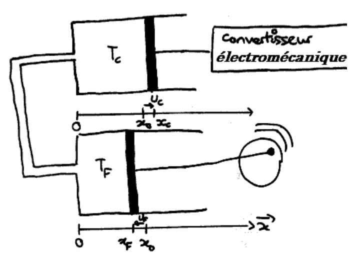
1 Pour un gaz parfait établir l'expression de la pression P en fonction de R, T, g, M et P_0. Donner l'expression du facteur de Boltzmann en fonction de m, g, k_B et T.

2. On a un système avec deux niveaux d'énergie possibles $E_1 = +\varepsilon$ et $E_2 = -\varepsilon$. Donner au moins un exemple concret de cette situation. Déterminer la valeur moyenne de l'énergie $\langle E \rangle$.

3. On pose la fonction $u = \langle E \rangle/\varepsilon$. Donner ses limites aux très basses et très hautes températures. Donner son sens de variation. Tracer son graphe. Que peut-on en déduire sur l'influence de T ?

5 Centrale 24

On considère 2 pistons de section S reliés par un tuyau. Le système contient n_0 moles de gaz supposé parfait. On néglige la quantité de matière dans le tuyau, et on considère la pression identique dans les 2 cylindres. Le cylindre du haut est en contact avec un thermostat à la température T_c, et celui du bas avec un thermostat (T_f). La pression extérieure est notée P_0 (pression atmosphérique).



On note x_0 la position d'équilibre des 2 pistons. On note u_c (*resp.* u_f) l'écart à l'équilibre du piston du haut (*resp.* du bas) : $x_c = x_0 + u_c$ et $x_f = x_0 + u_f$, avec $uf, u_c \ll x_0$.

1. Montrer que la pression P peut s'écrire $P = -\dfrac{1}{S}\dfrac{n_0 R T_c T_f}{x_0^2(T_c + T_f)^2}(T_f u_c + T_c u_f) + Cte$, puis $P = -\dfrac{m\omega_0^2}{S}\left(u_c + \dfrac{T_c}{T_f}u_f\right) + Cte$. Expliciter ω_0.

2. À quoi correspond le terme Cte ?

3. Le convertisseur applique au gaz du cylindre une force de frottement fluide $\vec{F} = -\lambda \dot{u}_c \overrightarrow{e_x}$. Déterminer l'équation vérifiée par u_c.

[L'examinatrice était plutôt sympa, et me donnait pas mal de pistes, notamment pour les développements limités à faire à la question 1. Il y avait d'autres questions (résolution en RSF), mais je n'ai pas eu le temps d'aller au bout.]

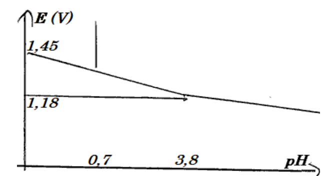
6 Mines 24

►**EX1** : on introduit un glaçon en plastique dans un bécher contenant $V = 20,0\ mL$ d'eau à température ambiante $T_a = 20°$C. On modélise le glaçon par une coquille sphérique de rayon intérieur $a = 2cm$ et d'épaisseur $e = a/20$, contenant initialement de la glace à $T_g = 0°$C.
On donne la chaleur latente massique de fusion l_f, la capacité thermique massique de l'eau c_e, la conductivité thermique du plastique λ_p et la résistance thermique du verre R_v. On suppose enfin être dans l'ARQS, et le volume d'eau dans le glaçon constant.

1. Définir la notion de résistance thermique, et calculer celle du glaçon.

2. Donner la loi d'évolution $T(t)$ de l'eau du bécher. On introduira $T_g(t)$ la température de l'eau dans le glaçon.

►**EX2** : on donne l'allure du diagramme potentiel-pH du brome ci-contre, pour les espèces $HBrO_3$, BrO_3^-, Br_2, Br^-, pour une concentration de tracé $c_0 = 0,001\ mol/L$.



1. Identifier les espèces.

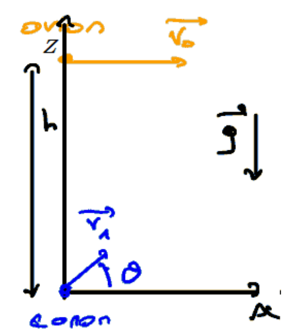
2. Calculer les pK_a et $E°$ des couples présents.

3. Dans un volume d'eau de 1 L, on introduit du dibrome et de la soude. Calculer le pH et le potentiel de la solution obtenue.

[Examinateur gentil, bienveillant et sympathique, qui m'aidait directement lorsque je ne voyais pas comment faire. Il m'a notamment demandé de redémontrer que div $\vec{j}_Q = 0$ dans l'ARQS à 1D.]

