

Physique PC/PC*

Centrale 2024
Physique-Informatique

Physique

Présentation des épreuves

Épreuve de physique

Précisons en préambule que l'épreuve de physique filière PC est une épreuve de **30 minutes sans préparation** qui porte sur l'**intégralité des programmes de physique de PCSI et de PC**. Le sujet posé dans un cadre identifié ne propose pas a priori de démarche à conduire, laquelle est essentiellement du ressort des candidats. Ceux-ci auront à cœur de conduire une résolution dynamique et autonome, tout en se tenant prêts à interagir de manière constructive avec l'examinateur. **La calculatrice est bien sûr autorisée** ; certains le découvrent hélas au dernier moment.

Les candidats, munis de leur convocation, d'une pièce d'identité valide et de leur calculatrice en état de marche, patientent dans une salle d'attente avant d'être appelés par l'examinateur et conduits en salle d'interrogation. Après le contrôle des documents mentionnés et l'aménagement, les candidats se voient proposés un exercice. Au bout des trois ou quatre minutes de découverte de l'énoncé, les candidats développent leur résolution au tableau. Les téléphones portables demeurent éteints et rangés dans les sacs.

Les principales compétences évaluées par cet oral sont : l'analyse des informations, la réalisation de consignes, la mise en place et la validation d'une démarche, l'autonomie et la capacité à communiquer.

Le respect des horaires par les candidats a été parfait cette année.

Épreuve de physique-informatique

Les candidats disposent d'environ **30 minutes de préparation suivies de 30 minutes d'interrogation**.

La calculatrice est autorisée aussi bien pendant la préparation et la présentation. **Un ordinateur muni d'une distribution Python est également à la disposition des candidats pendant la préparation et la présentation**.

Les candidats sont jugés sur leur capacité à **mettre en œuvre une démarche scientifique** pour répondre à un problème posé fortement contextualisé. Ils sont ainsi évalués sur leur **assimilation opérationnelle** des notions, leur **autonomie** dans la mise en œuvre d'une démarche, la **rigueur** et l'**aisance** dans leur raisonnement, la **réflexion** et la **prise de recul** sur la situation et les résultats obtenus, leur **bonne maîtrise des outils mathématiques et informatiques** et, enfin, leur **capacité à interagir** de façon constructive avec l'examinateur.

Les sujets sont tous contextualisés et peuvent aborder plusieurs thèmes (optique et thermodynamique, traitement du signal et physique des ondes ...) des programmes de première et de deuxième année.

Les sujets mettent en jeu des **soutils variés** afin d'une part d'introduire le problème proposé et d'autre part de contribuer à la démarche de modélisation : programmes Python, vidéos, animations, graphes, photographies, documents...

Une très grande majorité des sujets fait appel à un script Python qui permet de compléter l'étude analytique. Celui-ci peut permettre de :

- tracer des courbes théoriques ou des jeux de points expérimentaux ;
- résoudre numériquement des équations différentielles ou aux dérivées partielles ;

Physique

4 décembre 2024 13h47

1

- ajuster des données par une loi théorique ;
- aider à la réalisation des applications numériques...

Dans tous les cas, les scripts sont commentés et les passages à modifier sont clairement indiqués.

La préparation est ainsi proposée pour laisser aux candidats le temps de faire le point sur leurs connaissances, de s'approprier le contexte et d'utiliser des outils numériques de résolution.

Analyse globale des résultats

Épreuve de physique

Avant toute chose, le jury de physique salue l'immense mérite des candidats et de ceux qui leur dispensent une formation aussi riche qu'exigeante.

Le jury a constaté avec bonheur cette année **une hausse très significative du niveau général** des prestations fournies. Les capacités de résolution, la maîtrise des principales notions du programme et l'engagement des candidats ont véritablement progressé cette année par rapport aux années précédentes. La raison pourrait peut-être se trouver dans le solde des années covid qui n'ont affecté les étudiants qu'au niveau de leur classe de seconde : en ayant suivi un cursus normal de première et de terminale, ils ont pu profiter pleinement de leurs années de classes préparatoires. À de très rares exceptions, le filbre de l'écrit a également très bien fonctionné.

Il demeure bien sûr un certain nombre de points à améliorer qui sont détaillés dans les parties thématiques qui suivent dont le fil conducteur se trouve être un défaut de maîtrise du formalisme et de l'outil mathématique. On ne note pas, cette année, de domaine particulièrement problématique.

Si quelques candidats découvrent au moment du passage de l'épreuve son format, l'immense majorité semble avoir profité de la lecture des précédents rapports et fait montre d'un engagement remarquable. Tous en tout cas sont surpris par la brièveté de l'oral, sans doute en raison de l'intensité remarquable de leur engagement.

Épreuve de physique-informatique

Le jury de physique-informatique tient à saluer l'implication et le sérieux des candidats lors de l'épreuve.

Comme lors de la session précédente, certains candidats réalisent d'excellentes prestations : ils possèdent une solide culture scientifique, maîtrisent parfaitement tous les aspects techniques (calcul mathématique, programmation Python) et font preuve d'un excellent sens physique.

Enfin, l'utilisation de l'outil informatique est de plus en plus courante et aisée.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Remarques générales

Épreuve de physique

Rappelons encore que les candidats doivent conduire une **démarche autonome et dynamique** sans attendre de l'examinateur des relances et des confirmations continues mais en se tenant prêts à rebondir

Physique

4 décembre 2024 13h47

2

aux interventions de ce dernier : le moteur doit toujours être le candidat et jouer la montre, n'est pas une option pour une épreuve aussi courte. Une certaine tenue est bien évidemment attendue au niveau du langage et de sa fluidité. Il en va de même pour la gestion du tableau qui laisse parfois à désirer en raison de schémas inexploitable et/ou d'une écriture illisible ou foisonnante. Le jury a toutefois particulièrement apprécié cette année la combativité des candidats, leur meilleure efficacité et la précision du vocabulaire employé. **Les échanges avec l'examinateur sont valorisés** quand ils permettent d'avancer dans la résolution et ne doivent pas être pris en mauvaise part par le candidat.

Une fois le sujet lu **dans son intégralité** (notamment les données et copies annexes), les candidats doivent impérativement commencer par une véritable **analyse physique** du problème posé : c'est elle seule qui va leur permettre de construire une démarche opérationnelle. Les résultats intermédiaires seront également analysés pour contrôler leur pertinence, la légitimité des hypothèses effectuées et l'avancement de la résolution. **Les applications numériques ne sont pas à dédaigner** et leur analyse est souvent importante dans la résolution. On n'oubliera pas d'apporter une calculatrice en état de marche... Il faut être capable de jongler rapidement avec les unités et leurs multiples. On peut penser à regrouper certains résultats dans des tableaux si besoin. On ne néglige rien dans l'absolu : il faut un élément de comparaison pour le faire et éventuellement chiffrer l'approximation effectuée.

L'oral de physique nécessite de la part des candidats un recul et une vraie capacité de modélisation qui impose des allers-retours continus entre les résultats obtenus, les hypothèses effectuées et la contextualisation proposée. De nombreux candidats y parviennent et réussissent alors leur oral. Certains candidats toutefois ont pour réflexe de mitrailler des phrases sans aucun recul ni efficacité et ce malgré les interventions de l'examinateur. La notation ne se fait pas au nombre de mots lancés en 30 minutes.

Le formalisme mathématique est parfois (et heureusement de moins en moins) malmené. Le jury constate des difficultés relatives à l'intégration (absence remarquable d'élément différentiel, confusion entre une intégration et une multiplication à croire que tous les champs sont constants, difficulté à résoudre des équations différentielles classiques), à la dérivation (notamment au niveau des notations du type dF/d^2x et ses nombreuses variantes), au mélange des écritures scalaires et vectorielles et aux outils d'analyse vectorielle. Les coordonnées sphériques et cylindriques posent encore des difficultés à certains candidats, notamment quand il s'agit de calculer une accélération. Notons également des faiblesses dans le tracé de graphes de fonctions élémentaires. La lecture d'un graphe donné avec des échelles logarithmiques ne doit pas être problématique.

La maîtrise des différents opérateurs dans le système des coordonnées cartésiennes est indispensable et pourtant parfois problématique. Rappelons que, dans ce système, les coordonnées du laplacien vectoriel sont les laplaciens scalaires des coordonnées.

Certains essaient de contourner le calcul d'un produit vectoriel pour la seule raison qu'ils ne savent pas le faire : ce problème peut être réglé facilement avant l'oral. La notion de moment est parfois également problématique, sans doute pour la même raison.

La définition du système étendu et du référentiel d'étude est un préalable indispensable à toute démarche, même si ces derniers peuvent paraître évidents. Certains abordent un exercice de mécanique sans définir l'un ou l'autre ; la suite se devine alors.

Il faut vérifier les conditions d'applications avant d'utiliser des relations ou des théorèmes physiques. On donnera leur nom au moins une fois avant d'user de leurs acronymes.

Un schéma de situation bien réalisé permet de gagner énormément en temps, en clarté et en justesse.

Commaire (ou retrouver très vite) les surfaces et volumes élémentaires est souvent précieux.

Les candidats peuvent être interrogés sur l'intégralité des programmes de PCSE et de PC (y compris les travaux pratiques).

Epreuve de physique-informatique

L'oral débute dès l'appel dans la salle d'attente ; entre la signature de la feuille d'embarquement et la présentation du sujet, du script et des supports sur l'ordinateur, la phase de présentation n'excède donc que rarement les 27 minutes.

La calculatrice est autorisée, mais il est aussi tout à fait possible d'utiliser une console **Python** sur l'ordinateur pour y effectuer les applications numériques.

Notons de plus qu'il est important de se munir d'une règle pour exploiter pleinement certains supports graphiques.

Depuis quelques années, un formulaire est mis à disposition des candidats sur l'ordinateur en PDF. Il est présenté par l'examinateur et laissé ouvert sur le sommaire, cliquable ; une recherche par mots clés est également possible. Il contient les éléments suivants :

- des données numériques, valeurs des constantes fondamentales, tableau périodique, données diverses (système solaire, ordres de grandeur divers de capacités thermiques massiques, viscosités...);
- quelques formules mathématiques, opérateurs d'analyse vectorielle, trigonométrie, primitives diverses...;
- les formules de physique à rappeler dans le cadre du programme, par exemple les relations de conjugaison, l'équation de Schrödinger, l'équation de Navier-Stokes...

Certains sujets rappellent l'existence du formulaire lorsqu'ils y font référence, mais tout candidat peut s'y référer s'il le pense utile.

La spécificité de l'épreuve tient dans ses 30 minutes de préparation. Or la gestion de ce temps est très souvent inefficace.

La préparation doit servir à :

- **s'approprier** le contexte, se remémorer le cours afférent, comprendre les hypothèses (et ne pas passer à côté de certaines d'entre elles souvent fondamentales, ou comprendre de travers la première question) ;
- **prendre en main le script Python**, la lecture du script est un minimum qui permet de ne pas se retrouver dépourvu lors de la présentation. La phrase « je n'ai pas eu le temps de regarder le code » est plus que dommageable mais heureusement de plus en plus rare ;
- **réfléchir aux pistes de résolution**, sans forcément les mettre en œuvre. Les candidats ne peuvent pas passer l'intégralité de leur préparation sur la première question sans réfléchir à la suite du sujet ;
- enfin, commencer à **mettre en place les démonstrations** de cours, calculs, applications numériques, écriture de code.

Le jury tient à rappeler qu'il n'est pas attendu lors de la présentation qu'un candidat saute les questions comme il pourrait le faire pour un écrit : il n'est pas possible de passer des questions sans y être invité par l'examinateur.

Les problèmes proposés ont une structure qui se veut la plus proche possible d'un problème réel à analyser, et les candidats doivent montrer **leur capacité à construire un raisonnement logique** pour les résoudre. Il faut donc avoir pris le temps de réfléchir à des pistes pour chacune des questions, car elles seront abordées linéairement pendant le passage.

Conformément à cette idée, il est très important de prendre conscience que la note ne dépend absolument pas de la quantité de résultats trouvés pendant la préparation ou du nombre de questions traitées, mais bien de la qualité – et non de la quantité – de ce qui est présenté et échangé oralement avec l'examinateur pendant la présentation.

La préparation reste bien cela : une préparation au passage à l'oral. Le jury valorise ainsi principalement une bonne prestation orale, améliorée – on l'espère – par la phase de préparation.

Une connaissance précise du cours est évidemment nécessaire mais, plus qu'une retranscription automatique de certaines démonstrations vues en cours (équation de la diffusion thermique, équation de propagation des ondes acoustiques dans un gaz...), le jury évalue une appropriation de ces concepts et leur adaptation à une situation nouvelle.

Au titre d'une bonne prestation orale, le jury attend ainsi des candidats qu'ils présentent en premier lieu la situation physique étudiée, la démarche de résolution envisagée, pour qu'une discussion qualitative s'engage éventuellement avec l'examinateur. **La réalisation de schémas est bien trop souvent négligée par certains candidats.**

La description soignée de la démarche, la justification rigoureuse des relations utilisées et l'analyse physique des résultats obtenus sont des critères d'appréciation essentiels pour le jury.

Enfin, le jury apporte une très grande importance aux applications numériques. Elles sont incontournables et il n'est pas possible d'ignorer ces étapes sans dénaturer complètement la démarche de résolution : elles permettent d'ancre la démarche dans le réel, d'exercer un regard critique sur l'ordre de grandeur obtenu. Ainsi, chaque application numérique doit être commentée.

Le jury tient d'ailleurs à rappeler que la majorité des scripts Python définissent numériquement les variables rencontrées dans le sujet, ce qui peut souvent faciliter la réalisation des applications numériques. Pour les candidats qui préfèrent utiliser leur calculatrice, le jury attend une aisance minimale dans l'usage des fonctions trigonométriques (conversion des degrés en radians) ou de la notation scientifique affichée par leur calculatrice (combien comptent les zéros de leur calculatrice pour proposer une puissance de 10...).

Des exemples de sujets avec les supports associés sont mis à disposition des futurs candidats sur le site du concours.

Remarques générales communes aux deux épreuves

Mécanique

Les sujets de mécanique restent problématiques pour certains candidats. Le plus souvent à cause d'un manque de méthode et de rigueur (vecteur/scalaire, schémas, définitions du système et du référentiel, dérivées, intégrales, conditions aux limites, bases de projections, représentations 3D ou en coupe...), Le simple calcul d'une accélération ou d'un moment cinétique prend parfois beaucoup de temps. La notion de moment (de toute nature) demeure un concept délicat pour un certain nombre de candidats. Il faut absolument creuser ce point.

Redisons qu'il vaut mieux éviter d'appeler PFD ou RFD le théorème de la résultante cinétique (TRC) pour un solide (en rotation par exemple) car cela donne lieu à des confusions irratrapables du style « accélération du solide ». Dans la même veine : certains candidats donnent un « point d'application » au TRC...

L'obtention de la 3^e loi de Kepler doit être assez rapide.

Les théorèmes énergétiques posent parfois problème quant aux forces à prendre en compte.

Concernant les ondes mécaniques, il serait bon de reprendre l'écriture des conditions aux limites ainsi que la différence entre ondes transverse et longitudinale.

Mécanique des fluides

Comme l'an passé, la mise en place d'un bilan (de matière, de quantité de mouvement ou d'énergie) est parfois compliquée : il faut impérativement revoir ce point en commençant par la définition du système ET du référentiel, ce dernier étant souvent oublié.

L'utilité du nombre de Reynolds n'est pas toujours évidente notamment dans la simplification de l'équation de Navier-Stokes.

La force surfacique de cisaillement, appelée dans l'énoncé, est parfois mal comprise et sa manipulation est alors très délicate. Il faut reprendre ce point.

Le calcul de $(\nabla \cdot \text{grad}) \mathbf{V}$ pose des problèmes à certains candidats.

Thermodynamique

La définition du système étudié est encore problématique alors que ce devrait être une seconde nature chez le physicien. Combien de difficultés seraient levées avec ce simple réflexe ! En physique il faut commencer par définir le système ET le référentiel.

Le premier principe ne se limite pas à $dU = CAT$ qui implique que seule une variation de température peut causer une variation d'énergie interne. Dans le même registre, les notions de changements d'état sont à travailler car mal assimilées par certains candidats.

L'utilisation du premier principe industriel est parfois peu spontanée et dès lors problématique. Il faut prendre conscience que le delta porte sur l'espace et pas sur le temps... Son analyse dimensionnelle est délicate pour certains dès lors qu'un débit massique apparaît.

Même si l'on note de nets progrès, l'utilisation des résistances thermiques n'est pas toujours proposée naturellement et leur définition même pose problème (la définition de la résistance thermique n'est pas $1/(e/S)$). Toute description plus élaborée est alors difficile. Les lois phénoménologiques sont en revanche bien connues ainsi que les analogies avec le régime électrique permanent.

Si l'équation de la diffusion thermique est correctement restituée, son établissement pose parfois de sérieux problèmes. Il serait bon de réaffiner la notion d'ARQS thermique, notamment quant aux temps caractéristiques à prendre en compte. Les lois de Fick et de Fourier sont plutôt bien maîtrisées. Il est bon d'explorer, le cas échéant, la conservation du flux : la résolution est alors plus rapide.

On pourrait revenir de la définition de l'enthalpie que la pression a la dimension d'une énergie volumique. Ce serait précieux en mécanique des fluides, notamment avec la relation de Bernoulli.

Electromagnétisme

Les surfaces de Gauss doivent être fermées et le théorème d'Ampère s'applique sur un contour fermé. Il est bon de savoir passer d'une équation locale à sa formulation intégrale, les deux écritures apportant des résultats complémentaires.

Le minimum que l'on attend d'un champ électromagnétique est de satisfaire aux équations de Maxwell. Le champ électrique a pour unité V/m et le vecteur de Poynting le W/m^2 : certains le découvrent le jour de l'oral. De même $|\mathbf{B}| = |\mathbf{E}|/v_{\text{itesse}}$. Il y a une dérivée temporelle dans les équations de conservation. La relation de structure nécessite de valider certaines hypothèses. La définition d'une OPPM est parfois délicate pour certains, chacun des termes demandant à être compris et justifié. De même, la notion de phase n'est pas toujours comprise. Une réflexion sur les dimensions des différents grandeurs pourrait s'avérer payante.

La force de Laplace n'est pas consubstantielle au phénomène d'induction. Le coefficient de couplage est parfois mal compris.

Les symétries et invariances sont invoquées sans plus de précisions et leurs conséquences également. Quand on cherche le vecteur qui porte un champ en un point M , on s'intéresse aux plans de symétrie ou d'antisymétrie passant par ce point.

Il existe un certain nombre de situations dans le programme à identifier rapidement (plasma neutre, zone vide de charge et de courant, métal ...). L'application du théorème d'Ampère de la magnétostatique hors du régime permanent doit être validée, ne serait-ce que par un calcul d'ordre de grandeur sur les fréquences par exemple.

Certaines notions d'électrocinétique sont à reprendre : algébrisation des tensions et intensités, impédances des dipôles de base, pont diviseur de tension.

Multiplier une grandeur volumique par le volume du système pour obtenir la grandeur extensive cherchée ne fonctionne que si la première est uniforme. On rencontre très souvent cette erreur : ce point est à travailler.

Mécanique quantique

Les sujets s'articulent souvent autour de l'équation de Schrödinger rappelée dans les énoncés. Ils passent généralement par une phase de calculs qui doit être maîtrisée et ne pas occuper toute la séance d'interrogation, mais laisser place à une analyse du phénomène étudié. Il importe de sortir de la réalisation de calculs rituels sans vrai recul. Un minimum d'analyse et de compréhension est souhaitable.

Le passage de l'équation de Schrödinger générale à sa version stationnaire n'est pas toujours très clair et certaines situations de base sont mal maîtrisées (cas où le vecteur d'onde est réel ou pas et phénomènes associés dans le cadre du programme).

La parité du potentiel $V(x)$ n'implique pas celle de la partie spatiale des fonctions d'onde des états stationnaires. Les conséquences et l'intérêt du choix d'un potentiel symétrique sont parfois mal compris.

Optique

Il subsiste encore des difficultés dans les constructions géométriques menant au calcul d'une différence de marche. Le vocabulaire est parfois mal maîtrisé. On rencontre des confusions entre différence de marche, de phase et de chemin optique. Les conditions d'interférences sont rarement bien énoncées et traduisent un manque de compréhension des bases de l'optique ondulatoire. Il importe de comprendre la physique qui permet de passer de $d = kl$ entre deux rayons diffractés par deux traits consécutifs d'un réseau à la formule des réseaux à N ondes.

Même si le diptyque retour inverse de la lumière et théorème de Malus est plus souvent évoqué que par le passé, l'anecdote de ce dernier est parfois incomplet et ses conséquences alors mal exploitées. Il faut le reprendre pour bien l'exposer.

Certains fondamentaux de l'optique géométrique font parfois défaut : défaut d'algébrisation des grandeurs et tracés approximatifs notamment.

Conclusion

Au-delà de ces remarques qui se veulent constructives, les jurys tiennent vraiment à saluer une fois encore le très grand mérite des candidats et de leurs formateurs. Le jury de physique insiste sur les progrès remarquables constatés cette année et forme le vœu de les voir consolidés l'an prochain.

Le succès d'un oral tient dans la capacité à mener sa résolution de façon dynamique et autonome tout en interagissant de façon constructive avec l'examinateur. Le préambule demeure toujours une véritable analyse physique du problème. Jamais les candidats ne doivent s'en départir tout au long de ce court exposé, c'est véritablement leur boussole.

Il importe de respecter le formalisme mathématique indispensable à toute démonstration. La maîtrise des points essentiels du cours et une vraie approche physique des problèmes posés sont également nécessaires. Comme chaque année, les jurys de physique et physique-informatique forment le vœu que les remarques et conseils formulés dans ce rapport soient utiles aux futurs candidats et aux équipes qui les forment si brillamment.