7 Centrale 24

À un instant donné (choisi comme $t = 0$), un avion lâche une cible de masse m en même temps qu'un canon tire un boulet de masse M (cf. schéma ci-contre).



1. Appliquer le principe fondamental au boulet, puis à la cible.

2. Trouver la condition de l'impact et son instant.

Question bonus : vitesse de libération. AN sur Terre.

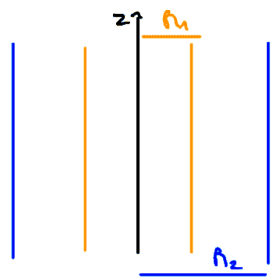
[L'examinateur était plus muet que Chaplin, m'a juste demandé de redémontrer l'expression de l'énergie potentielle (pour me permettre de réaliser mon erreur), ainsi que la question bonus. Mais lorsque sa montre sonne, il me coupe net et me dit que c'est fini. . .]

8 ENS 24

On considère un solénoïde infini.

1. Préciser les caractéristiques de ce système, rappeler l'expression du champ $\overrightarrow{B}$ à l'intérieur et à l'extérieur. Comment justifier le champ nul à l'extérieur ?
2. On considère désormais un solénoïde fini. On fournit l'expression du champ $\overrightarrow{B}$ créé en M sur son axe par une spire (rayon R, courant I) sur son axe Oz : $\overrightarrow{B}(M) = \dfrac{\mu_0 I}{2R}\sin^3\alpha\overrightarrow{e_z}$. (Un schéma était fourni, α est le demi-angle au sommet du cône de sommet M s'appuyant sur la spire). Calculer alors le champ $\overrightarrow{B}$ créé par le solénoïde fini sur son axe. Retrouver alors le résultat de 1.
3. Calculer le champ $\overrightarrow{B}$ au voisinage de l'axe de la spire.
4. Comment mesure-t-on un champ magnétique ?

9 Centrale 24

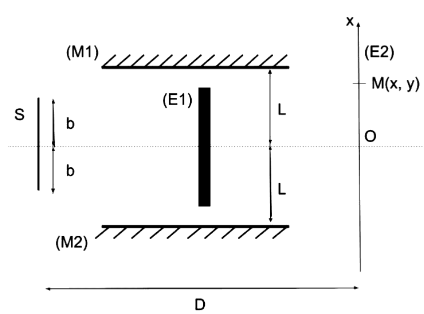


On considère un câble coaxial (schéma ci-contre), formé d'un conducteur au centre ainsi qu'à l'extérieur, avec du vide entre les armatures. On donne $\overrightarrow{E} = E(r)\exp(j(kz-\omega t))\overrightarrow{e_r}$, avec $E(R_1) = E_0$.

1. Quels sont les avantages des câbles coaxiaux ?
2. Déterminer E(r), puis le champ magnétique $\overrightarrow{B}$ associé.
3. Déterminer la vitesse de propagation et comparer à celle fournie sur la notice du câble : $c/\sqrt{\varepsilon_r}$.
4. Évaluer la puissance moyenne véhiculée par le câble. Commenter.
5. Exprimer le courant surfacique.
6. Trouver un vecteur $\overrightarrow{A}$ tel que $\overrightarrow{B} = \overrightarrow{\text{rot}}\ \overrightarrow{A}$. En déduire le potentiel V, sachant que $\text{div}\ \overrightarrow{A} + \dfrac{1}{c^2}\dfrac{\partial V}{\partial t} = 0$.

[Il restait 2 questions, sur la résistance du câble ainsi que sa capacité. L'examinateur était très pédagogue et à l'écoute, et approuvait tout ce que je faisais.]

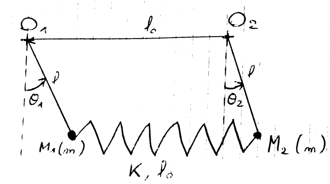
10 ENS 24



On considère une source de demi-largeur b émettant une lumière quasi-monochromatique centrée autour d'une longueur moyenne λ. On dispose deux miroirs (M_1) et (M_2) parallèlement et chacun à distance L de l'axe optique. On place un écran (E_2) en sortie du dispositif dans le plan (Oxy) pour observer les interférences, ainsi qu'un cache (E_1) permettant de bloquer les rayons arrivant directement de la source. On note D la distance SO. On supposera toujours que l'on a $|x|, |y|, b, L \ll D$.
L'indice optique de l'air est pris égal à 1.
Étudier ce dispositif interférentiel.

[Examinateur ponctuel, sympathique et parfaitement audible. Vu l'ouverture du travail demandé, il m'a posé pas mal de questions de cours sur les interférences, en analogie avec les trous d'Young, tracé de l'intensité du contraste, calcul de l'interfrange, de la longueur de cohérence temporelle, ... Il me demandait souvent comment on pourrait retrouver rapidement les expressions que je démontrais. Aucune valeur numérique n'était donnée, aucun calcul d'ordre de grandeur n'a été exigé.]

11 Mines 24



▶**EX1** : on considère 2 pendules identiques (masse m, longueur ℓ), dont les masses sont reliées par un ressort de raideur k et de longueur à vide $\ell_0 = a = O_1O_2$.

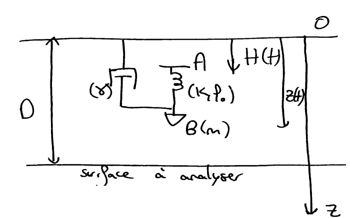
1. Étudier les petites oscillations autour de l'équilibre, et identifier 2 pulsations caractéristiques.
2. On généralise à une chaîne de pendules (O_nM_n) repéré par l'angle θ_n. Établir une équation différentielle reliant θ_{n-1}, θ_n et θ_{n+1}. On posera $\omega_0 = \sqrt{g/\ell}$ et $\omega_1 = \sqrt{k/m}$.
3. Chercher les solutions sous la forme $\underline{\theta}_n(t) = \underline{A}\exp j(\omega t - Kna)$. Établir alors une relation de dispersion. Commenter.

▶**EX2** : on considère le champ électrique $\overrightarrow{E} = E_0(x)\exp j(\omega t - kz)\overrightarrow{e_y}$ dans le vide caractérisé par $x \in [0; a]$, le reste de l'espace étant conducteur parfait ($x < 0$ et $x > a$).

1. Déterminer l'expresion de $E_0(x)$.
2. En déduire l'expression du champ $\overrightarrow{B}$, puis celle du vecteur de Poynting $\vec{\Pi}$. Commenter, et préciser les dimensions.
3. Rappeler la dépendance avec la distance du vecteur de Poynting pour le dipôle oscillant.

[Examinateur silencieux mais qui posait quelques questions pour approfondir ou faire remarquer les erreurs. 15min de préparation pour l'ex 1, 5min au tableau pour l'ex 2.]

12 ENS 24



On s'intéresse au fonctionnement d'un microscope avec une pointe sensible. La pointe B est modélisée par un ressort de raideur k et de longueur à vide ℓ_0, et subit une force de frottement fluide en vitesse (γ). La surface à étudier agit sur la pointe avec une force attractive $F = \dfrac{C}{(D-z)^2}$. Comment se servir du microscope ?

[L'examinateur me donnait quelques précisions supplémentaires au fur et à mesure. Notamment de voir le système comme un "résonateur". Et d'étudier la pulsation de résonance de $z(t)$, d'abord pour $F = 0$, puis en présence de la force F, l'excitation $H(t)$ étant sinusoïdale.]

$\boxed{13}$ `X 24`

Donner les schémas de Lewis et nombre d'oxydation de S dans : SO_4^{2-}, $S_2O_3^{2-}$, $S_2O_8^{2-}$.
Expliquer pourquoi l'électronégativité augmente quand on se déplace vers la droite ou le haut dans le tableau périodique.
On étudie la réduction de $S_2O_8^{2-}$ en SO_4^{2-} par l'eau. Donner l'équation de réduction ainsi que la constante d'équilibre à 300 K, en connaissant le potentiel standard $E°(S_2O_8^{2-}/SO_4^{2-}) = 2,01\ V$.
On nous dit que la réaction est lente, bien qu'elle semble très favorable. On souhaite donc introduire un catalyseur (Ag^{2+}/Ag^{+}). On donne les réactions du catalyseur avec l'eau et les ions que l'on veut réduire. Déterminer un encadrement du potentiel standard de (Ag^{2+}/Ag^{+}) à 300 K.
Tracer les courbes $i(E)$ avec et sans le catalyseur. Interpréter tous les morceaux de courbes.
[L'examinatrice m'a demandé de justifier pourquoi il y avait des courants de diffusion pour les ions et pas pour l'eau puis d'où venait la surtension et de parler de chaque réaction une par une. Pour finir elle m'a demandé d'exprimer la vitesse de réaction de réduction en faisant une hypothèse que les ordres partiels étaient les coefficients stœhiométriques.]