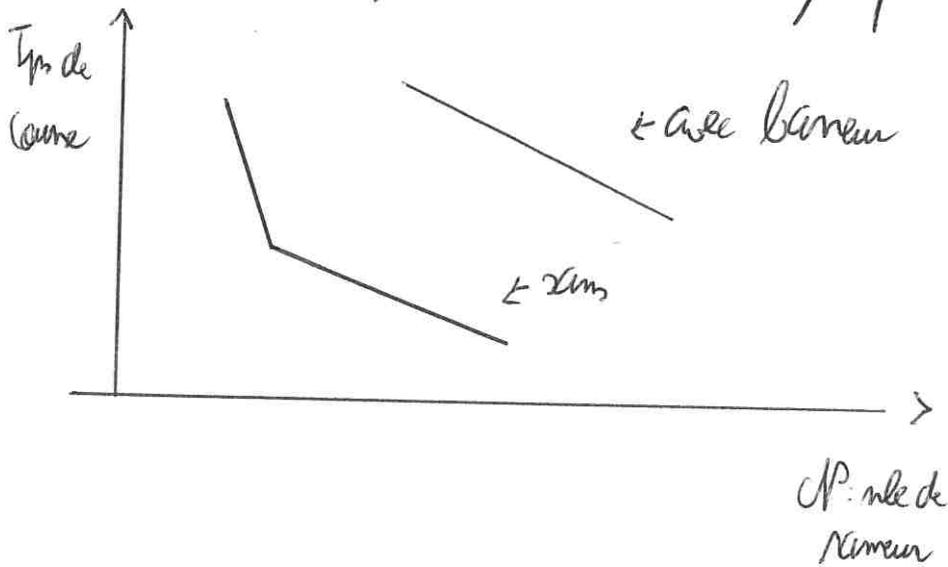
Examen CS₀ (2024)

Exercice:

①

Vitesse en fct du nble de passages et avec lameur
ou non.

Ballon avec rotors suivant caractéristiques précédentes



1) Analyse course

2) Hypo: > Longueur caractéristique bateau L

> Chaque homme a une masse m

> Chaque rameur fournit une puissance P_0

> Viscosité de l'eau

> Bateau \rightarrow vitesse U

L > masse M

L > à l'équilibre par rapport au niveau de l'eau: $\vec{p} = -\vec{\pi}_A$

2) Trouver une relation entre \mathcal{P} (méd. réson.)
et U à une bte près.

Indication: Déterminer \vec{P}_{tot} résonance

$$\text{Es } \vec{P}_{\text{flottant}} = -\frac{c}{2} \pi f n^2 v \vec{s}$$

\Rightarrow On trouve \vec{P}_{tot}

$$\text{Es utiliser } \vec{P} = -\vec{\pi} A$$

\Rightarrow Relation entre N et L

3) 4) Mettre relation dans l'arbre puis analyser
ds casles (+ repère calcul si on plus on
a un barreau)

5) Modèle \oplus fin

\hookrightarrow Présence d'une couche limite $S(x)$

Expliquer forme de S

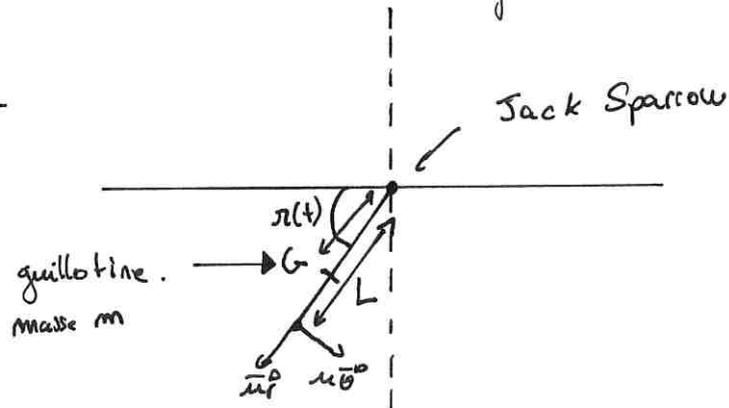
Analogie avec effet de peau.

2

EXERCICE

- Introduction : • Vidéo de Jack Sparrow de Pirate des Caraïbes qui va se faire guillotiner.
- Modélisation de $\pi = f(t)$

• Schéma:



\Rightarrow on veut $\pi \neq 0$ pour que Jack ne meurt pas.

• Questions:

- 1) Calcul de T période du mouvement du système.
À quoi peut-on l'associer?

On considère $\dot{\theta} = \omega$ (constant)

- 2) Déterminer l'équation différentiel du mouvement

CL: $\pi(0) = L$ et $\dot{\pi}(0) = 0$

- 3) Quelle(s) sont les conditions pour que $\pi(t) = L \quad \forall t$

- 4) Quelle(s) sont les conditions pour que sur le premier tour, $t \in [0, T]$
 $\pi(t) = 0$.

- 5) Sur le programme proposé faire varier les paramètres pour retrouver nos conditions.

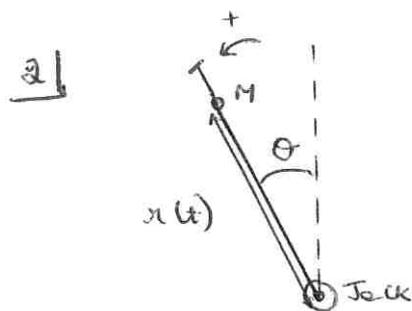
Physique 2 - Centrale

28

Execution de Jack Sparrow

assez long à décrire, aller voir sur Youtube.
On s'intéresse aux mouvements de la lame de la guillotine.

1) Estimer la longueur de la guillotine sur le film et la période de sa rotation. Commenter avec un module de pendule simple.



On fait tourner la guillotine à vitesse angulaire $\omega = \text{cte}$, on note $r(t)$ la distance entre la lame et le cou de Jack.

a) Montrer que r vérifie l'équation

$$\frac{d^2 r}{dt^2} - r\omega^2 = -g \cos \theta$$

b) Résoudre cette équation en pose $\alpha = \frac{g}{L\omega^2}$

En $t=0$, $\theta=0$ et $r=L$

c) Étudiez le cas $\alpha = \frac{g}{L\omega^2}$

Physique - info

Centrale

③

- les trous noirs -

Document :

- image d'un trou noir de masse $M_0 = 10^{36} \text{ kg}$
- classement de trous noirs en fonction de M_{Soleil}

1. Expliquer l'appellation d'un 'trou noir', la modélisation et la classe du trou noir étudié.

2. Mouvement dans un champ de force centrale. Conservation de deux grandeurs : lesquels ? En déduire $E_{\text{eff}}(r)$.

3. Quelle est la vitesse de libération d'une étoile ? On donne $v_{\text{lib}} < c$. Trouver R_0 la limite de la taille du trou noir.

4. Étude de l'astre M^* tel que $\vec{F} = -g \frac{M_0 M^*}{(R_0 - r)^2} \vec{e}_r$. Expliquer. Tracer $E_{\text{eff}}(r)$ à l'aide de Python et commenter.

5. On prend $E_m = 0$. Trouver r_{min} et r_{max} à l'aide d'un script Python donnant les racines d'un polynôme.

6. Relativité générale : $\bar{a} = \frac{ac^2}{gM_0} < 1$.

Dimension de a ?

Faire l'analogie avec J le moment cinétique
Quelle condition poser sur J ?

7. Quelle est l'influence de la rotation de la Terre ? D'où vient l'appellation de 7 jet stream ou 7 courant jet ?

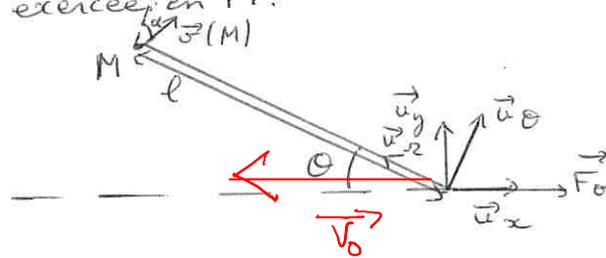
exercice de mécanique: Voile de parapente

Début de l'énoncé: plusieurs photos de décollage d'une voile de parapente tous les 200 ms

Une voile de parapente est assimilée à un point M de vitesse \vec{v}_M dans R_T , reliée à O de vitesse \vec{v}_O dans R_T .
Écoulement de l'air autour de la voile \Rightarrow viscosité air

$$\nu = 1,57 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}$$

- données: μ_{air} $S_{\text{voile}} = 13 \text{ m}^2$ envergure de la voile (m)
 • fil inextensible entre M et O de longueur l
 • tension T_e exercée en M.



1) Force de traînée \vec{D} et force de portance \vec{L} en M
 \rightarrow montrer que D et L peuvent se mettre sous la forme:

$$D = \frac{1}{2} \mu S C_D(\alpha) v_M^2 \quad \text{et} \quad L = \frac{1}{2} \mu S C_L(\alpha) v_M^2$$

2) montrer que $\cos(\alpha) = \frac{v_O \cos(\theta) + l \dot{\theta}}{\sqrt{v_O^2 \cos^2(\theta) + (v_O l \dot{\theta})^2}}$ \neq pas sûr

$$\sin(\alpha) = \frac{v_O \sin(\theta)}{\sqrt{v_O^2 \cos^2(\theta) + (v_O l \dot{\theta})^2}}$$

3) A l'aide de la méthode de votre choix, trouver une relation entre T_e , α , θ , σ_M , σ_0
(pos. sûr)

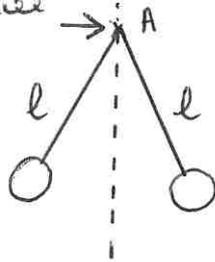
4) Montrer que $\ddot{\theta} + \frac{F_0}{m l} \frac{\tan(\alpha)}{\cos(\alpha)} \dot{\theta} + \text{truc } \theta = \text{truc} + \text{truc}'$

5) Mettre en évidence un temps τ en fonction de F_0 , m , l
Que représente τ ?

Centrale
Physique-Info

5

Vidéo + document python à compléter.
main placée au point A



2 masses attachées au bout d'un fil.

mouvement vertical (oscillations) du point A

(les masses se touchent en haut puis en bas)

1) vidéos de la main entraînant les boules en mouvement
↳ ODG de l , m (masse boule), accélération de la main.

2) On s'intéresse qu'à un seul pendule.

Phase 1 (ψ_1) lorsque la boule descend

↳ accélération à $+a\vec{u}_z$

Phase 2 (ψ_2) lorsque la boule monte

↳ accélération $-a\vec{u}_z$, a constante

- équation du mouvement lors des 2 phases
- exprimer $\dot{\theta}_1$ qui correspond à la fin de la ψ_1
- exprimer $\dot{\theta}_2$ qui correspond à la fin de la ψ_2

3) exprimer $\dot{\theta}_n$ qui correspond à la fin de la n^{e} descente

exprimer $\dot{\theta}_n$ qui correspond à la fin de la n^{e} montée

4) Condition pour que la boule fasse un tour complet

5-6) Python

Centrale Physique - Info

6

• Exercice sur une cafetière (énoncé p80)

① Calcul d'ordre de grandeur P_e puissance électrique de la résistance

↳ utilisation d'un graphe donnant $T = f(t)$

② Sachant qu'il y a 1 équation thermodynamique entre l'eau vapeur et l'eau liquide, trouver P_i (pression initiale) en connaissant T_i .

③ On a $\Delta P = R_h Q_v$
variation pression entre état initial et t débit volumique

Trouver R_h - On nous donne la masse d'eau, variation du temps Δt_1

④ Idem: Trouver R_h , mais cette fois-ci avec Δt_2 car on a ajouté une masse donnée de café.

⑤ On a un écoulement $\vec{v} = v(r) \vec{u}_z$ (symétrie cylindrique)
où $\vec{v} = v(r) \vec{u}_z$ et que on peut négliger le poids

⑥ Calculer le débit volumique Q_v en fonction de R_c (rayon des capillaires)

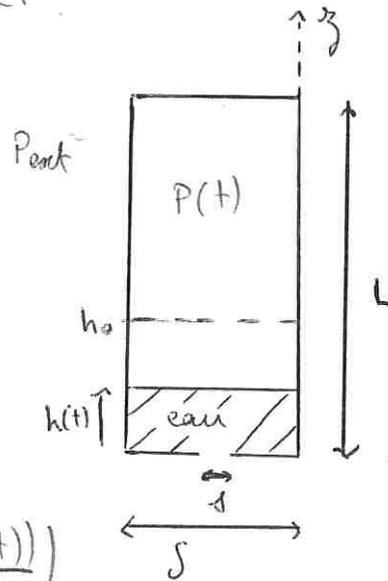
⑦ On donne R_c en fonction d'un paramètre a
Remonter à a en utilisant R_h, Q_v, R_c

Centrale
Physique - Info.

7

On considère une fusée à eau (bouteille remplie d'eau)
→ vidés avec une fusée qui décolle.

- On a $P(t=0) = P_0 > P_{ext}$.
- $s \ll S$ et $h(t) \ll L$.



1) L'évolution étant très rapide, quelle hypothèse peut on faire sur l'évolution de l'air à l'intérieur de la bouteille?

2) Montrer : $P(t) = P_0 \left(1 - \frac{\gamma(h_0 - h(t))}{L}\right)$

3) On suppose que l'écoulement est incompressible.

- Quelles sont les forces qui s'exercent sur la bouteille?
- Montrer que toutes sont négligeables devant une certaine force, à l'air d'ordres de grandeurs.

4) En linéarisant l'équation de Bernoulli, exprimer $v(t)$.

5) Montrer : $\frac{dh}{dt} + \frac{1}{\tau} h(t) = -\frac{h}{\tau} g$

Donner τ et faire une application numérique.

6) On considère $hg \approx 30$ cm. Résoudre cette équation différentielle pour trouver $h(t)$. Trouver le temps de vidage. Faire l'application numérique et commenter l'hypothèse de la question 1.

7) On donne l'expression de u_{max} - $u_{max} = \dots$
Estimer γ_{max} et comparez avec la vidés.

Rem : L'énoncé donne toutes les valeurs numériques nécessaires.

C2 8 2024 Crevettes et cavitation

Contrairement aux idées reçues, le “monde du silence” est parfois bruyant. Une variété de crevettes des mers tropicales est par exemple responsable d’un crépitement intense et continu qui perturbe l’utilisation des sonars. Les crevettes font en effet claquer leur pince hypertrophiée (Fig.1) afin de communiquer entre elles (défense du territoire) et d’assommer leur proies par le bruit produit.

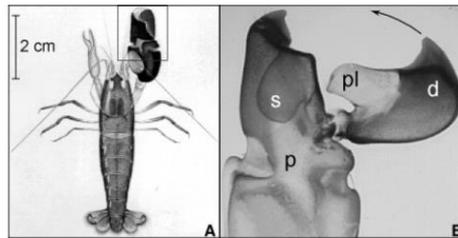


Figure 1: Crevette *Alpheus heterochaelis* et sa pince hypertrophiée.

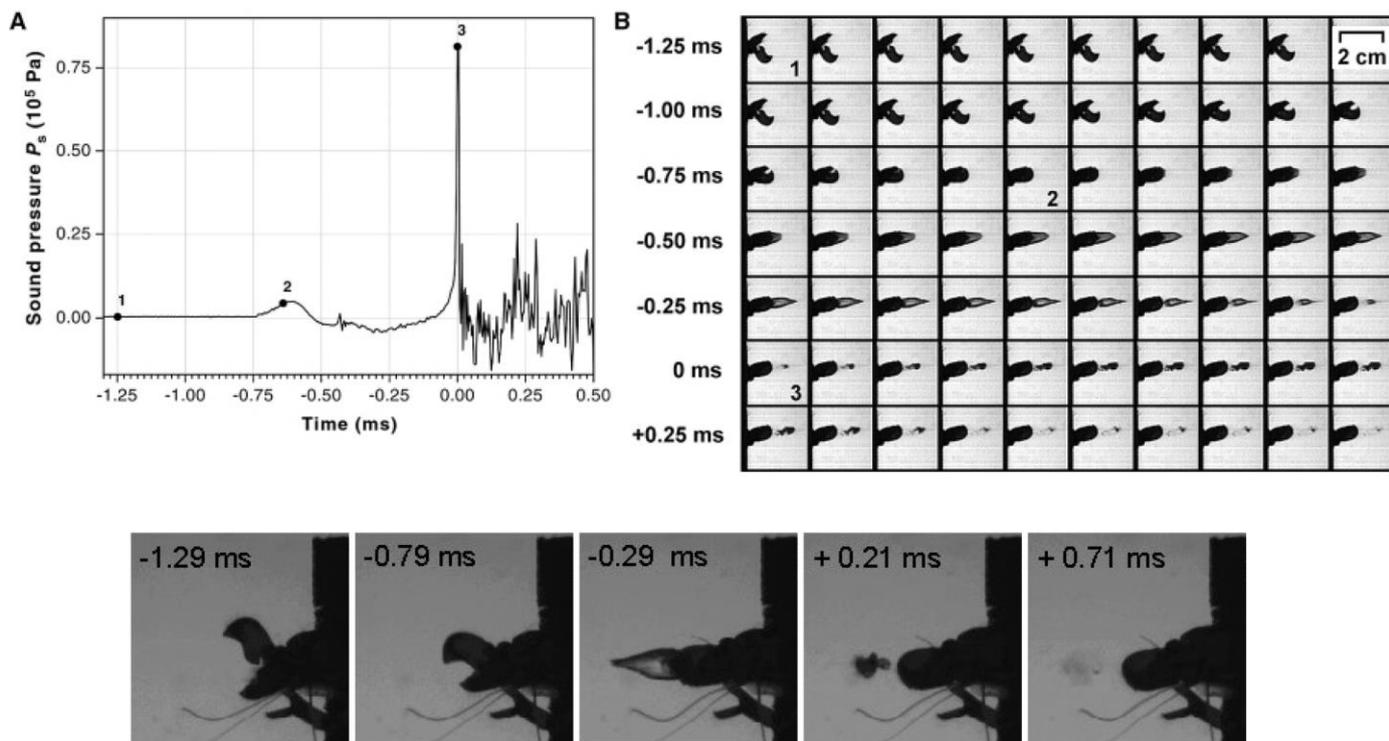


Figure 2: Enregistrement simultané du mouvement de la pince et du son produit au moyen d’une caméra rapide (40500 images/s) et d’un hydrophone. L’intervalle entre les images est de $25\mu\text{s}$ pour la 1^{ère} série et de $500\mu\text{s}$ pour l’agrandissement.

A. Cavitation

1. Le son est-il dû à la fermeture de la pince ?
2. Estimer la vitesse angulaire de fermeture de la pince puis la vitesse du jet d'eau émis.
3. On suppose que l'on peut appliquer la relation de Bernoulli. Justifier l'apparition de bulles de cavitation. On considère que la fermeture de la pince crée un jet d'eau qui peut être éjecté à une vitesse de l'ordre de 25 m/s.

B. Implosion d'une bulle

A l'instant $t = 0$, une bulle de gaz sphérique, de centre O et de rayon initial a_0 se forme dans un volume d'eau supposé infini. Pour simplifier, on néglige l'influence de la pesanteur, on suppose que la pression au sein de cette bulle de gaz est P_b et que son centre O est fixe dans le référentiel galiléen d'étude. L'évolution de son rayon $a(t)$ met en mouvement l'eau et on note $\vec{v}(M,t)$ le champ des vitesses correspondant. L'écoulement de l'eau est supposé parfait, incompressible et homogène ; on note μ la masse volumique.

4. Exprimer $\vec{v}(M,t)$
5. Montrer que $E_c(t) = 2\pi\mu\dot{a}^2a^3$.
6. Loin de la bulle, les conditions aux limites sont à tout instant t : $P(r = \infty, t) = P_\infty$

A l'aide d'un bilan d'énergie, établir la relation

$$\frac{P_0 - P_b}{\mu} = -a\ddot{a} - \frac{3}{2}\dot{a}^2$$

Retrouver ce résultat à l'aide d'une forme intégrée de l'équation d'Euler.

7. En remarquant que $\frac{d}{dt}(a^3\dot{a}^2) = 3a^2\dot{a}^3 + 2a^3\dot{a}\ddot{a}$, obtenir une intégrale première temporelle donnant \dot{a}^2 en fonction de a et des données. On pourra considérer qu'au moment où le rayon de la bulle atteint sa taille maximale a_m , la vitesse d'expansion de la bulle est nulle.

Comment varie la vitesse du liquide lors de l'implosion de la bulle dans la limite $a \ll a_m$?

En déduire la variation de la surpression dans le liquide. Dans quelle zone est-elle maximale ? Estimer cette surpression pour $P_0 = 1 \text{ atm}$ et $a = a_m/10$

CONCOURS : CENTRALE
Matière : PHYSIQUE II

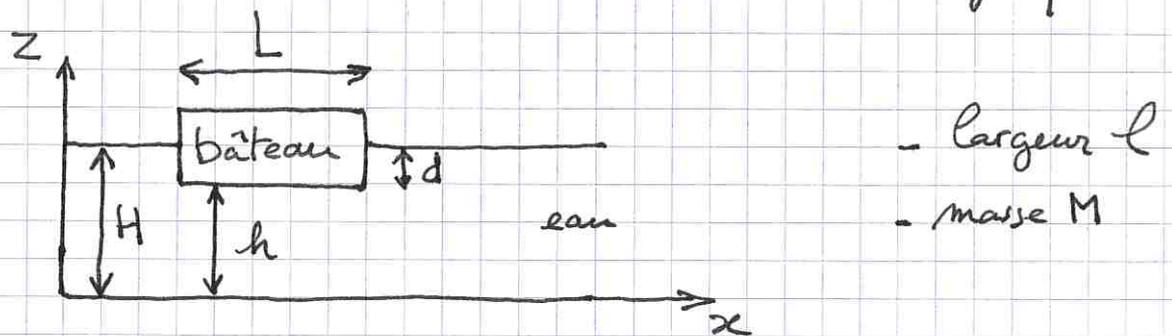
9

SUJET: Bateau qui s'est échoué
dans le canal de Suez.

Vidéo qui ne sert à rien

Ordre à disposition avec :

- Python
- vidéo du bateau
- onglet avec tout le programme de Physique



Le bateau a une vitesse constante

$$\vec{V} = U \vec{u}_x$$

Hyp écoulement

- unidimensionnel
- irrotationnel
- incompressible
- invariant selon \vec{u}_y

CONCOURS: CENTRALE

MATIERE: PHYSIQUE II

1) Dans quel référentiel l'écoulement est-il stationnaire ?

Montrer que vitesse écoulement y est constante avec $\vec{v} = v \vec{u}_x$ où $v = \text{constante}$

Donner v en fonction de u , h , H

2) Calculer la résultante des forces de pression sur le bateau

Quand le bateau est au repos on note $d = d_0$ et $h = h_0$.

3) Etablir que le bateau vérifie au repos:

$$\frac{d_0}{H} = 1 - \frac{h}{H} + \frac{u^2}{2gH} \left(1 - \left(\frac{H}{h} \right)^2 \right)$$

\Rightarrow ça s'appelle la relation de ...

(nom italien style marque soupe tomate style Bocanti, Bonucci, Batoni...)

4) On pose $Y_0 = \frac{d_0}{H}$ $X = \frac{h}{H}$ $F = \frac{u^2}{gH}$

linéariser l'expression précédente

donner $Y(X, F) = Y_0$

CONCOURS: CENTRALE
MATIERE: PHYSIQUE II

5) Tracer $\gamma(x, F)$ pour $F=0$ puis pour différentes valeurs de F .

Commenter. (Que dire sur u pour avoir des positions d'équilibre?)

6) Discuter ces positions d'équilibre

7) x

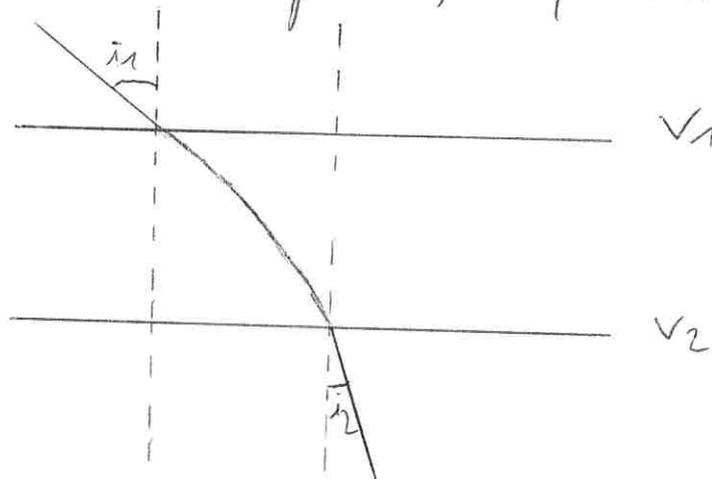
① Soit un électron accéléré à la vitesse $v = 0,1c$

Calculer sa longueur d'onde.

Quel(s) avantage(s) possède le microscope électronique par rapport aux microscopes optiques?

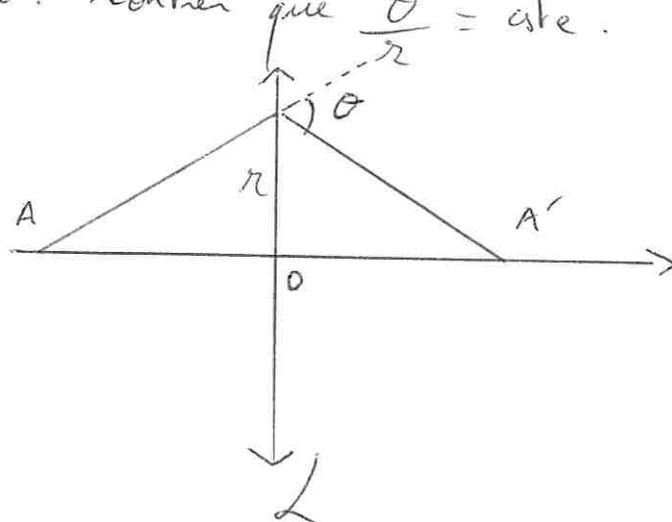
② Soient deux plans chargés aux potentiels V_1 et V_2 , $V_2 > V_1$, et un point O (non représenté) tel que $V(O) = 0$

et $v(O) = 0$



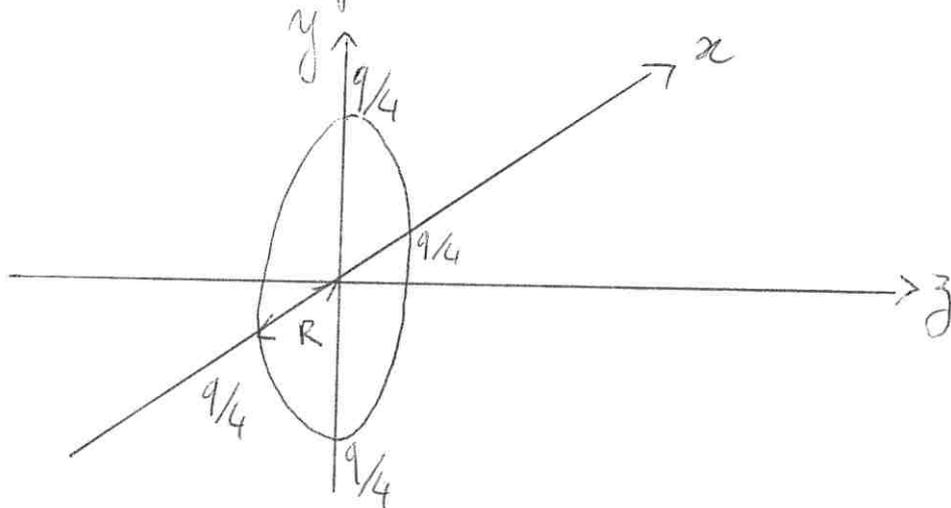
Montrer que la trajectoire de l'électron est similaire aux lois de Descartes.

③ Soit une lentille effectuant un stigmatisme approché. Montrer que $\frac{\theta}{r} = \text{cte}$.



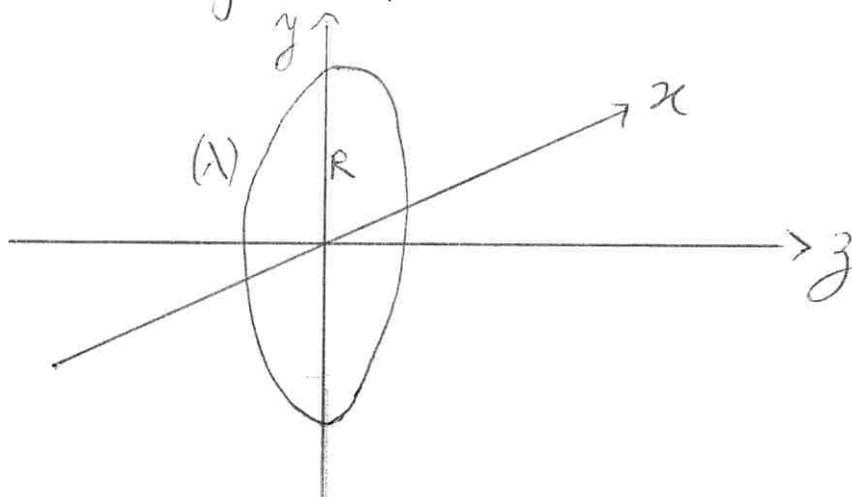
(4) Soit un cercle orthogonal à l'axe (Oz) tel qu'à chaque intersection avec les axes (Ox) et (Oy) une charge $q/4$ est placée.

Calculer le potentiel en M , M étant sur l'axe (Oz)
 Puis calculer le champ \vec{E}



(5) Soit un point P proche de M , on suppose que le champ selon z est le même que pour M

Calculer le champ \vec{E} en P (On passe à une distribution linéique de la charge : $q = 2\pi R \lambda$)



Microscope électronique.

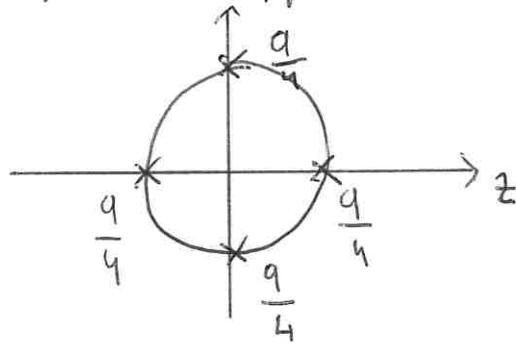
102

1) Un électron se déplace à $0,1c$, déterminer λ .
Quel est l'avantage du microscope électronique par rapport au microscope optique ?

2) Retrouver les lois de Snell - Descartes avec le mouvement de l'électron entre 2 grilles de potentiel V_1 et V_2

3) On a une lentille convergente. $Mg \frac{\theta}{\tilde{n}} = \text{cte}$ pour le stigmatisme approché.

4)



Calculer $V(z)$ puis $\vec{E}(z)$ sur Oz

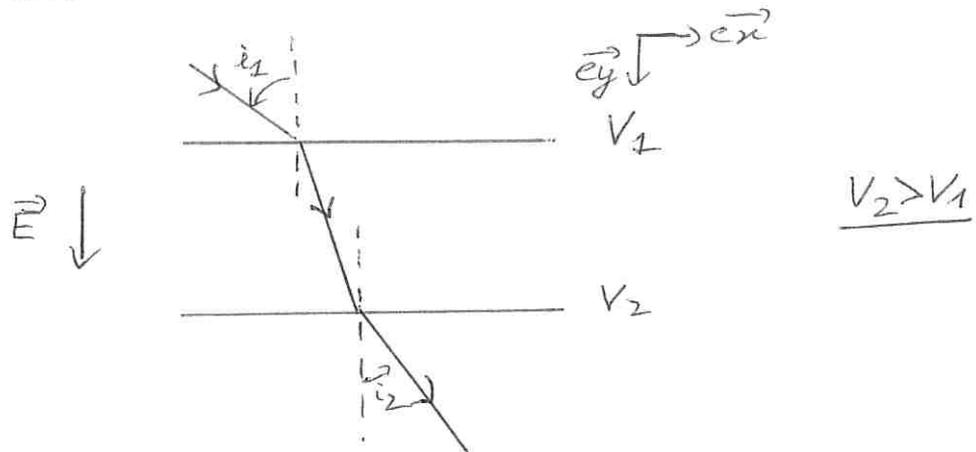
Centrale
Physique - Info

(10c)

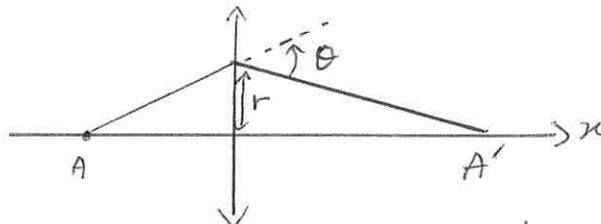
1) Etude d'un microscope électronique.

On étudie le mouvement d'un électron de vitesse $v = 0,1c$. Déterminer λ la longueur d'onde. Quel est l'avantage d'un microscope électronique par rapport à un microscope optique ?

2) On étudie le mouvement de l'électron avant/pendant/après un passage par deux plaques de potentiel. Retrouver une loi de Descartes.

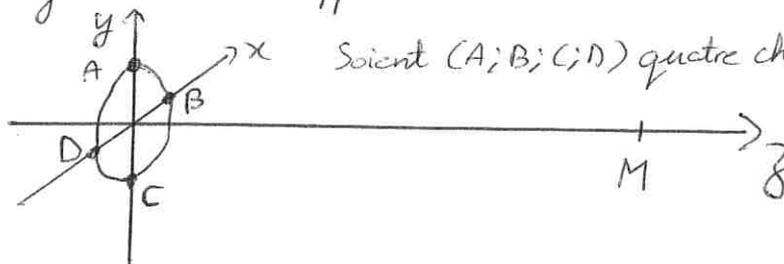


3)



Montrer que $\frac{\theta}{r}$ est constant pour appliquer le stigmatisme approché.

4)

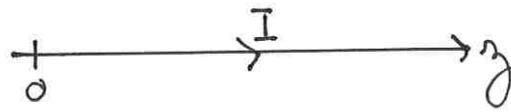


Soient (A; B; C; D) quatre charges. Déterminer V et \vec{E} sur l'axe.

Centrale

Physique-Info II

11

Fil conducteur infini parcouru par un courant I . 

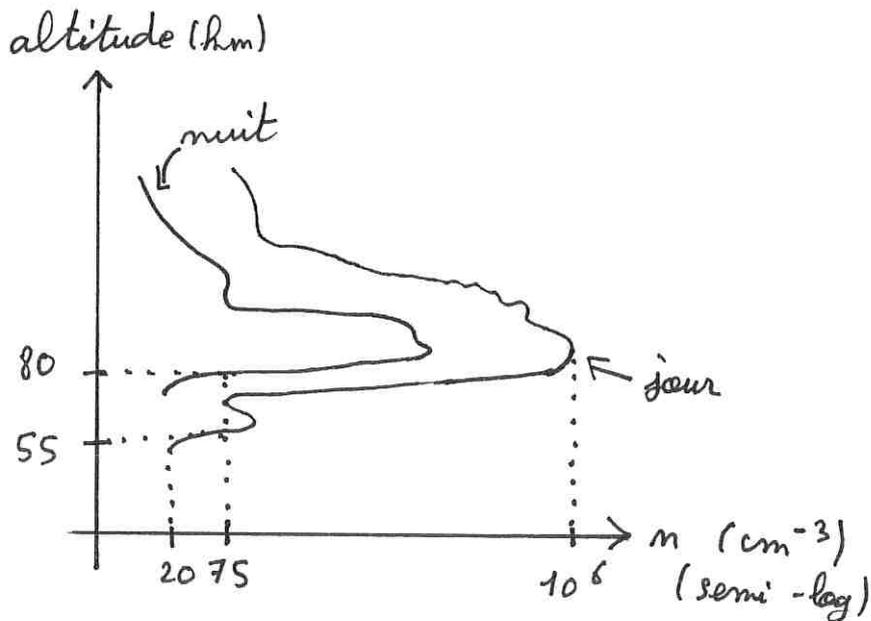
- 1) Déterminer l'expression du champ magnétique \vec{B} autour du fil (coordonnées cylindriques)
- 2) On place une particule M de masse m et de charge q initialement en r_0, θ_0, z_0 avec une vitesse initiale quelconque.
Déterminer l'équation différentielle déterminant le mouvement.
- 3) Montrer que le problème peut être ramené à un problème unidimensionnel conservatif avec une énergie potentielle effective ne dépendant que de r .
- 4) Tracer avec python
- 5) Étudier le mouvement au minimum de $E_{p,eff}$ pour des petites oscillations.
- 6) Tracer ce mouvement avec python.

Centrale : Physique

12

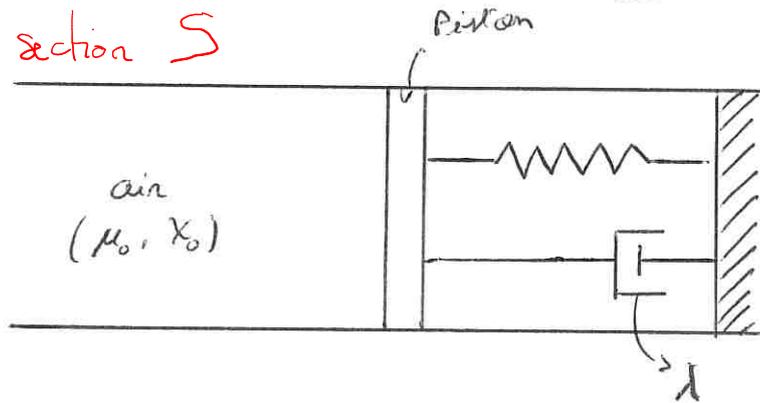
On envoie des ondes à $f = 77,5 \text{ kHz}$ dans toute l'Europe de manière isotrope.

L'ionosphère est assimilée à un plasma de densité n en particules.



Expliquer pourquoi, à certaines heures et à certains endroits en Europe, l'onde est mal reçue.

13



On pose $\underline{z}_a = \frac{\underline{p}(x,t)}{\underline{u}(x,t)}$

→ Calculer \underline{z}_a pour

→ Définir de manière analogue \underline{z}_m

→ Condition d'adaptation d'impédance?

Sujet: yacoustophone.

14

On étudie le déplacement de la cordelette, on la suppose libre et sans frottement interne.

On définit le coefficient de dilatation mécanique:

$$\lambda = \frac{\Delta L}{L} \frac{1}{F}$$

μ : masse linéique

1) Expliquer ce que représente λ

2) Montrer l'équation: $\frac{d^2 l(x,t)}{dt^2} - \frac{1}{\mu \lambda} \frac{d^2 l(x,t)}{dx^2} = 0$.

et donner expression vitesse.

3) La corde n'est pas assez longue donc on rajoute une corde en nylon.

On considère que la transmission est correcte si la diminution de la puissance fournie au niveau de la jonction est inférieure à 70%.

Est-ce que la transmission est correcte?

Données:

* définition impédance mécanique en fonction de λ

* masse linéique de la corde et de la corde en nylon.

* valeur de λ pour la corde et la corde en nylon.

Exercice d'ondes acoustiques

15

On s'intéresse à la propagation des ondes acoustiques, dans le corps humain notamment.

1) Rappeler l'approximation acoustique et établir, à 1D, l'équation régissant l'évolution de $p(M, t)$, la surpression du fluide.

On note ρ la masse volumique constante et χ_s coefficient de compressibilité isentropique.

2) On envoie dans le corps une onde de fréquence $f = 3 \text{ MHz}$, c célérité avec $c = 1498 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

La sonde considérée est un pavé de normale (Oz) et de côtés a et b (selon Ox et Oy) avec $a = 0,5 \text{ m}$ et $b = 1 \text{ cm}$.

Déterminer un ordre de grandeur de χ_s pour le corps humain. Evaluer $\frac{a}{\lambda}$ et $\frac{b}{\lambda}$, et justifier qu'on ne prend en compte la propagation que dans (Oxz) .

3) La propagation soit en réalité :

$$A = \alpha a b \sin c \left(\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda} \right)$$

avec θ l'angle à la normale.

Déterminer l'intensité I .

Tracer à l'aide du programme Python fourni l'expression I/I_0 , avec I_0 à donner selon θ .

Conclusion quant à l'efficacité de la méthode.

Comment peut-elle être améliorée ?

4) On place désormais $N=40$ sondes en parallèle, dont les centres sont écartés de $0,7 \text{ mm}$.

Déterminer la différence de marche pour un angle θ entre les rayons issus de deux sondes côte à côte.

Déterminer l'expression de l'intensité totale de ce réseau.

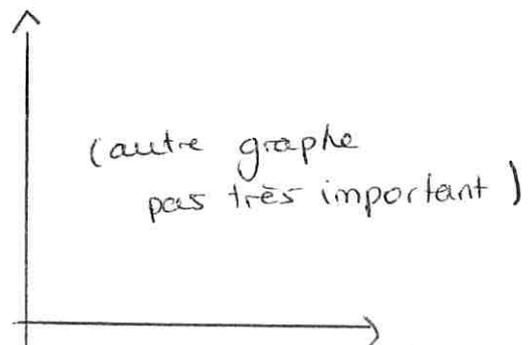
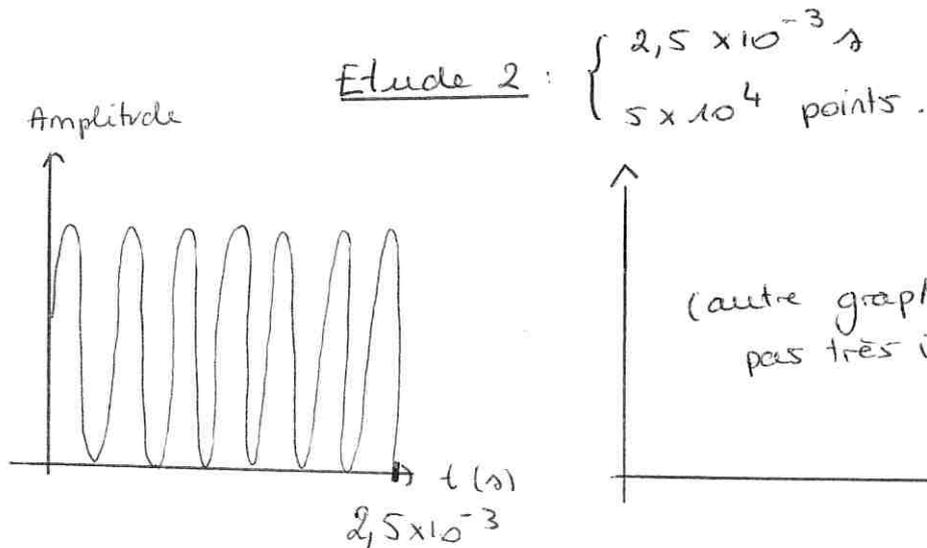
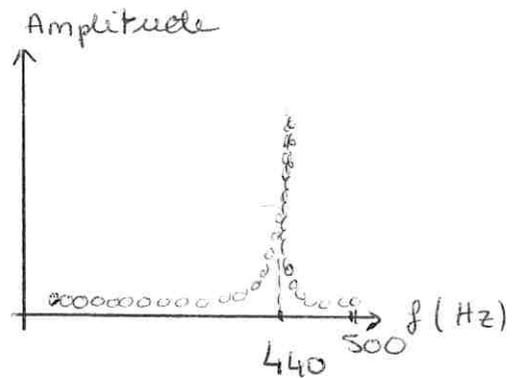
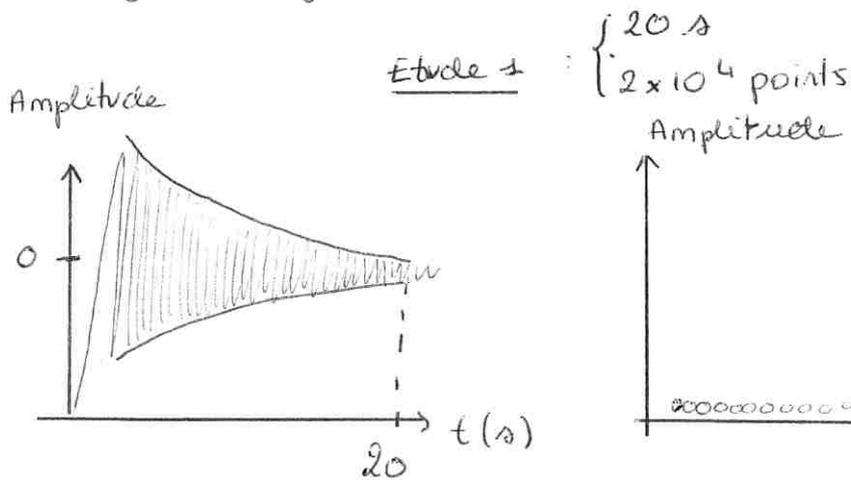
16

Etude du diapason

→ ordinateur à disposition avec :

- x un PDF avec toutes les formules et Odg selon le programme
- x un programme python
- x un petit texte sur le diapason.

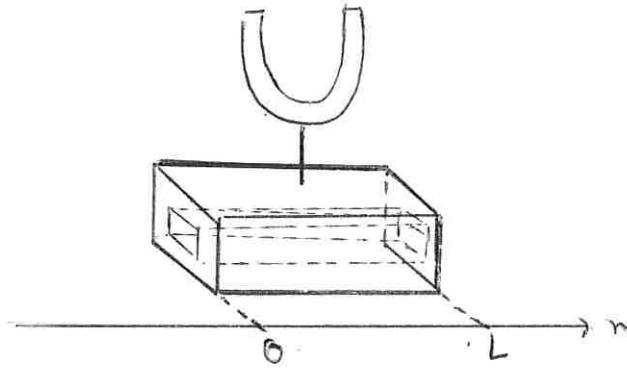
Le programme python renvoie 4 graphes :



Etude du diapason - Questions:

1) Estimer le facteur de qualité Q sachant qu'on peut assimiler le diapason à un oscillateur harmonique amorti. Interpréter le spectre.