$\boxed{14}$ `Centrale 24`

L'exercice était divisé en 2 parties : lame d'air et coin d'air. Il commençait par un texte expliquant la partie `Python` et les conditions d'observation (lumière polychromatique (3 raies) et lumière blanche, lentilles utilisées).

1. Lame d'air : expliquer comment obtenir cette configuration sur un interféromètre de Michelson. Exprimer la différence de marche en un point M de l'écran, ainsi que l'éclairement $E(r, \lambda)$ associé, sachant qu'on place une lentille ($f' = 1\ m$) à la sortie du Michelson et avec r la distance du point d'observation avec le foyer image. Étudier le cas monochromatique (λ_0), puis polychromatique (3 raies).
Compléter la fonction `Python` $E(r, \lambda)$.
2. Coin d'air : expliquer comment obtenir cette configuration sur un Michelson à partir de la situation précédente. Préciser la (les) lentille(s) à utiliser pour cette situation, et justifier la position de l'écran d'observation. Exprimer la différence de marche en un point M de l'écran, ainsi que l'éclairement $E(x, \lambda)$, x étant un paramètre spatial bien choisi. [je ne suis pas sûre de la formulation] Compléter la fonction `Python` $E(x, \lambda)$.

[L'énoncé était un peu déstabilisant, les variables introduites étant définies de façon floue et les questions peu précises.]

$\boxed{15}$ `Centrale 24`

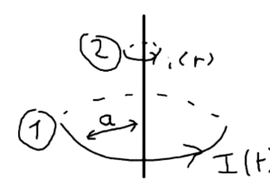
On considère 2 électrons de charge $-e$ placés en $(x = \pm a; y = 0; z = 0)$.
1. Donner le potentiel $V_1(M)$ en tout point de l'espace. Faire un DL à l'ordre 2 au voisinage de O.

On ajoute à la situation précédente 2 charges $+e$ en $(x = 0; y = \pm a; z = 0)$.
2. Donner le potentiel total $V(M)$ en tout point de l'espace. Faire un DL à l'ordre 2 au voisinage de O.
3. Trouver les positions d'équilibre d'un électron $(-e)$ placé au voisinage du point O dans la distribution précédente. Dans quelle direction (Ox, Oy, Oz) cette position est-elle stable ?
4. Donner la forme du mouvement dans la/les directions *stables*, en faisant apparaître une pulsation caractéristique ω.
5. Question bonus : trouver le courant I à faire passer dans une bobine pour obtenir un champ magnétique de $0,1\ T$. On donne $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}\ H/m$.

$\boxed{16}$ `Mines 24`

►**<u>EX1</u>** : on se place dans l'air et on modélise un mammifère par une sphère de rayon R fournissant une puissance P. La température à grande distance du mammifère est de $T_0 = 10°\text{C}$ et on note $T_p = T(R)$ la température de peau du mammifère.
Déterminer $T(r \geq R)$, et exprimer la température de peau T_p en fonction de P.
<u>AN</u> (de tête) : quelle est la puissance P à fournir pour avoir $T_p = 35°\text{C}$ avec $R = 3\ cm$.
On donnait $\lambda_{eau} = 0,6\ W.m^{-1}.K^{-1}$, $\lambda_{air} = 0,03\ W.m^{-1}.K^{-1}$.
Calculer la puissance volumique associée, la comparer avec celle d'un humain.
Discuter de l'influence de l'eau dans le milieu extérieur et expliquer la différence de taille entre les mammifères terrestre et marin [précision, les poissons qui sont petits n'entrent pas dans le raisonnement car ce ne sont pas des mammifères (ne se chauffent pas)].

►**<u>EX2</u>** : on donne l'expression du champ magnétique généré par la spire 1 (de rayon a, d'axe Oz) sur son axe : $\overrightarrow{\mathrm{B}} = \dfrac{\mu_0 I a^2}{2(a^2+z^2)^{3/2}}\overrightarrow{\mathrm{e}_z}$.



1. Vérifier la cohérence de l'expression proposée. Déterminer la composante radiale du champ $\overrightarrow{\mathrm{B}}$ à proximité de l'axe.

On ajoute maintenant la spire 2 de rayon $b \ll a$.
2. Déterminer le courant i circulant dans la spire.
3. Calculer la résultante des forces de Laplace sur la seconde spire.
4. On calcule que pour $I(t) = I_0 \cos(\omega t)$, cette résultante est nulle… mais en pratique ce n'est pas le cas : pourquoi ?

[Les deux exercices étaient donnés durant la préparation et l'examinateur attendait que les deux aient été abordés durant la préparation. Examinateur bienveillant qui me posait des questions pour prendre du recul sur l'exercice.]