2)



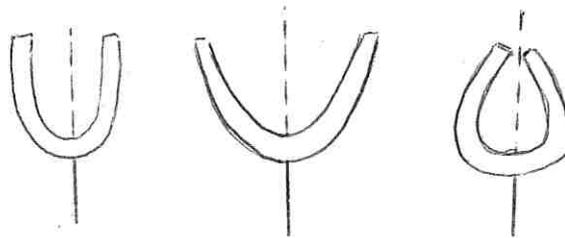
On donne les dimensions de la boîte de résonance
Justifier ces dimensions.

3) On a un autre texte sur les ondes acoustiques, le fonctionnement du diapason etc.

→ les 2 tiges du diapason sont en opposition de phase :

• distance entre 2 tiges : d

• épaisseur tige : e .



Relier la surpression p et la vitesse \vec{v}

Centrale Physique -

Info

162

Sujet : le diapason

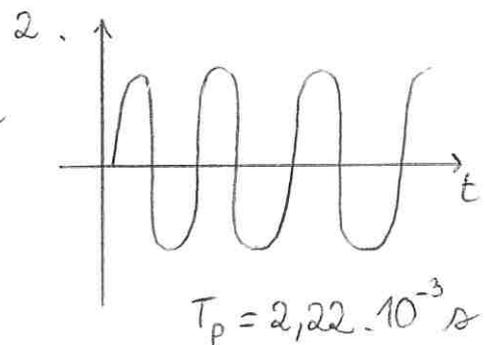
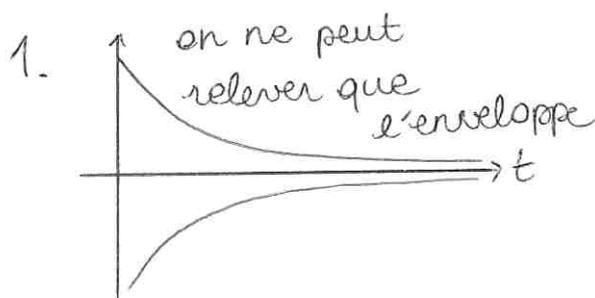
(À disposition : un PDF cliquable avec des formules (dont opérateurs en cylindriques, sphériques), des formules de trigo, des constantes usuelles, des OOG ...).

Le diapason fait un la à 440 Hz.

1) Script Python déjà complet.

2 expériences : on fait résonner le diapason et on mesure l'amplitude de l'onde. L'un sur plusieurs secondes, l'autre beaucoup plus courte.

Observations :



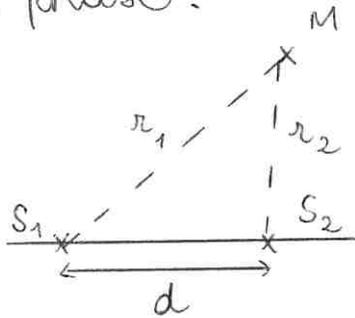
Estimer Q de cet oscillateur amorti.

2) Commenter la valeur de la longueur de la caisse de résonance :

$$L = 19,1 \text{ cm.}$$

(suite diapason)

On modélise le diapason par 2 sources ponctuelles distantes de d en opposition de phase.



On donne

$$p_1 = A_1(r_1) e^{j(\omega t - Rr_1)}$$

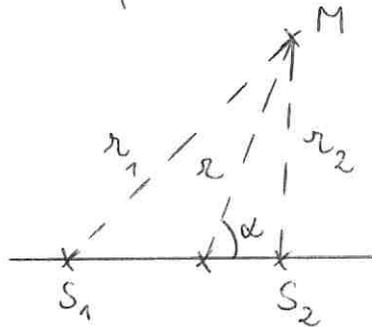
3) Trouver \vec{D}_1 .

4) Montrer que $A_1(r_1) = \frac{c}{r_1}$ (on ne cherchera pas à déterminer c).

5) Donner p_2 et p .

On fait l'hypothèse $d \ll r$ ($r \approx 10 \text{ cm}$),
alors $\frac{c}{r_1} \approx \frac{c}{r_2} \approx \frac{c}{r}$.

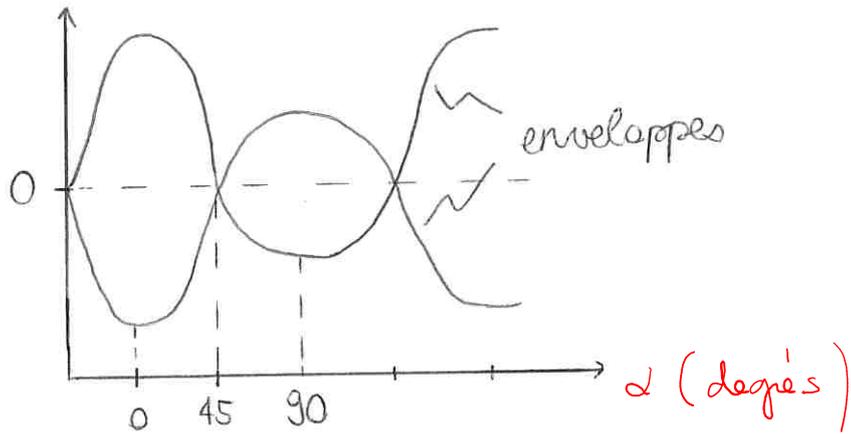
6) Montrer que $r \ll \lambda$.



7) Valeur(s) de α tq l'amplitude de p soit maximale ?

Confronter avec les données exp :

(suite et fin diapason)



Du coup on propose de modéliser avec 2 sources ponctuelles en opposition de phase sur chaque branche.

On donne :

$$p_1 = \frac{c}{r_{1.g}} e^{j(\omega t - kr_{1.g})} - \frac{c}{r_{1.d}} e^{j(\omega t - kr_{1.d})}$$

8) Donner p_2 puis p .
cohérent avec exp ?

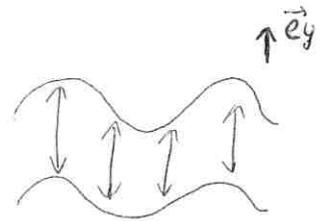
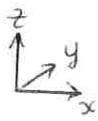
9) Du Python.

Concours Centrale - Supélec, Physique II

17

Exercice: Ondes de Love.

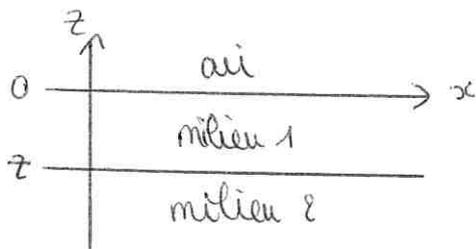
Doc 1: explication du phénomène.



Doc 2: force de cisaillement.

$$\vec{F}_T = -\mu S \left(\frac{\partial u_i}{\partial t} \right) \vec{e}_y$$

avec u la vitesse de l'onde.
 $u > 0$.



Équation vérifiée par \vec{u}_i :

$$\Delta \vec{u}_i - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{u}_i}{\partial t^2} = 0.$$

1) $\vec{u}_i = u_i(x, z, t) \vec{e}_y = f_i(z) \exp(j(\omega(t - \frac{x}{v}))) \vec{e}_y$

a) Commenter la forme de l'onde.

b) Équation vérifiée par \vec{u}_i .

c) Expliquer la forme des solutions. Hyp: $c_1 < v \ll c_2$

$$\begin{cases} f_1(z) = \underline{A}_1 e^{jk_1 z} + \underline{A}_2 e^{-jk_1 z} \\ f_2(z) = \underline{A}_2 e^{jk_2 z} \end{cases}$$

d) Conditions aux limites pour avoir lien entre constantes mais sous résolution.

e) Tracer $f_i(z)$ en fonction de z .

2) a) Soit v la vitesse de phase de l'onde et k vecteur d'onde.
Tracer $v(k)$.

$$b) \text{On donne: } \tan(k \sqrt{\frac{\omega^2}{v^2} - 1}) = \frac{c_1^2}{c_2^2} \sqrt{\frac{\mu_1 (c_1^2 - c_2^2)}{\mu_2 (c_1^2 + c_2^2)}}$$

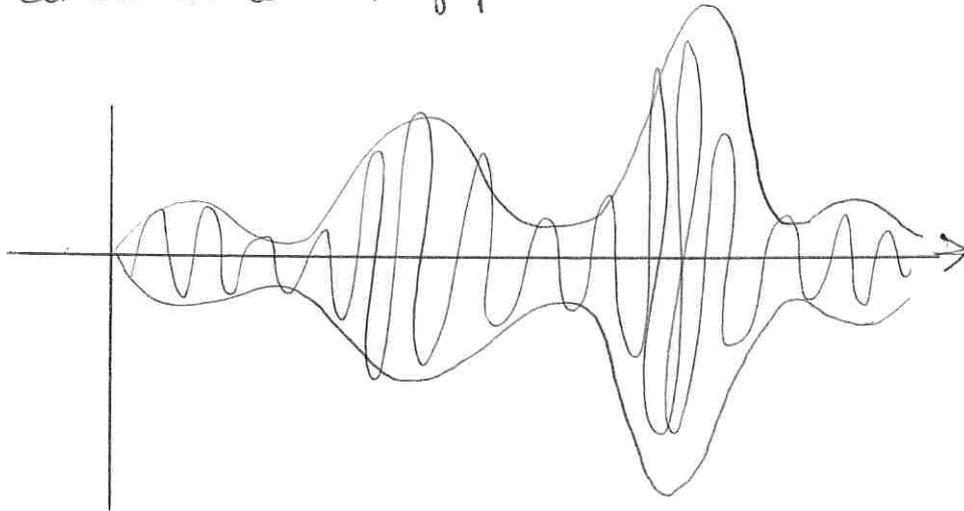
Hq l'on retrouve les m CCL que 2) a).

Python (juste à lancer le code).

3) a) Commenter la partie construction du train d'onde avec Python.

b) Commenter la modélisation et l'aspect de l'onde.

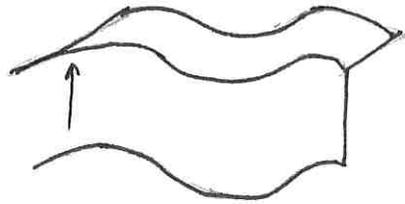
c) Commenter le sismographe.



Énoncé:

Étude des séismes

Document 1 : Description des ondes de cisaillement qui induisent ondes de surface transverses

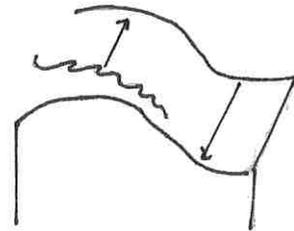


Document 2:

Force tangentielle de $z < z_0$ sur $z > z_0$:

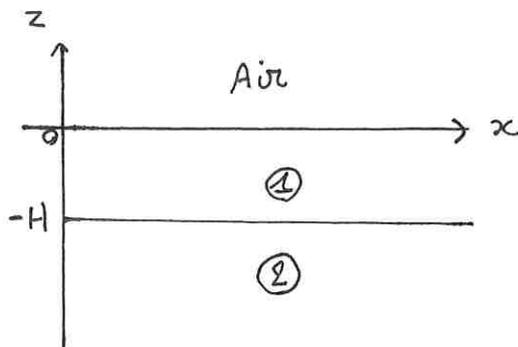
$$\vec{F}_T = -\rho S \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

où $\rho > 0$ dépend du milieu



(ondes de Love)

Deux milieux:



onde \vec{u}_i vérifie dans chaque milieu:

$$\Delta \vec{u}_i - \frac{1}{c_i^2} \frac{\partial^2 \vec{u}_i}{\partial t^2} = \vec{0}$$

1) On donne la forme des ondes: $\vec{u}_i(x, z, t) = f_i(z) e^{[j\omega(t - \frac{x}{v})]}$, \vec{u}_i où v est la célérité de l'onde

a) Commenter l'expression

b) Équation différentielle sur $f_i(z)$?

c) On a $c_1 < v < c_2$. Montrez que:

$$f_1(z) = \underline{A}_1 e^{+j k_1 z} + \underline{B}_1 e^{-j k_1 z}$$

$$f_2(z) = \underline{A}_2 e^{+k_2 z}$$

où k_1 et k_2 en fonction de c_1, c_2, v, ω

1) Conditions aux limites ? et en déduire relation sur $\underline{A}_1, \underline{B}_1, \underline{A}_2$

e) commenter forme des solutions et tracer $f(z)$

2) On note v vitesse de phase de l'onde et k le vecteur d'onde

a) Interpréter physiquement ce qui se passe quand $k \rightarrow 0$ et $k \rightarrow +\infty$
influence sur v . Tracer allure de $v(k)$

b) Confirmer ce qui se passe avec forme suivante :

$$\tan\left(kH \sqrt{\frac{v^2}{c_1^2} - 1}\right) = \frac{\rho_1 c_1}{\rho_2 c_2} \sqrt{\frac{c_2^2 - v^2}{v^2 - c_1^2}}$$

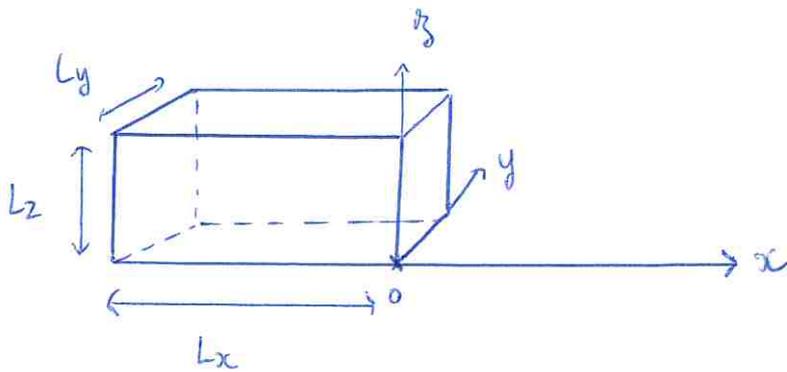
c) ?

3) Partie informatique non traitée.
Sur évolution terrain d'onde

18

Exercice:

On considère une salle aux murs de béton (+ plafond et sol en béton)



$$L_x = 11 \text{ m}$$

$$L_y = 3,5 \text{ m}$$

$$L_z = 7 \text{ m}$$

1) Définition d'optique acoustique?

- Expression de c_{son} en fonction de T ?
- calcul de c_{son} à 20°C ?

2) On envoie un son bref selon x .

Combien de temps met-il à revenir à $x=0$?

Que se passe-t-il si le son n'est plus supposé bref?
(l'excitateur parle en continu).

3) On définit le coeff d'absorption

$$\alpha = \frac{I_{\text{incident}} - I_{\text{réfléchié}}}{I_{\text{incident}}}$$

et on donne :

$$\alpha(500 \text{ Hz}) = 0,01$$

On note T_{R60} le temps au bout duquel l'intensité sonore baisse de 60 dB après la fin de l'émission du son.

Calculer T_{R60} à 500 Hz (on émet toujours selon α et on se place en $x=0$)

4) On donne la formule de Sabine :

$$T_{R60} = 0,16 \times \frac{V}{A}$$

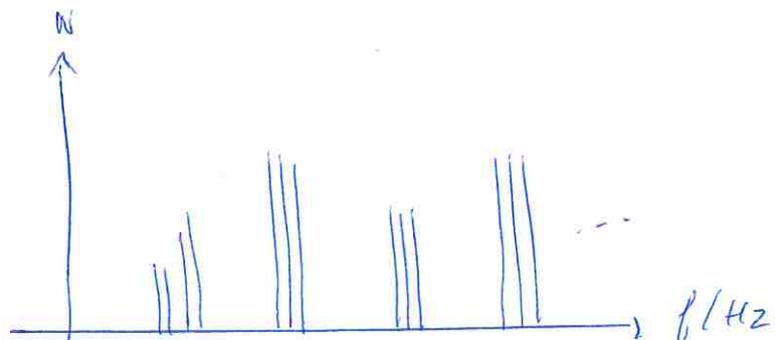
avec V = volume de la pièce

et A = aire de la pièce pondérée par le coefficient d'absorption. Commentaire ?

5) En supposant que les modes acoustiques selon les 3 axes sont indépendants, donner ces modes en fonction d'entiers m_x, m_y, m_z

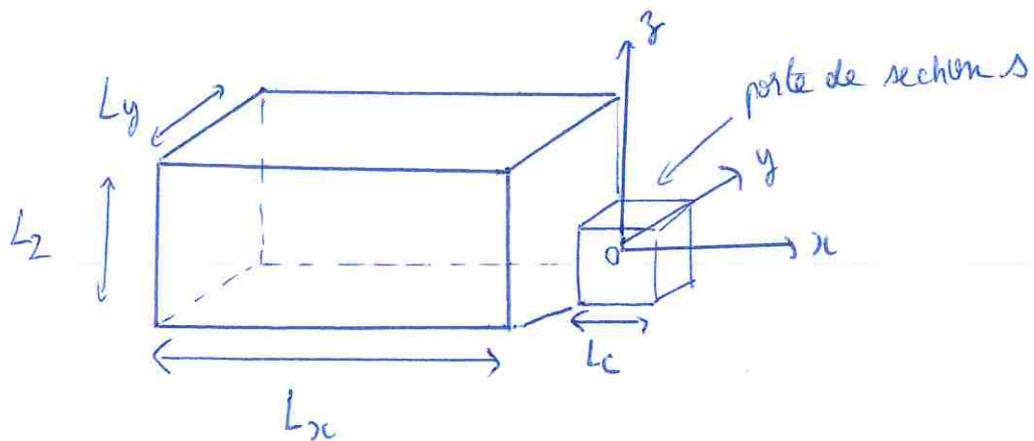
6) Tracer avec Python (à compléter) le nombre de modes en fonction de la fréquence. On observe certaines fréquences particulières. En quoi est-ce embêtant?

« Spectre »



7)

La pièce ressemble maintenant à ça :



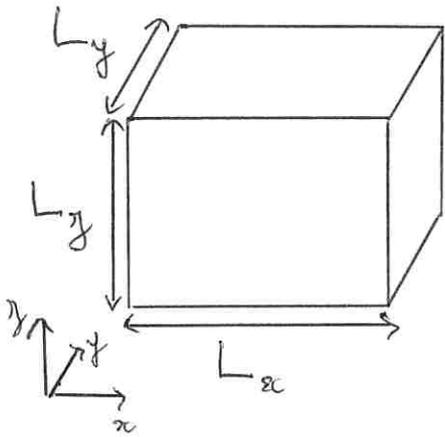
On se met au bout à gauche et on émet une onde

$$v_i(x, t) = v_i e^{i(\omega t - kx)} \quad \text{selon } x.$$

En admettant la continuité du débit mérique à l'embouchure du col, déterminer le coeff de réflexion en puissance R .

Que vaut désormais T_{RG} ?

8) Question Python



On considère une salle entièrement en béton dans laquelle on va émettre des sons.

- 1) Rappeler les approximations acoustiques.
Donner la célérité c du son à 20°C pour un gaz parfait (expression et AN).
- 2) Un homme émet un son selon $\vec{e}_{z'}$.
Dans combien de tempsendra-t-il son écho?
- 3) On définit T_{R60} le temps de réverbération qui correspond à la durée au bout de laquelle l'intensité sonore a diminué de 60 dB.
On suppose également que les murs absorbent en partie l'intensité du rayon émis :

$$\alpha = \frac{I_{\text{incidente}} - I_{\text{réfléchi}}}{I_{\text{incidente}}} \quad \text{et } \alpha = 0,01$$
 Comparer T_{R60} à $T_{R005} = 0,16 \frac{V}{A}$ le temps de réflexion selon la formule de Sabine où

V est le volume de la pièce et A l'aire de la pièce pondérée par le coefficient d'absorption.

(2/2)

4) Exprimer les modes propres de la pièce en fonction de m_x, m_y, m_z .

5) Écrire Python à décrire

6) On creuse une poche dans la salle en $x = L_x$.

Donner à nouveau les modes propres de la pièce en fonction de m_x, m_y, m_z .

① autres questions ...

Concours Centrale

Physique - Info

19

Étude d'un casque de pompier 1/2

Un programme python est fourni ainsi qu'un mémo avec:

- les constantes universelles
- des O₆ (conductivité thermique, module Young, conductivité électrique, masse volumique, distances cosmiques)
- les formulaires mathématiques (vectorielles, primitives, résolution d'équation différentielles...)
- les formulaires physiques (relation de conjugaison, loi de Wien, Stefan, ENS, diffraction...)

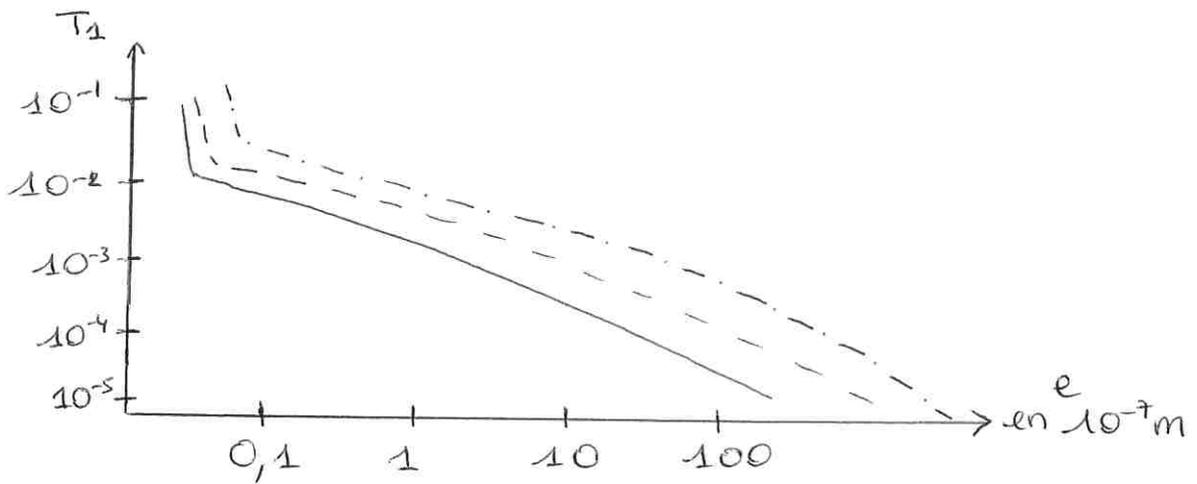
Le casque de pompier est couvert d'une fine couche d'or pour protéger de la chaleur le visage du pompier. On veut déterminer l'épaisseur d'or à appliquer.

1) On définit la pulsation plasma: $\omega_p^2 = \frac{ne^2}{m_e - \epsilon_0}$
où n est le nombre d'électrons par unité de volume. Calculer ω_p pour l'or en considérant qu'un atome d'or libère $1e^-$ de conduction.

données: π_{Au} , ρ_{Au}

2) Le pompier fait face à un feu à $T = 1500K$
Déterminer la couche d'or pour que le pompier ressente l'équivalent de 2 fois la puissance solaire. Utiliser le programme python fourni qui trace le coefficient de transmission en énergie T_{λ} en fonction de l'épaisseur e d'or pour différentes valeurs de λ .

Étude d'un casque de pompier 2/2



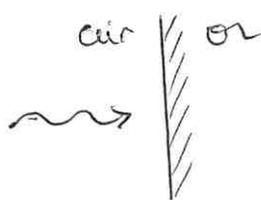
3) On rappelle le modèle de Drude:

$$- \vec{f} = - \frac{m \vec{v}}{\tau}$$

- particule fluide d' e^- ...

Déterminer l'expression de la conductivité.

4) On considère une onde OPPH en incidence normale qui arrive sur une interface air/or



Déterminer T_r le coefficient de transmission en énergie et en déduire l'épaisseur

nécessaire pour différentes longueurs d'onde avec le programme Python.

Indication du colleur: $T_r = \frac{\text{Puissance reçue par le pompier}}{\text{Puissance émise par le feu}}$

Exercice Ondes : cinéma stéréoscopique

Document : l'évolution des lunettes 3D au cinéma
(évolution des méthodes de polarisation)



Les deux ont l'œil gauche fermé et l'œil droit ouvert

Images (photos normalement) par un miroir d'une personne avec lunettes à polarisation rectiligne et l'autre avec lunettes à polarisation circulaire.

1) Soit le champ \vec{E} polarisé rectilignement selon x et se propageant dans le vide selon z . Quelles équation(s) vérifie-t-il? Donner son expression. Si l'onde se propage dans un milieu d'indice n , comment l'(les) équation(s) est (sont) - elle(s) modifiée(s)? Donner alors la (les) solution(s). La perception des couleurs est-elle modifiée?

2) On donne $\vec{E} = E_0 \exp(i(\omega t + kz)) \begin{pmatrix} 1 \\ i \\ 0 \end{pmatrix}$. Quel type de polarisation?
⊕ Oral: donner l'expression réelle

3) On donne la définition d'un milieu biréfringent: ici on note n_x l'indice selon x et n_y selon y . L'onde traverse un tel milieu pour $z \in [0, e]$. Donner l'expression de \vec{E} pour: $0 < z < e$ et $z > e$.

4) (Exactitude de la question non certifiée). Donner un protocole et des conditions permettant de passer d'une polarisation rectiligne à une polarisation circulaire à l'aide d'un tel milieu.

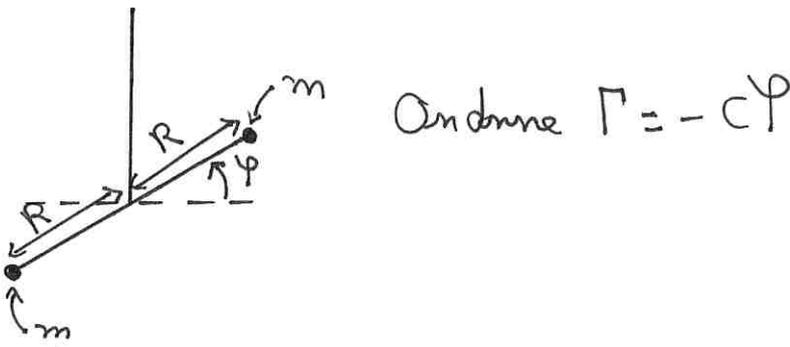
5) Identifiez sur la photo les lunettes donnant une polarisation circulaire et celles donnant une polarisation rectiligne

6) 2 questions à propos d'un programme Python lié au protocole donné à la qu. 4)

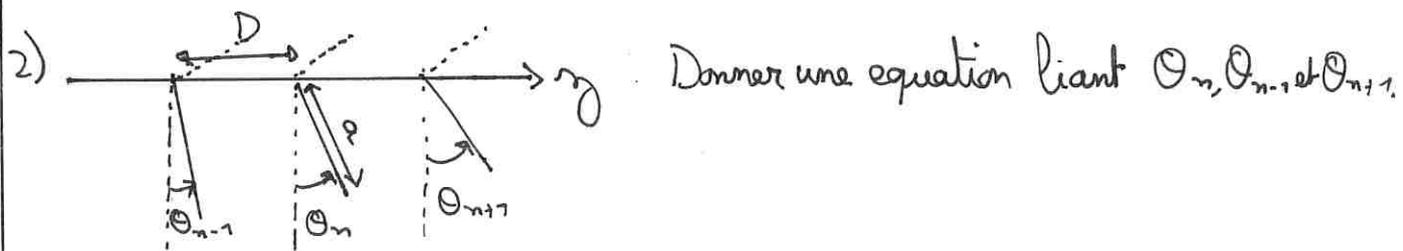
Centrale

Physique - Info II

(21)



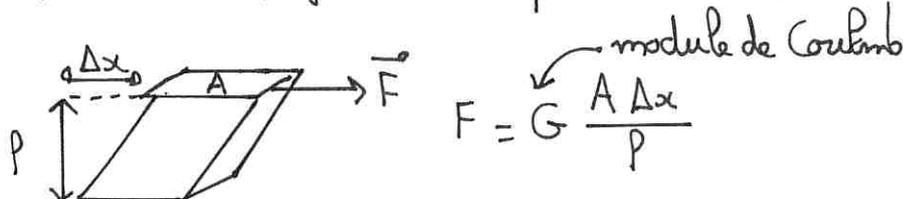
1) Donner une équation différentielle sur φ .



3) À l'aide de l'approx des milieux continus, donner une eq^e diff sur $\theta(z, t)$

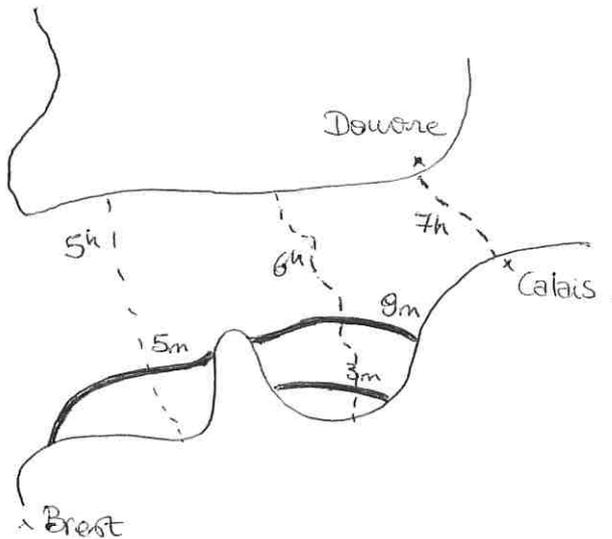
4) En supposant que la perturbation a une faible amplitude, simplifier l'eq^e diff (sin θ du moment du poids se linéarise)

5) Seules certaines fréquences permettent une propagation de l'onde. Les caractériser. ($\theta = \theta_0 \exp(j(\omega t - kx))$ puis $\omega = \sqrt{\dots}$ avec $\dots > 0$ ssi $\dots \hat{=}$ plasma)



Quelle modélisation est la plus adaptée pour modéliser un ressort? Expliquer.

Etude de l'onde de marée dans la Manche



— : Lignes d'iso-marnage
 - - - : Lignes de quand passe la marée

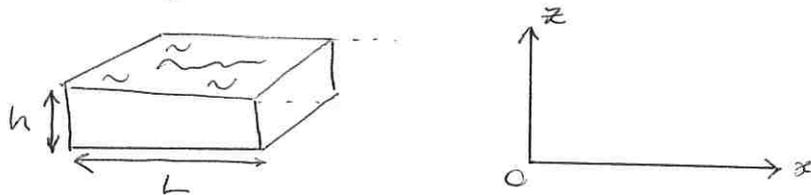
Q.1 Dans quel sens évolue / se propage l'onde ?

Q.2 Après avoir déterminé la distance Calais - Douvres, en déduire la vitesse de phase. Déterminer la période de l'onde ainsi que la longueur d'onde.

Q.3 On considère $\vec{\Omega}$. Expliciter $\vec{\Omega}$ dans le référentiel terrestre en fonction de λ (latitude de la manche) et de T .

Par la suite on prend $\vec{\Omega} = \Omega \vec{u}_z$.

Q.4 On considère la Manche comme étant un canal de profondeur $h = 100$ m et de longueur 100 km.



- fluide parfait, incompressible
- Profil des vitesses: $\vec{v} = u(x, y, z) \vec{u}_x + w(x, y, z) \vec{u}_z$
 $z(t) = h_0 + \xi(x, t)$.

Donner en odg u et w .

Suite:

Q.5 On donne l'équation de Navier-Stokes à linéariser :

$$\text{Montrer que : } \begin{cases} \rho \frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{\partial p}{\partial x} \\ 0 = -\frac{\partial p}{\partial y} - 2\Omega \rho u \\ 0 = -\frac{\partial p}{\partial z} - \rho g. \end{cases}$$

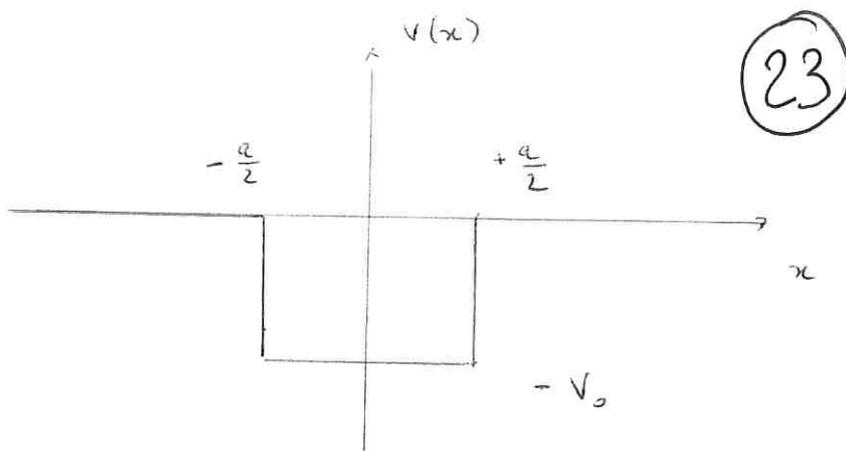
À l'aide du nombre de Robbe, R_0 , qui est le rapport du terme non linéaire ($\|\rho(\vec{v} \cdot \text{grad})\vec{v}\|$), sur le terme de force de Coriolis ($\|\vec{f}_c\|$). Montrer que $R_0 \ll 1$.

Q.6. Déterminer la pression $P(x, y, z)$ en fonction de z et de ξ

Q.7/Q.8 - Trouver une équation aux dérivées partielles sous forme d'ÉdA. Puis déduire des informations de la forme de la solution fournie.

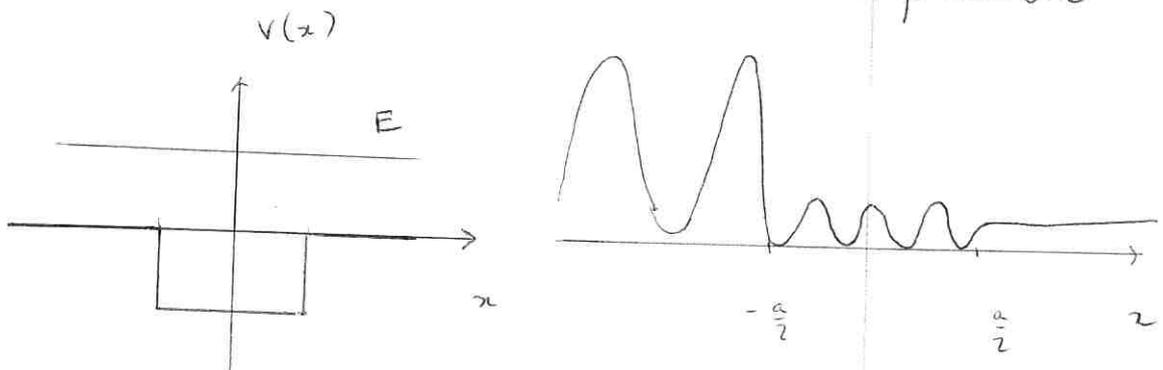
(Q.6/7/8 : non traitées par le candidat = peu claires).

Centrale :
Physique - info



- 1) On a une particule d'énergie $E > 0$ soumise à ce potentiel. Décrire le cas de la mécanique classique et tracer la vitesse.
- 2) trouver dans la zone $V = 0$ la relation de dispersion. Un paquet d'ondes est-il déformé ?

3)

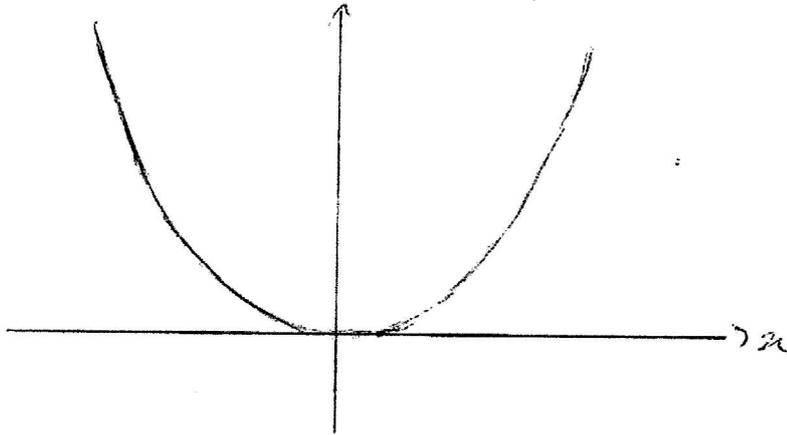


En déduire la masse de la particule.

Centrale Physique - Info

(24)

Énoncé: Particule dans un puits $V(x) = \frac{1}{2} m \omega_0 x^2$



Q1: Justifier que $\langle x \rangle$ et $\langle p \rangle$ sont nuls

Q2: Énergie de la particule ?

Q3: Définition d'une onde stationnaire

Q4: Retrouver l'équation de Schrödinger pour des états stationnaires :

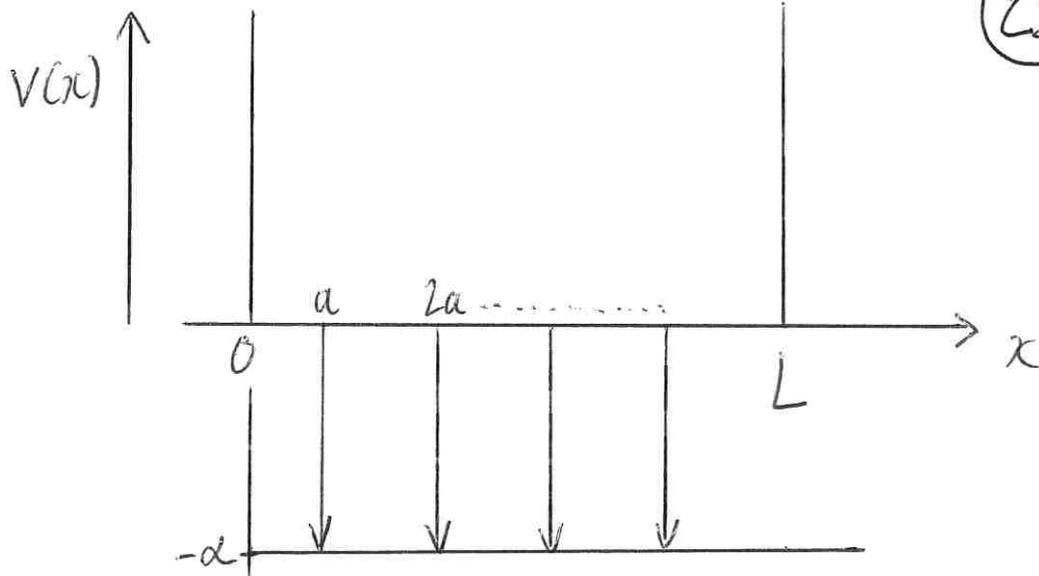
$$-\frac{\hbar^2}{2m} \psi''(x) + V(x)\psi(x) = E\psi(x)$$

Q5: Montrer que $\Psi_1(x,t) = A_1 e^{-\frac{iEt}{\hbar}} \exp\left(-\frac{\alpha x^2}{2}\right)$ est solution et donner les valeurs de E et α .

Q6: Montrer que $\Psi_2(x,t) = A_2 e^{-\frac{iEt}{\hbar}} x \exp\left(-\frac{\alpha x^2}{2}\right)$ est solution et déterminer E

CENTRALE: Physique - Info

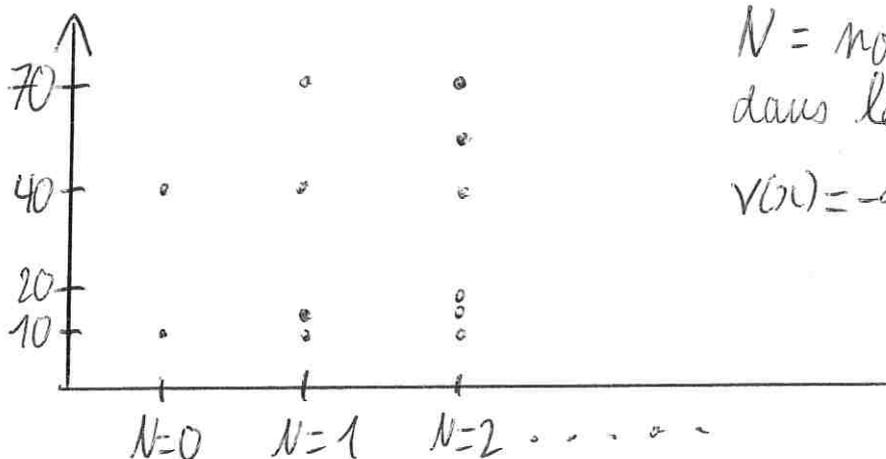
Exercice: électron bloqué dans un cristal assimilé à un puit de potentiel infini



(25)

$$\begin{cases} V(x < 0) = +\infty \\ V(x > L) = +\infty \end{cases}$$

Le programme python donne



N = nombre d'atomes dans le cristal
 $V(x) = -\alpha \delta(x - ja)$

On donne $\Psi_j(x, t) = \phi_j(x) \exp(-\frac{i E_j}{\hbar} t)$

① a) correspond à quel état

b) Donner l'équation vérifiée par ϕ_j

c) Quel est le potentiel entre x_j et x_{j+1}

② a) Donner les conditions aux limites vérifiées par ϕ

b) Trouver une relation entre $\frac{\partial \phi_j}{\partial x}$, $\frac{\partial \phi_{j-1}}{\partial x}$ et ϕ_{j-1}

→ utiliser les discontinuités du potentiel

③ a) Cas $N=0$, expliquer, vérifier la cohérence
Que se passe-t-il lorsque $N \rightarrow +\infty$?

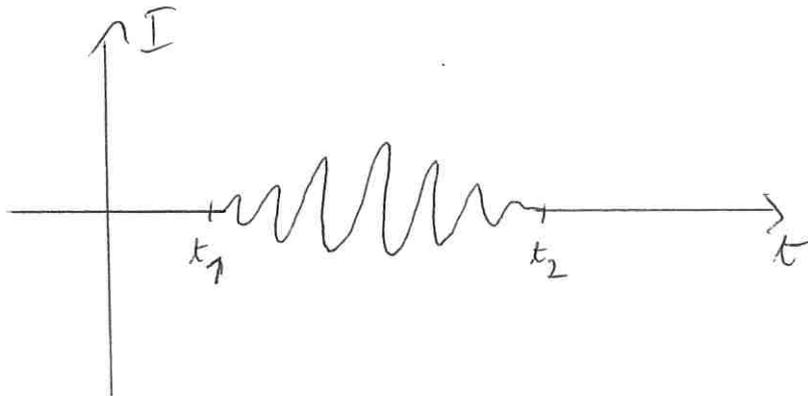
b) Que manque-t-il dans le cas $N=1$?

Concours : Contrôle Physique

On considère un Michelson en configuration lame d'air à la sortie duquel on place une lentille convergente. On l'éclaire avec une lumière blanche sur laquelle on place un filtre jaune dont on cherche à déterminer la bande passante.

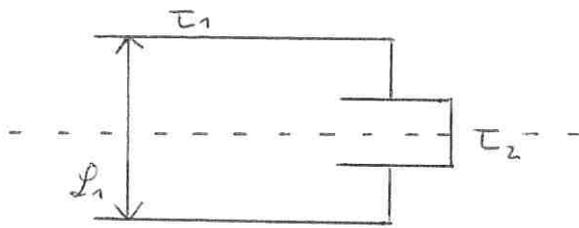
On fait se déplacer l'un des miroirs à vitesse v et on relève l'intensité au centre de la figure d'interférence.

On obtient :



Calculer la largeur de bande passante Δf du filtre.

26



un télescope qui regarde Jupiter

L_1 : lentille convergente de focale f'

T_1 : le premier tube

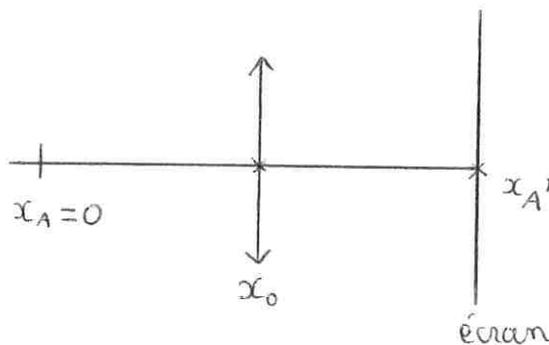
T_2 : le deuxième tube à l'issue duquel se trouve

l'écran. On le bouge pour la mise au point

(sert à ne capter que les rayons en conditions de Gauss)

1) Rappeler les conditions de Gauss

2) On cherche à déterminer la focale



on fait varier x_0 ,
et on ajuste x_A'
en conséquence

tableau :

x_0			
x_A'			

a) on donne aussi $u_{x_A} = 1 \text{ cm}$

et on connaît u_{x_0} (incertitudes types)

Pourquoi les incertitudes types u_{x_A} ne sont pas toutes les mêmes ?

(b) on pose $x = \frac{1}{\overline{OA}}$ et $y = \frac{1}{\overline{OA'}}$

Rappel : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$

exprimer u_y

on trace la régression linéaire $y-x$ en fonction de x . (script à compléter) Qu'est-ce qu'on obtient?

Cela nous donne l'ordonnée à l'origine : qu'est-ce que c'est?

(c) on fait un Monte-Carlo (script à compléter) pour connaître l'incertitude. Expliquez le principe de fonctionnement. Présenter convenablement le résultat. Pourquoi ne peut-on pas utiliser directement le 2) (b) ?

3) On considère que la Terre et Jupiter sont en mouvement circulaire uniforme autour du Soleil

on connaît R_T , d_{S-T} , R_J , d_{S-J}

- Redémontrer la 3^e loi de Kepler

- Quel est l'angle maximal α_0 sous lequel on voit Jupiter depuis la Terre ?

4) on donne la diagonale de l'écran carré ainsi que le nombre N de pixels. On cherche à savoir la hauteur h_0 de Jupiter dessus et le nombre de pixels occupés.

- 5) Montrer que l'image d'un point est une tâche.
(Il faut relier ça à la taille d'un pixel)

28

Lorsque le soleil se couche, son image s'aplatit
(une photo illustre le phénomène)

- 1) Expliquez, à l'aide d'un schéma et en vous appuyant sur les lois de la réfraction, pourquoi le soleil est vu aplati au coucher.
- 2) Quel est le diamètre angulaire du soleil vu depuis la Terre sans prendre en compte l'atmosphère?
(en minutes d'arc)

2 étoiles séparées d'un angle α émettent à l'éclairément égal à E_0 , de longueur d'onde λ_0 , vers 2 trous ponctuels séparés de a , on place une lentille de focale f' et l'écran dans le plan focale image.

→ Condition de brassage sur a ?

(29)

Concours Centrale : Physique - info

30

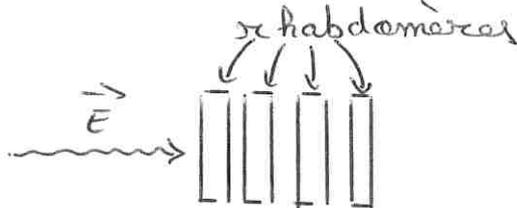
Vision des abeilles

(tombé aussi en 2023)

⇒ 3 longs docs à lire

Les yeux des abeilles (et d'autres insectes) sont composés de photorécepteurs, eux-mêmes constitués de micro-villosités. L'ensemble des micro-villosités d'une cellule photoréceptrice est un rhabdomère.

Les rhabdomères



sont orientés

⊥ à la direction de propagation de l'onde.

On considère une OPPH, $\lambda_0 = 500 \text{ nm}$ de direction de propagation (Oz)

On a un milieu de transport anisotrope :

* transparent d'indice $n = 1,37$ selon (Oz)

* indice : $n_x = n'_x + j n''_x$ avec

$$n'_x = n, \text{ selon } (Ox)$$

1) Equation de propagation de \vec{E} dans un milieu transparent ?

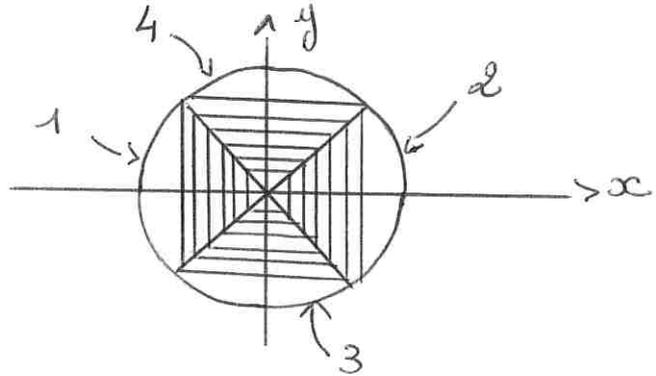
Intensité au cours du temps d'une polarisation rectiligne selon (Oy) ?

2) Expression de \vec{E} pour une onde polarisée selon (Ox). (Faire intervenir 1 distance caractéristique d'atténuation, δ , en fonction de n''_x .)

3) Chez les abeilles, un rhabdomère mesure $l = 80 \mu\text{m}$, et l'onde incidente est atténuée à 26%. En déduire δ et n''_x .

4) Proposer un protocole pour déterminer la direction des micro-villosités, pour un rhabdomère de longueur $L = 3\delta$.

- 5) que' obtient-on pour une onde polarisée circulairement en entrée?
- 6) En réalité, un œil d'insecte est constitué de cellules photoréceptrices dont les rhabdomères sont orientés comme ci-contre :



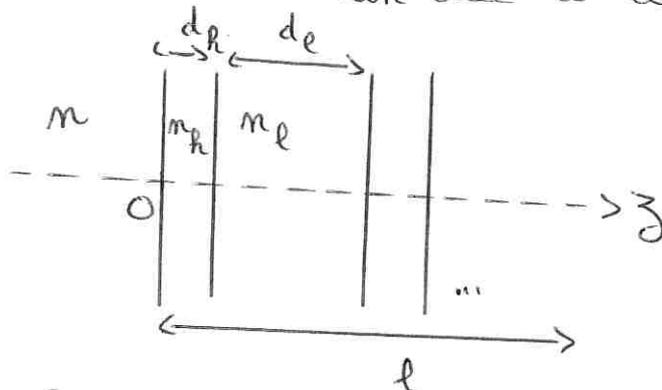
On introduit :

$$S = I_{\text{absorbé } 1} + I_{\text{absorbé } 2} - I_{\text{absorbé } 3} - I_{\text{absorbé } 4}$$

L'info. reçue par l'insecte est αS .
 que vaut S pour une lumière polarisée rectilignement selon (Ox) ? selon (Oy) ?
 Pour la lumière naturelle?

7) L'insecte peut-il détecter une polarisation circulaire?

8) On s'intéresse au tapetum (surface réfléchissante) situé je ne sais plus où par rapport au rhabdomère (encore un doc à lire ...)



tapetum constitué d'une alternance de couches h et e.

Comment choisir d_h et d_e pour augmenter la réflexion?

9) On a un coefficient ^{de réflexion} en puissance qui vaut 1 en $z=0$. En déduire l'expression de l'intensité réfléchie

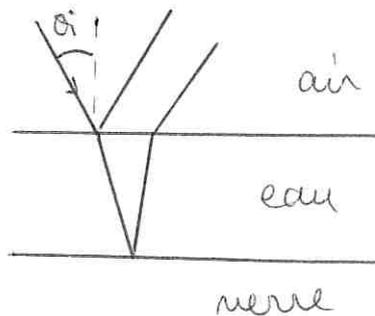
Centrale - Physique Info II:

Exercice: Etude de l'évaporation d'une goutte d'eau.

31

Données:

- Photo de franges circulaires



- $\lambda = 532 \text{ nm}$

- $n_{\text{air}} = 1$

- $n_{\text{eau}} = 1,33$

- $n_{\text{verre}} = 1,5$

- D

- $R = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2$

- $P_{\text{vapeur}} = 2300 \text{ Pa}$

- $H = \frac{P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_{\text{vapeur}}}$

(l'humidité relative)

1) Par analogie avec un Michelson, déterminer la différence de marche. Précision de la mesure en incidence normale sd.

2) Justifier qu'on a bien une interaction à 2 ondes. Pourquoi travaille-t-on en réflexion ?

II. Evaporation de la goutte:

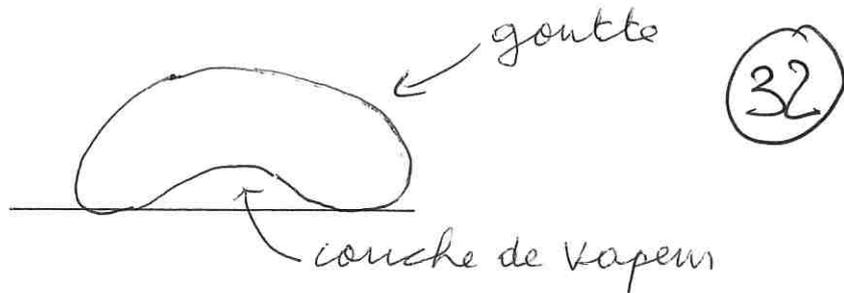
On a une goutte demi-sphérique de rayon R dans de l'air à 50% d'humidité. On note $c(r)$ la concentration d'eau à un rayon r du centre de la goutte.

- Déterminer $c(r)$ en régime stationnaire.
- En conservant ce modèle, donner l'équation différentielle sur R , et donner le temps d'évaporation.

III. Autre modèle, avec un programme python donnant R(t) (rien à faire sur python):

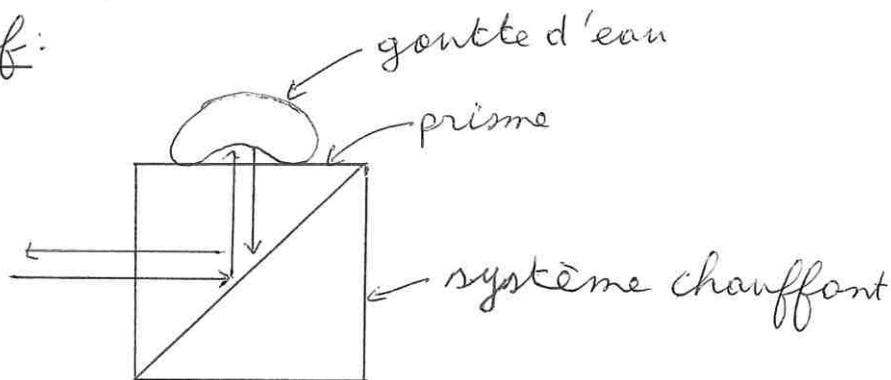
Concours Centrale: Physique II

Effet Leidenfrost: Quand une goutte de vapeur tombe sur une plaque de cuisson, elle ne s'évapore pas instantanément car une couche de vapeur se crée sous elle et ralentit les transferts thermiques.



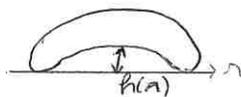
On souhaite déterminer la forme de cette couche de vapeur.

Dispositif:



On envoie un laser He-Ne, en incidence normale (à plusieurs faisceaux)

1. Par analogie avec le Michelson, donner l'expression de la différence de marche en fonction de $h(r)$ avec :



2. On nous donne la figure d'interférence, donner l'allure de $h(r)$. Figure d'interférences:

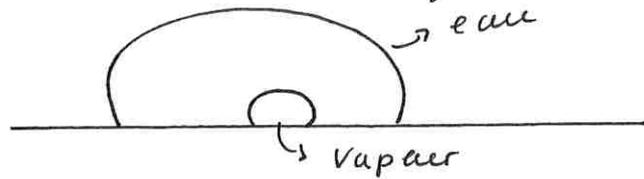


3. Justifier quantitativement pourquoi on se limite à deux ondes.

Concours : Centrale
Physique II

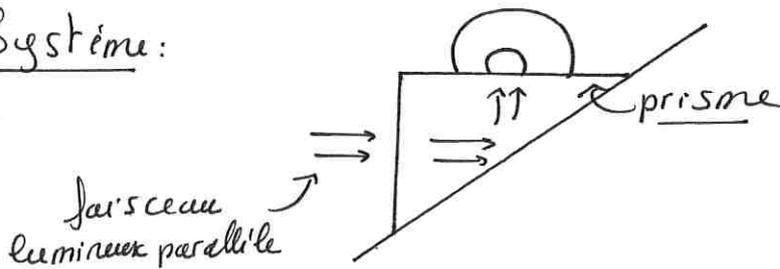
Etude de la caléfaction via un Michelson

Caléfaction : une bulle de vapeur se trouve en dessous d'une bulle d'eau chauffée



322

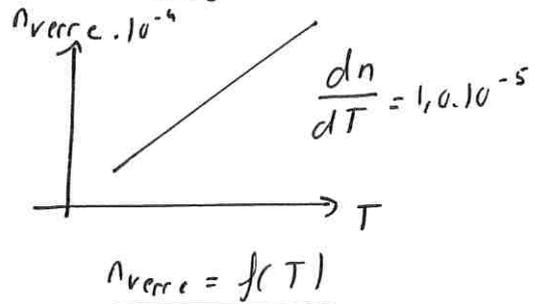
Système :



Données : $\lambda = 633 \text{ nm}$

$$\begin{cases} n_{\text{vapeur}} \approx 1,0 \\ n_{\text{eau}} \approx 1,3 \\ n_{\text{prisme}} \approx 1,5 \end{cases}$$

$$\begin{cases} r_{1 \rightarrow 2} = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \\ R_{1 \rightarrow 2} = r_{1 \rightarrow 2}^2 \end{cases}$$



Q1 Par analogie avec le Michelson, donner la différence de marche. Si la hauteur est uniforme, que voit-on ?

Q2 Donner l'évolution de $h(r)$, hauteur de la bulle de vapeur.

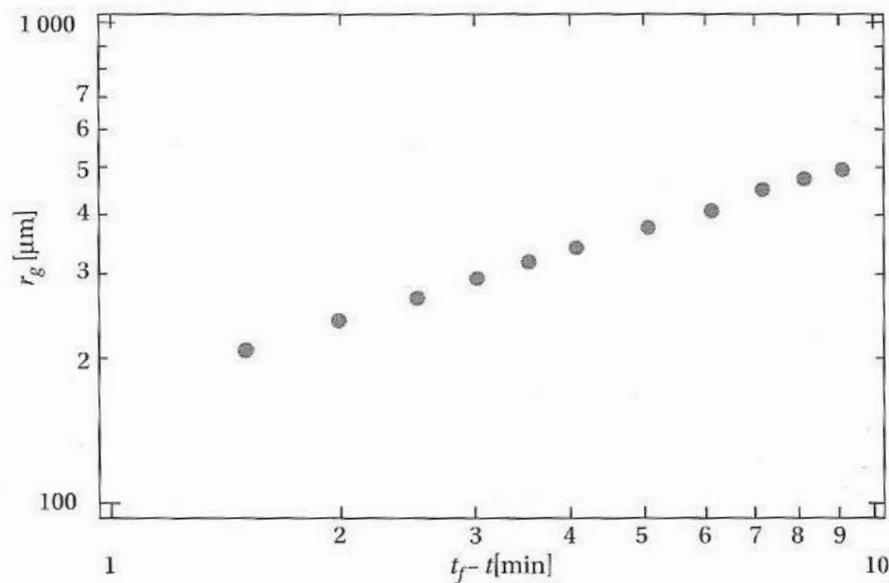
Q3 Pourquoi peut-on uniquement considérer 2 signaux ? Une justification quantitative est attendue.

C2 33 2024 Evaporation d'une goutte d'eau en atmosphère humide

(Exercice Centrale 1 en fait)

On étudie la dynamique d'évaporation d'une goutte d'eau sphérique en présence d'air humide. On considère une goutte de rayon initial $r_{g0} = 0,1 \text{ mm}$ dans une atmosphère d'air humide d'humidité relative $H=53\%$ à la température $T=293 \text{ K}$. On note $r_g(t)$ le rayon de la goutte à l'instant t .

1. Déterminer le profil des concentrations molaires.
2. Déterminer $r_g(t)$.
3. La figure suivante donne l'évolution du rayon d'une goutte suspendue en train de s'évaporer en échelle log-log. On donne la pression de vapeur saturante $P_{\text{sat}} = 2,3 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ à $T = 293 \text{ K}$ et sa masse molaire $M = 0,018 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$.

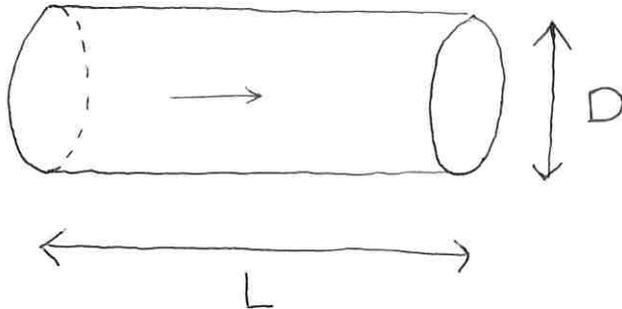


Evolution du rayon d'une goutte d'eau en train de s'évaporer en fonction de la différence $t_f - t$ entre l'instant où la goutte s'est totalement évaporée (t_f) et l'instant t .

En déduire une valeur numérique du coefficient de diffusion de l'eau dans l'air.

Centrale Physique

(34)



Données:

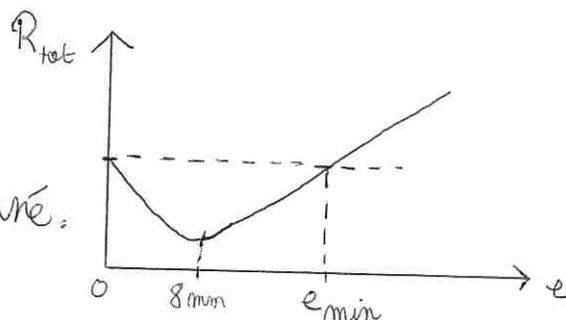
- × h_e : coefficient de Newton eau \rightarrow cuivre
- × h_a : coefficient de Newton isolant \rightarrow air
- × e' : épaisseur du tuyau de cuivre
- × L, D : longueur et diamètre du tuyau de cuivre
- × $\lambda_{cu}, \lambda_{isolant}$

Énoncé

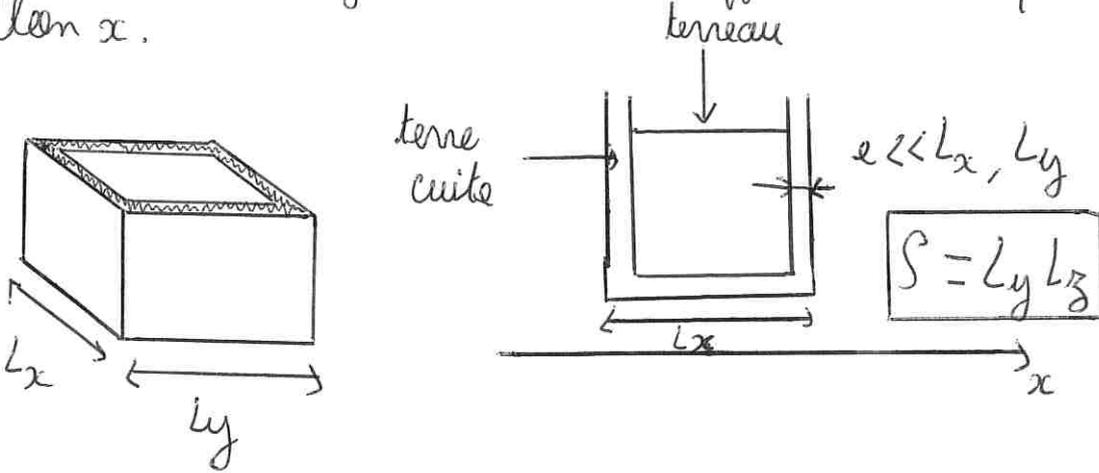
- On considère une conduite d'eau chaude en cuivre d'épaisseur e' .
- On ajoute une épaisseur e d'isolant.
- On observe une perte énergétique telle que l'opérateur consomme 2% d'énergie en plus (par rapport à sans isolant).

Expliquer.

Le graphe de R_{tot} en fonction de e est donné.



On étudie une jardinière et la diffusion thermique selon x .



Données : λ, ρ, c du terreau et de la terre cuite

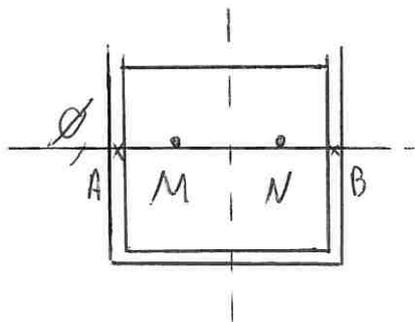
• Valeurs de h, L_x, L_y, e

① Expression de D ? Valeurs pour terreau et terre-cuite? Estimation du temps caractéristique de diffusion dans le terreau, dans la terre-cuite?

② Déterminer R_{th} (expression) + montrer que

R_{th} de la convection : $R_{th} = \frac{1}{hS}$

③ On admet $R_n = \frac{1}{4 \epsilon \sigma S T_{air}^3}$ ($S = L_y \times L_z$)

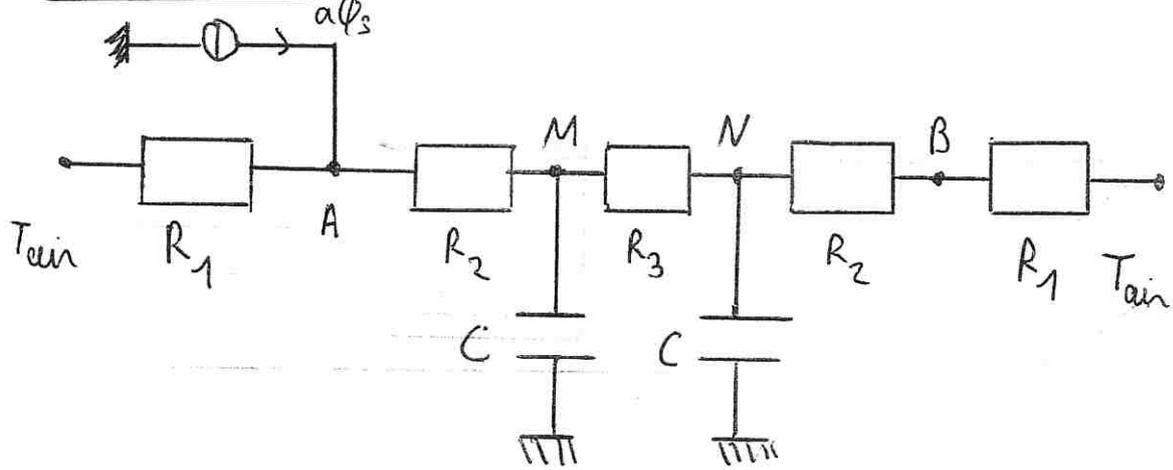


On néglige la conduction dans le terreau.

Entre A et M : 1^{ère} R_{in} (longueur $\frac{L_2}{4}$)

Entre M et N : 2^e (longueur $L_2/2$)

On modélise :



Espression de R_1, R_2, R_3, C ?

④ Equations différentiels pour déterminer T_A, T_B, T_M, T_N ?

⑤ Résolution sur Python

36

On étudie le cycle de Stirling

(vidéo ~30 sec qui présente l'idée du moteur)

1) On représente le cycle par :

- deux isothermes

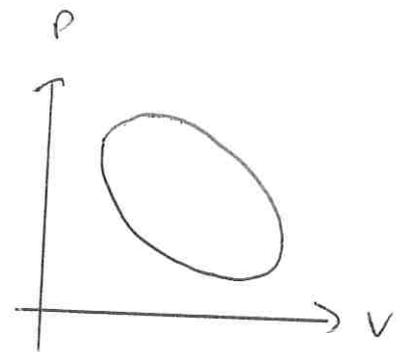
- deux isochores

dans le diagramme (P, V) .

a) Représenter le cycle + justification sens de parcours

b) En réalité, on obtient ça :

Commenter. Donner quelques éléments d'explications



2) On définit une transformation ... telle que $PV^\beta = \text{cte}$.

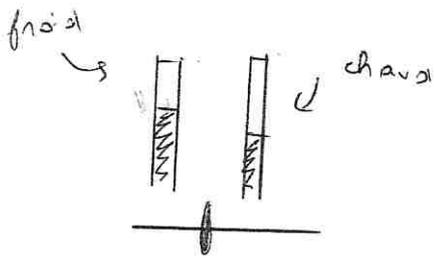
La transformation est quasi-statique. On suppose qu'il s'agit d'un gaz parfait.

Pour ce gaz, on suppose des transferts thermiques

$$dQ = m c_m dT \quad \text{avec } c_m \text{ coefficient}$$

à déterminer en fonction de β et de γ

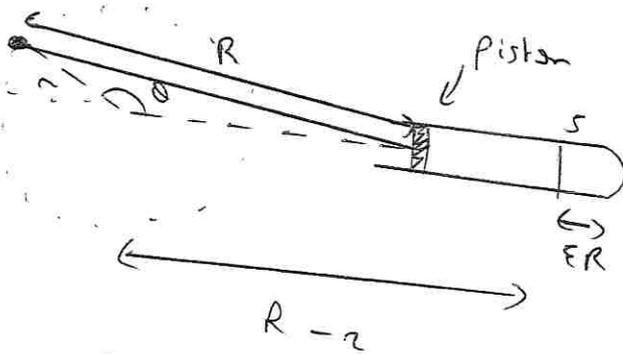
3) Le moteur est constitué de cylindres, un chaud et un froid.



Exprimer le travail échangé au cours d'une variation dm_1 et dm_2 masses de gaz à l'intérieur des cylindres 1 et 2 ainsi que dT_1 et dT_2 températures des 2 cylindres.

4) On donne 3 relations qui font intervenir $P_1, V_1, m_1, P_2, V_2, m_2$ sans chercher à démontrer, quelles sont les équations qui sont permises d'y accéder.

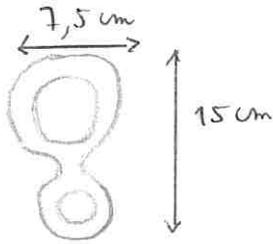
5) On cherche le volume V_1 du cylindre.



Déterminer le volume du cylindre

7) Utiliser le script Pythou pour tracer $P = f(V)$.

Exercice : étude d'un descendeur d'escalade et de sa température.



- Descendeur en aluminium
↳ Données sur l'aluminium données.

- Alpiniste descend avec une vitesse constante v_0 verticale. d'une hauteur h .

- 1) Déterminer approximativement C (capacité thermique) et m (masse descendeur). (le volume n'est pas donné)
(Chaleur massique donnée)
- 2) Déterminer la température finale dans la corde.
- 3) Discuter du caractère uniforme de la température dans la corde.
- 4) Équation différentielle sur $T(t)$ en prenant en compte le transfert conducto-convectif avec l'extérieur.

. Concours : Centrale

. Matière : Physique II.

38

Exercice : Aération d'une pièce / Diffusion.

. Pas de Python

. Analyse de doc sur le CO_2

1) Exprimer le débit volumique en CO_2 (en $\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$)

Les docs te donnent :

- . Volume

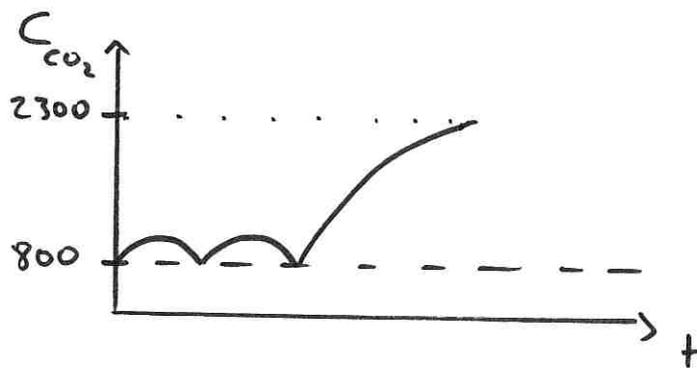
- . Fréquence des respirations

- . Taux de CO_2 rejeté par respiration.

2) Déterminer le nombre maximal de personnes dans une pièce de 50m^3 qui respecte les normes suivantes :

- . $C_{\text{CO}_2 \text{ Max}} : 800\text{ppm}$
- . débit ventilation : $30\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$

3) Pour 27 personnes, on donne :



Déterminer Q le débit de l'aération.

Énoncé

On modélise un congélateur par un parallélépipède rectangle. (60 cm x 60 cm x 130 cm)

Volume intérieur : 251 L

1) On suppose les parois d'épaisseur uniforme e
→ Déterminer e .

2) Conductivité parois : $\lambda = 0,04 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$

Température } intérieure : $T_i = -18^\circ \text{C}$

 } extérieure : $T_e = 20^\circ \text{C}$

On veut garder T_i constante.

Déterminer la puissance des pertes.

3) On suppose qu'il s'agit d'une machine dittherme réversible.

Sachant que le congélateur consomme 260 kWh/an, déterminer la puissance à fournir.

Commenter.

4) En fait :

- On éteint le congélateur quand on atteint T_i

- On le rallume une fois arrivé à $T_f = -15^\circ \text{C}$

a) Sachant que la capacité du frigo (et de ses aliments) vaut C , déterminer l'équation vérifiée par $T(t)$ dans le congélateur éteint.

b) Déterminer l'équation vérifiée par $T(t)$ quand le frigo fonctionne

Python : code de la méthode d'Euler pour résoudre 9) b)

5) On considère un cylindre de glace de rayon R , hauteur H , température uniforme $T_g(t)$.

Seule interaction avec l'extérieur: flux conducto-convectif.

Déterminer $\frac{R}{H}$ tel que la vitesse de fusion soit négligeable.

Sujet : Refroidissement d'une tasse de café cylindrique remplie à ras-bord

On dispose des données usuelles de thermo sur l'eau

Expérience 1 : Ras

Expérience 2 : On met un ventilateur dirigé vers la tasse.

On a : masse ($t=0$) = 140 g
masse ($t=4h$) = 127 g

1) Déterminer la résistance thermique due à la tasse

On veut celle du bas aussi mais on ne considère pas celle de la surface supérieure. On déterminera d'abord R_{th} pour une portion dr de la tasse et l'on justifiera la possibilité d'utiliser R_{th} .
Faire l'application numérique.

2) On a $R_{th, ext} = 5 \text{ W.K}^{-1}$ (conducto-conv avec air)

On néglige $R_{th, int}$ cond-conv pourquoi ?

Justifier qualitativement + conséquences thermo

3) Tracer T_1 (exp 1) et T_2 (exp 2) = $f(t)$ sur python.

Analyser l'allure des courbes. Expliquer

+ discussion sur la variation de R (Newton).

+ questions annexes sur comment est-ce qu'un courant d'air chaud peut refroidir.

4) loi de Newton donnée

Déterminer $T = f(t)$ pour l'expérience 1

5) Régression linéaire sur Python pour vérifier le modèle (On doit trouver $Y = f(t)$ pour la faire)

CENTRALE - PHYSIQUE - INFO (suite)

6) Vérifier la cohérence du modèle avec bonnes données, et faire pareil pour l'expérience 2.

7) On modélise la loi de Newton par une couche d'air immobile de R_{th} équivalente.

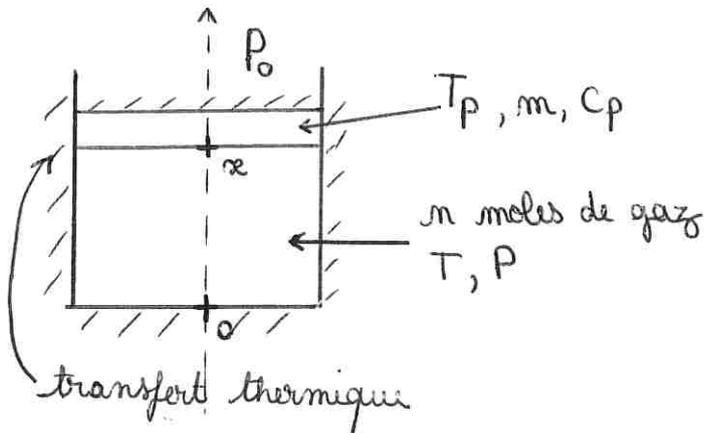
Déterminer la l'épaisseur de la couche d'air

+ plein de questions beaucoup plus dures sur l'évaporation du café avec le ventilateur.

CENTRALE :
PHYSIQUE - INFO

41

Etude des oscillations d'un piston :

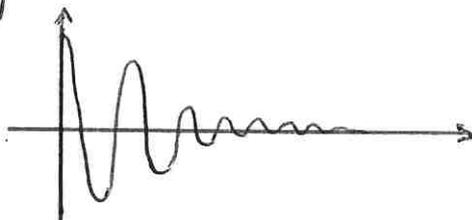


hypothèses :

- gravité négligée
- ensemble calorifugé

- 1) Rappeler le lien entre le coefficient de compressibilité à volume constant et α
- 2) Par analyse dimensionnelle donner une expression de α_1 en fonction de S, P_0, m, α_i et de α_2 en fonction de n, R, h, S
Interpréter.
- 3) Ecrire une équation sur \ddot{x}
- 4) Equation sur $\frac{dT}{dt}$
- 5) Equation sur $\frac{dT_p}{dt}$
- 6) Déterminer T_f

Scripte python \rightarrow tracé de courbes :

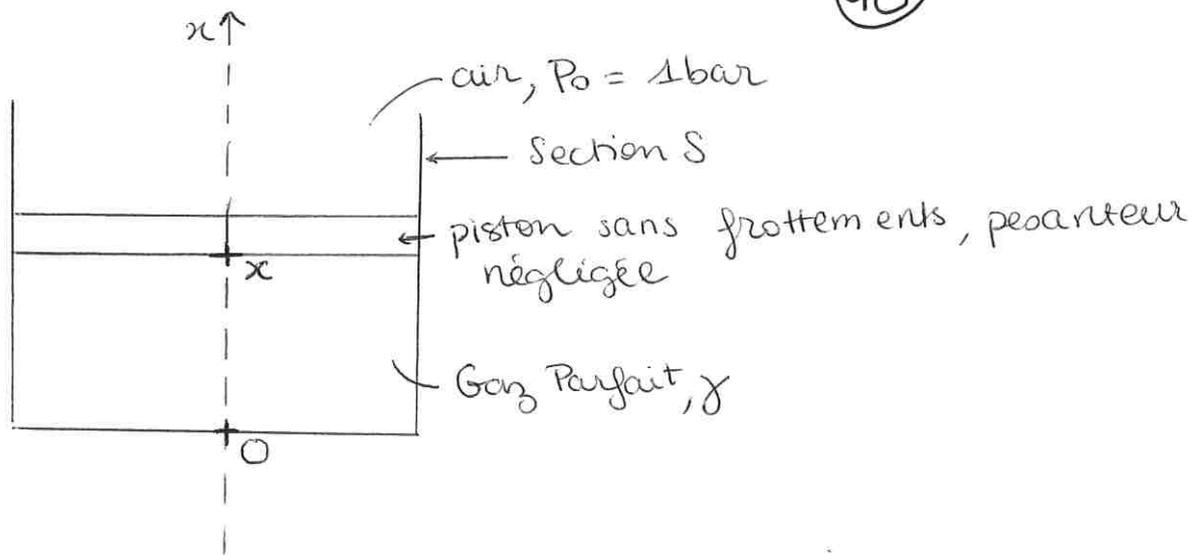


Concours Centrale

Physique - Info

Oscillations d'un piston

(42)



T_p : température (homogène) du piston

$P(t)$, $T(t)$, $V(t)$

loi de Newton avec h entre le GP et le piston

1) Rappeler la capacité thermique molaire pour un gaz parfait.

2) De l'analyse dimensionnelle pour trouver deux temps caractéristiques τ_1 et τ_2 .

3) a) Trouver une première équation donnant x

b) " deuxième équation à l'aide d'un bilan énergétique.

c) " troisième équation donnant $\frac{dT_p}{dt}$. Cela est-il suffisant pour mettre le système en équation?

Puis mise en équation, tracer des courbes avec Python et bilan d'entropie.

Physique Informatique – Filière PC : 6050ADPT

L'effet photoacoustique consiste à générer une onde sonore à partir d'une variation à haute fréquence de l'éclairement lumineux d'une couche d'air. On souhaite étudier quelques aspects de la physique de ce phénomène avant de s'intéresser à des conditions d'observations naturelles.

1) Qu'est-ce qu'une onde lumineuse ? Qu'est-ce qu'une onde sonore ? Expliquer les différences entre les deux. Préciser leurs vitesses de propagation. Préciser les domaines de fréquences visibles et audibles par l'œil et l'oreille humaine respectivement.

L'image ci-dessous représente un photophone, l'un des premiers montages permettant la mise en évidence de l'effet photoacoustique.

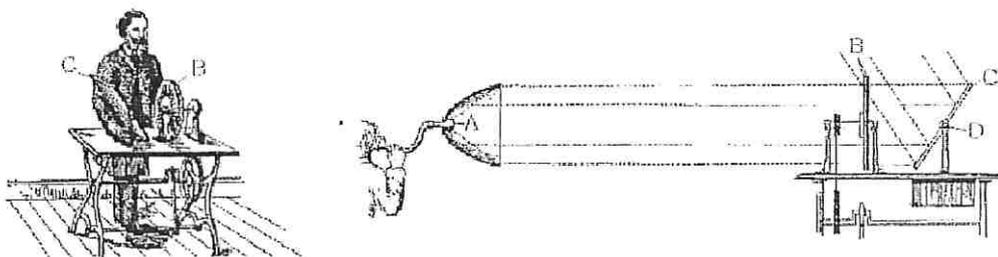


FIGURE 1 – Gravure d'un photophone.

Dans ce dispositif expérimental, la lumière du Soleil est canalisée par un miroir (points C et D sur la figure) vers une roue perforée tournante (point B) derrière laquelle on place un cornet acoustique (point A).

2) Le Soleil est supposé être un corps noir à la température $T_{\odot} = 5780$ K dont l'émission est isotrope. Définir un corps noir (les lois de Wien et Stefan-Boltzmann sont rappelées en fin d'énoncé). En considérant que le diamètre du Soleil vaut 1/100 de la distance Terre-Soleil, déterminer la puissance surfacique \mathcal{P}_s du faisceau incident éclairant la roue perforée en négligeant toute absorption du rayonnement solaire par l'atmosphère.

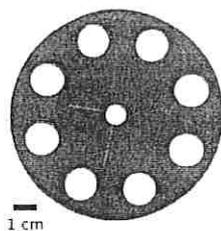
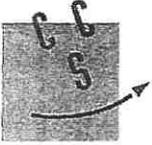


FIGURE 2 – Roue perforée que l'on souhaite utiliser pour l'expérience. La matériau, de couleur noir, est parfaitement opaque (donc absorbant) pour la lumière visible.

3) Expliquer qualitativement que la mise en rotation de la roue engendre éventuellement une onde sonore. Estimer la vitesse de rotation minimale de la roue ci-dessus pour que l'effet photoacoustique produise des ondes audibles.

On s'intéresse au profil thermique dans le matériau éclairé. Le faisceau est supposé de même dimension qu'un trou de la roue, de section S . On note T_0 la température de l'air au niveau du trou (lorsque le faisceau est transmis) et T_1 la température de l'air en contact avec le disque (lorsque le faisceau est absorbé).

4) Établir l'équation de diffusion thermique unidimensionnelle sans source et la généraliser à trois dimensions. Quelles conditions aux limites utiliser pour déterminer le profil de température dans la portion de la roue interceptant le faisceau ?



5) Estimer T_1 à l'interface disque/air. La loi de Stefan est rappelée en fin d'énoncé.

Analyse informatique [Logiciel : Python, fichier 6050ADPT.py] : Le script fourni permet d'intégrer numériquement l'équation de diffusion thermique.

6) Que réalise le script ? Décrire la méthode numérique utilisée. Modifier le script pour déterminer le profil de température dans le matériau au cours de l'expérience. Commenter.

On appelle effusivité thermique E d'un matériau une grandeur fonction de la capacité thermique massique c , de la masse volumique ρ et de la conductivité thermique λ . Plus elle est importante, moins le matériau s'échauffe rapidement.

7) Déterminer l'expression de l'effusivité E à un facteur numérique près sachant qu'elle s'exprime en $J \cdot K^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^{-1/2}$. Comment doit-être cette grandeur pour favoriser l'effet photoacoustique ? Dans ce cas, justifier le rôle de chacune des propriétés du matériau. La méthode de résolution prend-elle en compte l'effusivité ?

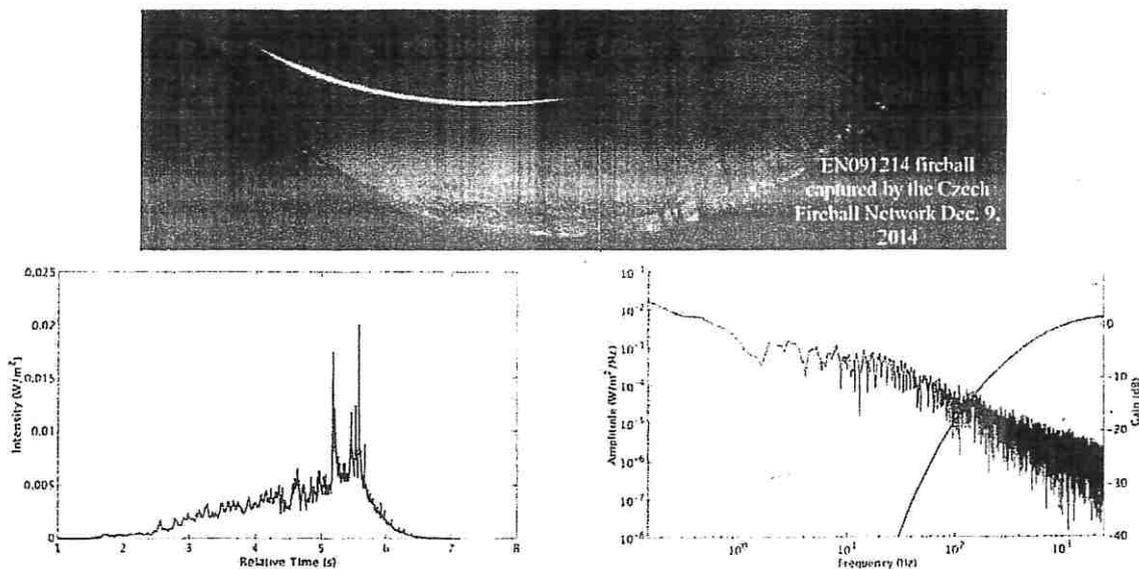
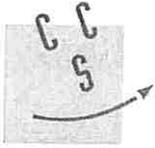


FIGURE 3 – Enregistrement de l'intensité lumineuse émise par un météore dans le ciel. La photographie représente le météore étudié. Le graphe de gauche représente la puissance lumineuse surfacique reçue à 100 km du météore ; le graphe de droite correspond au spectre normalisé du signal de gauche, où se superpose le diagramme de gain de l'oreille humaine.

8) Justifier à partir du document et de l'expérience précédente qu'un météore est une source lumineuse pouvant éventuellement engendrer un effet photoacoustique. Estimer la fréquence audible la plus probable. Commenter.

9) Des chercheurs ont mis en évidence que les personnes aux cheveux foncés, longs et frisés étaient les plus susceptibles d'entendre des sifflements au passage d'un météore dans le ciel. Quelles sont les raisons possibles pouvant l'expliquer ? Les perceptions visuelles et auditives sont-elles simultanées ?

**Données**

On rappelle pour un corps noir de température T :

- loi de Wien

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2,89 \times 10^{-3} \text{ K}\cdot\text{m}$$

où λ_{\max} correspond à la longueur d'onde du maximum d'émission

- loi de Stefan

$$\varphi_s = \sigma T^4$$

où φ_s est la puissance surfacique rayonnée par le corps et $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$.

Exercice:

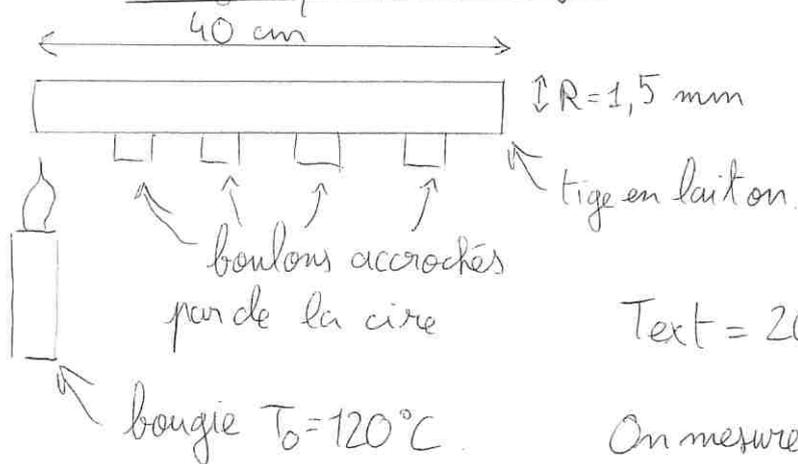
On s'intéresse à une tige métallique avec des billes de métal fixées dessus.
On augmente la température. On relève les instants où la bille en position z_j tombe de la tige.

- 1) Ordre de grandeur de la conductivité thermique d'un métal?
Donner ordre de grandeur d'un temps caractéristique lié à λ .
(On pourra raisonner par analyse dimensionnelle)
- 2) On a une régression linéaire $z_j = f(t)$. la commenter
- 3) Établir équation différentielle sur T sachant que $\gamma_{cc} = h(T - T_{ext})$ et
T uniforme pour $T(x, t) = T(z_j, t)$. On donne les CL
- 4) Montrer que la convection est négligeable si $t \ll \tau$ avec τ un temps
caractéristique à déterminer
- 5) Python: compléter le script avec les CL
- 6) Comparer les graphes obtenus en questions 2 et 5: lequel correspond le mieux?
- 7) On suppose le régime stationnaire atteint,
Établir l'équation de diffusion
- 8) Pas répertorié

Centrale

Physique - Info II

442



On mesure le temps de chute des boulons avec $T_{cire} = 50^\circ\text{C}$

Données.

$$\rho = 8,5 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$c = 425 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$h = 10 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

Python: le dernier boulon tombe à $t = 138 \text{ s}$.

(Pour q1 et q2 on néglige h)

1) Donner un odg de λ et son unité

Donner un odg de τ , le temps caractéristique avant le régime stationnaire. Commentaire?

2) Python: trouver λ par régression linéaire. Est-ce cohérent?

$$\hookrightarrow \text{coeff } y = f(t) = 1 \cdot 10^{-9} \text{ SI}$$

3) Donner l'équation aux dérivées partielles sur T .

4) Temps caractéristique τ où on peut négliger les effets convectif si $t \ll \tau$. Lien avec le Python?

5) avec les conditions aux limites, tracez $T(x, t)$ pour différents t (python)

6) Python: comparaison théorie expérience.

7) On suppose le régime stationnaire atteint. Donnez $T(x)$

(q8 et q9 par ou)

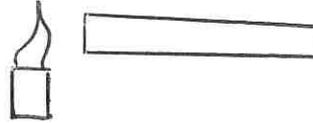
Centrale - Physique - Info

Exercice de diffusion thermique :

(440)

Énoncé :

On a une barre en laiton de 40cm, avec une bougie à l'extrémité :



Objectif : Déterminer le coefficient de diffusion thermique

1) À l'aide d'une analyse dimensionnelle, déterminer le temps caractéristique d'établissement du régime permanent.

2) Python
3) Python
4) Python

} Très probable que ce soit les capacités numériques de Mme Mornel sur la diffusion de particules et le gel d'Agén-Agén

5) Déterminer l'équation de diffusion.

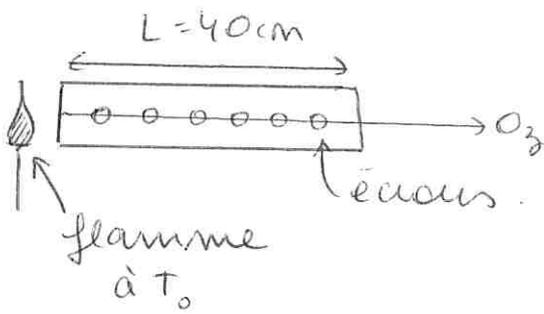
6) Montrer que pour un $\tau \gg t$, on peut négliger les pertes conducto-convectives \rightarrow AN puis commentaire

7) Établir la loi d'évolution de la température

8) On trouve qu'à $y = 16$ cm (le laiton est enduit de la cire ne fond, expliquer. cire)

9) Poser $\frac{x}{\sqrt{Dt}}$ pour trouver une équation-diff ?

44d

Données : $\rho = 8,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

$$c = 425 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$r = 1,5 \text{ mm}$$

$$T_{\text{fusion cire}} = 50^\circ \text{C}$$

$$T_{\text{ext}} = 20^\circ \text{C}$$

$$h = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

↳ tige de laiton

écrous collés avec de la cire

↳ diffusion thermique dans la tige : les écrous tombent.

↳ on a les temps de chute rentrés dans Python :

1) ordre de grandeur λ métal.

En déduire ordre de grandeur de la durée de diffusion en régime stationnaire.

2) Python : données expérimentales :

→ temps de chute écrous

→ position écrous.

Avec la régression linéaire implémentée, modifier le programme pour trouver la diffusivité, puis la conductivité. (`polyfit(x,y,1)`).

3) Établir l'équation de diffusion sur $T(z,t)$.

On donne le flux entre l'air et le métal :

$$Y_{cc} = h(T - T_{\text{ext}}).$$

4) Mg le terme convectif est négligeable pour $t \ll \tau$ et exprimer τ .

5) Python: remplir conditions initiales et aux limites.

(ordonne en $z=L$; $T=T_{\text{sur}}$) peu
 $z=0$; $T=T_0$) haut t)

T est un np. zeros (N, M).

$$\left\{ \begin{array}{l} T[:, 0] = T_{\text{sur}} \\ T[0, :] = T_{\text{sur}} \\ T[-1, :] = T_{\text{sur}} \end{array} \right. \text{ à modifier.}$$

6) Modifier la conductivité dans Python pour comparer les courbes obtenues avec les données expérimentales.

En déduire une valeur de d .

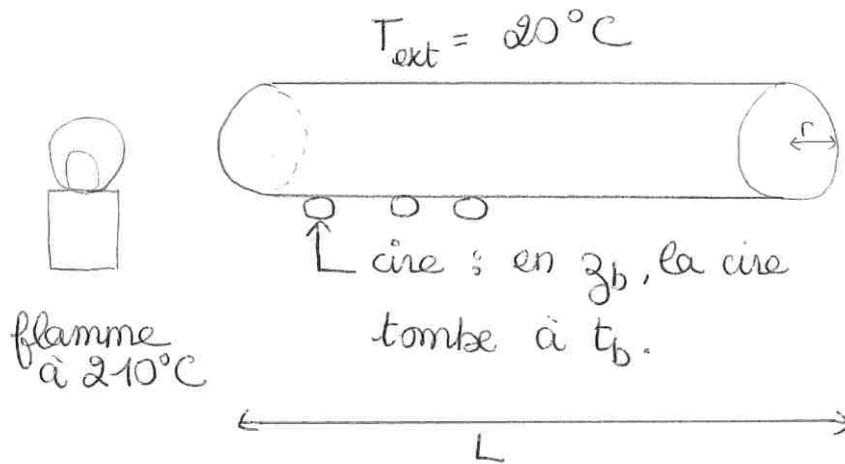
7) Équation de diffusion en régime stationnaire le résoudre.

(+ 2 p^o non traités)

Physique - info Centrale

- diffusion thermique -

Uue



1. Donner l'ordre de grandeur de la conductivité thermique d'un métal. Par une analyse dimensionnelle, établir le temps caractéristique d'établissement du régime permanent.
2. Compléter le programme Python pour tracer une régression linéaire et estimer à partir de t_b , associé à z_b , (sous forme de tableau) le coefficient de diffusion et la conductivité.
3. On donne $\varphi = h(T - T_{\text{ext}})$ (flux surfacique). Établir l'équation de diffusion.
4. Montrer qu'il existe τ tel que pour $t \ll \tau$, on puisse négliger le terme convectif.

Le vieillissement est responsable d'une perte de sensibilité aux sons aigus (figure 1).

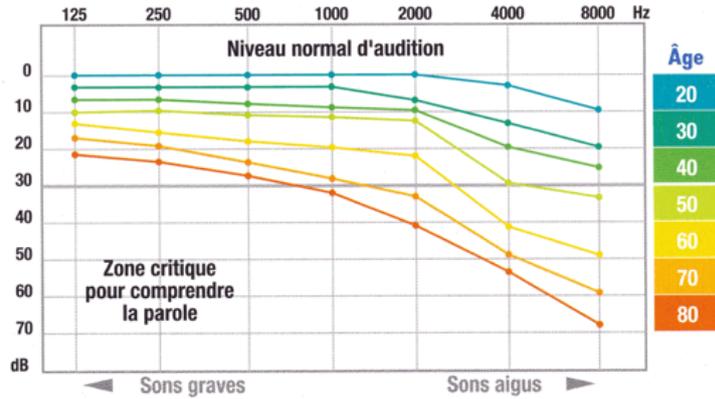


FIGURE 1

Pour corriger ce phénomène, on envisage de réaliser un système amplifiant les hautes fréquences par rapport aux basses fréquences.

On souhaite donc que

— à basse fréquence, $G \xrightarrow{f \rightarrow 0} G_{BF}$

— à haute fréquence, $G \xrightarrow{f \rightarrow \infty} G_{HF}$

— $G_{HF} > G_{BF} > 0$

Q.1 Les filtres usuels conviennent-ils ?

On décide d'utiliser la structure de la figure 2 avec $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$.

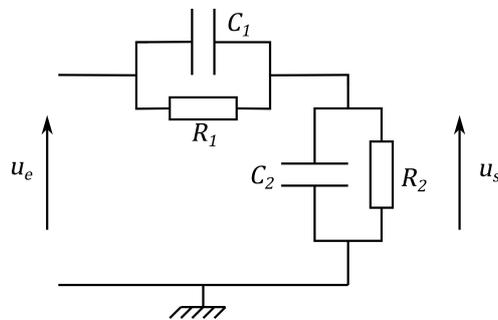


FIGURE 2

Q.2 Écrire la fonction de transfert sous la forme

$$\underline{H}(j\omega) = H_0 \times \frac{1 + j\frac{\omega}{\omega_1}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_2}}$$

expliquer H_0 , ω_1 et ω_2

La figure 3 donne le diagramme de Bode en gain de la structure étudiée.

Q.3 Justifier l'allure du diagramme à hautes et basses fréquences. Comment choisir ω_1 et ω_2 pour avoir $G_{HF} > G_{BF}$?

Q. 4 Déterminer graphiquement les valeurs de ω_1 et ω_2 .

Q. 5 En déduire les valeurs des composants R_1 , C_1 et C_2 .

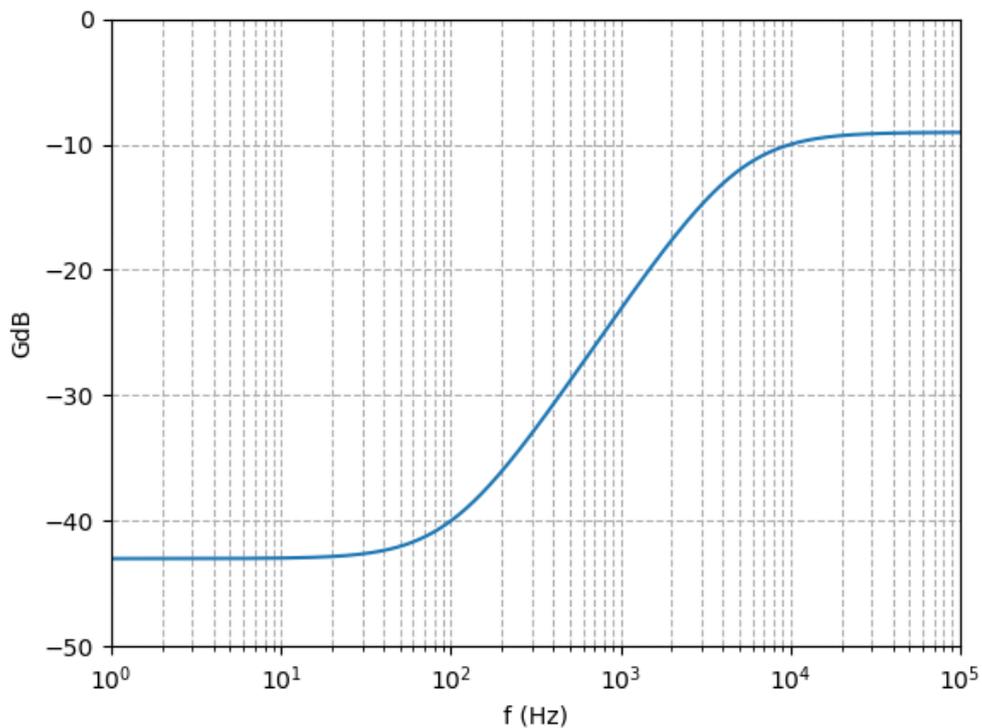


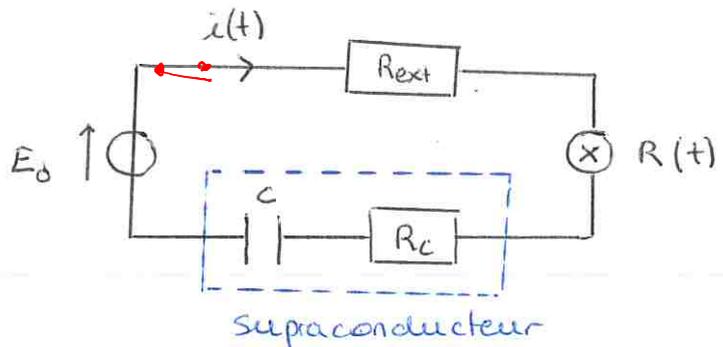
FIGURE 3

46

Etude supraconducteur:

explications et données:

- * masse m
- * capacité thermique massique c
- * R_{ext}
- * R_c
- * C



À $t=0$, C est déchargé et on ferme l'interrupteur. $R(t)$ = représente la résistance du filament de l'ampoule.

1) On suppose que $R(t) = R_0$
Donner $i(t)$.

2) On suppose maintenant que $R = R_0 + k_1 T$
avec T qui dépend du temps
Equation reliant $i(t)$ et $T(t)$?

3) Trouver une autre équation reliant i et T

Amplificateur basses fréquences : "On veut amplifier les "
BF plus que les HF

Cahier des charges : $G_{BF} > G_{HF} > 0$

• On dispose de R, C_1, C_2 .

① Tracer l'allure du diagramme de Bode qui satisfait le cahier des charges. Est-ce qu'un filtre usuel le satisfait ?

② Trouver la forme du circuit.

③ Trouver la fonction de transfert. Introduire f_1 et f_2 , les fréquences de coupure.

④ Python : tracé du diagramme de Bode pour $f_1 = 100\text{kHz}$
 $f_2 = 10\text{kHz}$

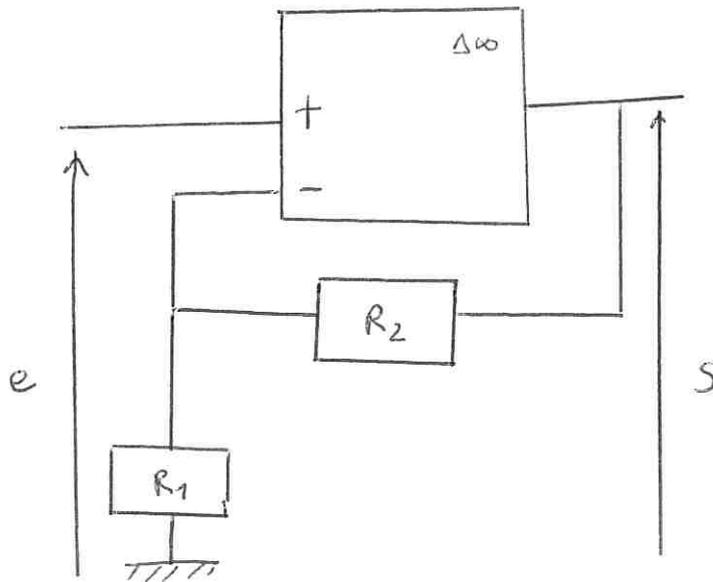
⑤ Donner les valeurs de R, C_1, C_2 qui satisfont les conditions précédentes.

⑥ On envoie un créneau $\left| \begin{array}{l} E = 1\text{V} \\ f_e = 1\text{kHz} \end{array} \right.$ Quel est l'effet du filtre sur ce créneau ?

⑦ Étudier la réponse (individuelle) à un échelon de tension quand les condensateurs sont déchargés.

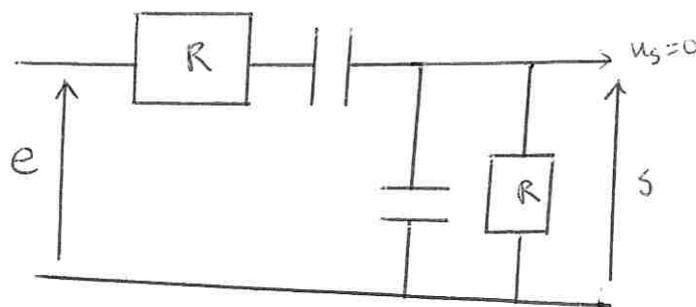
48

- 1) Trouver la fonction de transfert du montage, donner son nom, expliquer le régime linéaire d'un ALI



- 2) Tracer le graphe $s = f(e)$ (pas sur python)
Question bonus: sortie limite ?

- 3) a) Trouver la fonction de transfert de ce montage :



- b) Tracer le diagramme de Bode sur python

- c) Donner la fonction du filtre.

- 4) a) on combine les deux montage pour avoir un oscillateur.
Montrer que on obtient un signal sinusoïdal sans GBF en entrée

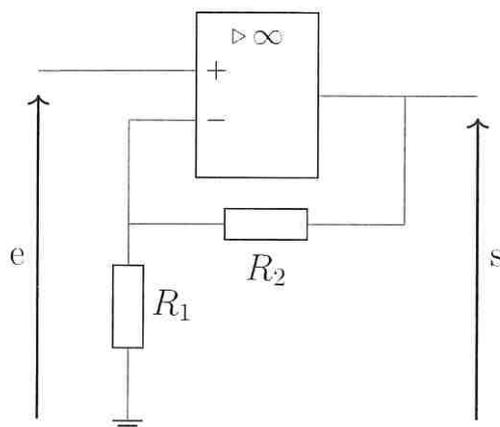
2/2

b) on donne d'autres montages

5) on cherche une équa diff.

Oscillateur à pont de Wien

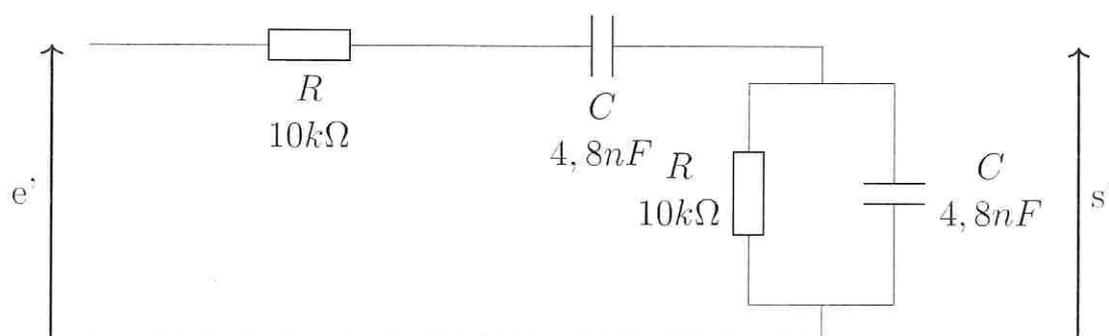
Partie 1/3



1.a) Donner les caractéristiques d'un ALI en régime linéaire. Donner $\underline{H} = \frac{\underline{s}}{\underline{e}}$. Nommer le filtre.

1.b) Tracer la caractéristique du filtre $\underline{s} = f(\underline{e})$.

Partie 2/3

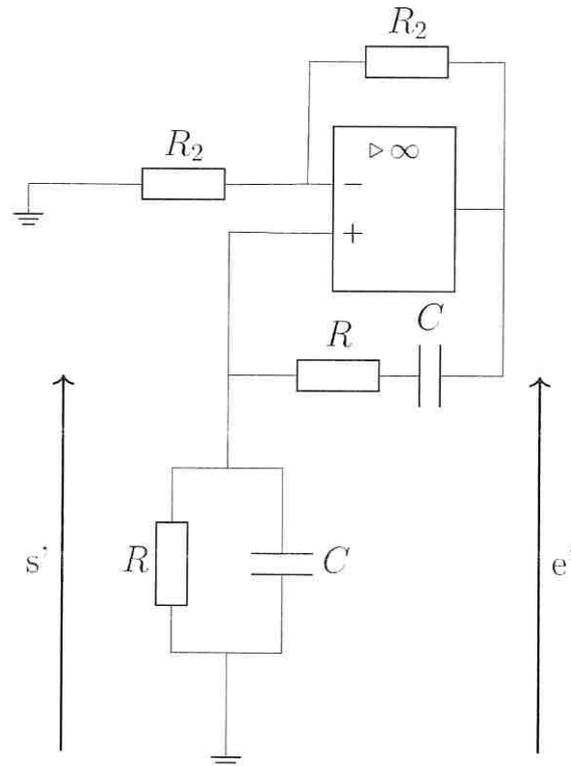


2.a) Donner la fonction de transfert du filtre $\underline{G} = \frac{\underline{s}'}{\underline{e}'}$. Expliciter Q , ω_0 et le G_0 .

2.b) Compléter le script Python afin de tracer les diagrammes de Bode en gain et en phase.

2.c) Quelle fonction remplit le filtre ?

Partie 3/3



3.a) Montrer qu'en se plaçant à f_0 (à préciser) et en imposant une condition sur $r = \frac{R_2}{R_1}$, s' peut être non nul sans imposer de tension en entrée.

3.b) Donner l'équation différentielle de s' et donner des conditions pour avoir des oscillations. Confronter avec la question précédente.

3.c) Dans la pratique, la condition sur r n'est pas réalisable. Montrer qu'on doit avoir $r > n$ (un entier à préciser). Sachant $R_2 = 10k\Omega$, donner une valeur de R_1 parmi $4,7h\Omega$, $5,6k\Omega$, $10k\Omega$.

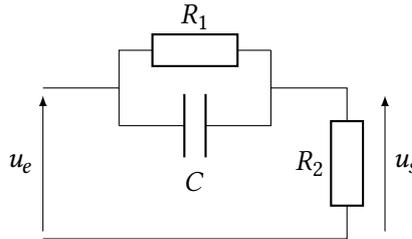
Centrale Info

Exercice 50: Filtre à avance de phase

On veut un filtre tel que :

$$\begin{cases} \underline{H}(\omega) \xrightarrow{\omega \rightarrow \infty} G_{HF} \\ \underline{H}(\omega) \xrightarrow{\omega \rightarrow 0} G_{BF} \\ G_{HF} > G_{BF} \end{cases}$$

1. Est-ce qu'un filtre usuel permet de remplir ce cahier des charges ?
2. On propose le filtre suivant :



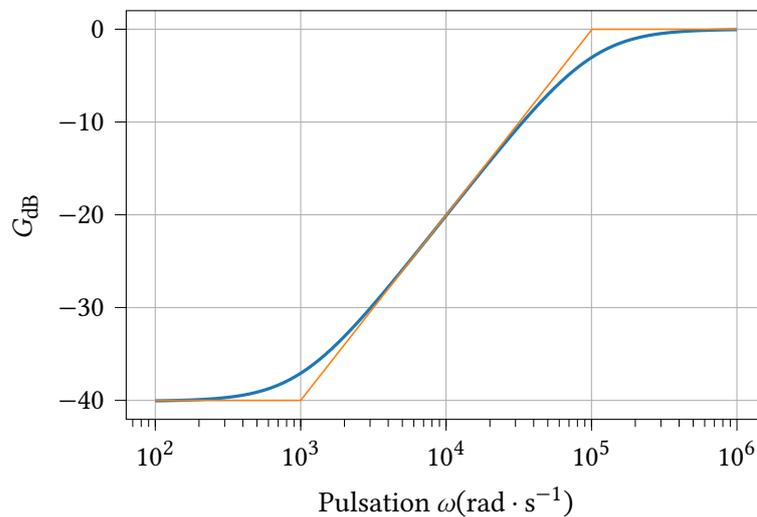
Déterminer les équivalents de la fonction de transfert en très haute et très basse fréquence.

3. Mettre la fonction de transfert sous la forme :

$$\underline{H}(\omega) = H_0 \frac{1 + j \frac{\omega}{\omega_1}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_2}}$$

et donner les expressions de H_0 , ω_1 et ω_2 . Peut-on fixer indépendamment ω_1 , ω_2 , G_{HF} et G_{BF} ?

4. On donne le diagramme de Bode :



Déterminer ω_1 et ω_2 .

5. Proposer des valeurs pour R_1 , R_2 et C .