

Filière Universitaire Française (FUF)

Épreuve orale de Physique (Mineure)

1 Bilan

L'épreuve orale de physique en tant que matière non principale dure 50 minutes. Pour le choix des problèmes proposés, l'examineur se base sur programme suivi (jusqu'au niveau Licence - L2) par l'élève. Pour la première fois cette année, une liste de notions essentielles a été publiée dans la notice des candidats, téléchargeable sur le site de l'École Polytechnique.

Pour certaines filières, lorsque le candidat n'a pas suivi de cours de physique depuis le lycée, l'examineur se reporte au programme d'avant Baccalauréat. Dans ce dernier cas, s'il y a eu un changement du programme, l'examineur se réfère à celui en cours pendant la scolarité du candidat. Il est préférable que le candidat essaye au maximum d'assimiler les notions essentielles présentées dans le document sus-nommé. Mais, en fonction de sa filière d'origine, l'examineur sera plus ou moins conciliant, valorisant le raisonnement et le sens physique des candidats.

L'épreuve débute en général par une rapide préparation (quelques minutes tout au plus) d'un premier problème proposé. L'essentiel de l'épreuve concerne la discussion (au tableau) qui s'ensuit : pour cela, il est souhaitable que l'élève sache présenter clairement la démarche à suivre, mener ensuite un développement cohérent, et enfin trouver des interprétations physiques aux résultats obtenus.

En général, un deuxième problème lui sera ensuite proposé, dans un domaine de son programme distinct de celui du premier : cela permet d'évaluer au mieux l'étendue de ses connaissances. Les deux problèmes sont généralement classiques et proches des cours. Le pré-requis est que le candidat ait bien compris les différentes parties du cours. La notation finale prendra en compte les deux exercices. L'examineur reste attentif à ce que le développement ne s'arrête pas longtemps sur un point technique ou une notion oubliée, et

veille à ce qu'un échange constructif s'établisse avec le(a) candidat(e) : l'élève communique, explique son raisonnement, ses éventuelles hésitations.

Comme dans les concours CPGE la notation des candidats universitaires est exigeante. Tout comme dans ce dernier, nous constatons que les candidats ont des niveaux de connaissance et de préparation très variés. L'examineur remarque toutefois que bon nombre d'élèves universitaires ont réalisé l'importance d'une épreuve sur une discipline non principale, et ont clairement démontré avoir pris le temps de faire une révision pour l'épreuve. En effet, une révision (même rapide) des concepts physiques fondamentaux ne peut qu'être bénéfique, et cela plus particulièrement aux candidats n'ayant suivi des cours de physique à l'Université, ou seulement au tout début de leur cursus universitaire. Il est enfin également souhaitable que les ordres de grandeur des principales constantes fondamentales de la physique soient connus.

La moyenne des 34 candidats interrogés est de 11,59/20 avec un écart-type de 4,50.

2 Exemples d'exercices

2.1 Exercice : Étude de l'effet Meissner dans un supraconducteur

On considère un échantillon cylindrique de matériau supraconducteur de longueur L et de rayon R , plongé dans un champ magnétique extérieur uniforme \mathbf{B}_{ext} dirigé selon l'axe z . Le matériau est refroidi à une température inférieure à sa température critique T_c , ce qui le fait entrer en phase supraconductrice. On néglige les effets de bord aux extrémités du cylindre (on considère $L \gg R$).

1. Effet Meissner et équation de London

- (a) Expliquer qualitativement l'effet Meissner observé dans les matériaux supraconducteurs.
- (b) Rappeler les équations de London, qui relient la densité de courant supraconducteur \mathbf{J}_s et le champ magnétique \mathbf{B} dans un supraconducteur. Les équations de London sont données par :

$$\nabla \times \mathbf{J}_s = -\frac{n_s e^2}{m} \mathbf{B}$$

et

$$\mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} - \frac{m}{n_s e^2} \frac{\partial \mathbf{J}_s}{\partial t}$$

où n_s est la densité de porteurs de charge supraconducteurs, e la charge de l'électron, et m la masse de l'électron. Utiliser la première équation pour établir une relation entre la densité de courant supraconducteur \mathbf{J}_s et le champ magnétique \mathbf{B} .

- (c) Montrer que, en combinant l'équation de London et les équations de Maxwell, le champ magnétique $\mathbf{B}(r)$ à l'intérieur du supraconducteur suit l'équation différentielle suivante, dans le cas d'un matériau de forme cylindrique :

$$\frac{d^2 B}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dB}{dr} = \frac{B}{\lambda_L^2}$$

où λ_L est la profondeur de pénétration de London, définie par :

$$\lambda_L = \sqrt{\frac{m}{\mu_0 n_s e^2}}$$

- (d) Résoudre cette équation différentielle en tenant compte des conditions aux limites imposées par l'effet Meissner.

2. Distribution de la densité de courant supraconducteur

- (a) En utilisant la solution obtenue pour le champ magnétique $\mathbf{B}(r)$, déterminer l'expression de la densité de courant supraconducteur $\mathbf{J}_s(r)$ en fonction de la distance r au centre du cylindre.
- (b) Discuter de la variation de $\mathbf{J}_s(r)$ en fonction de r et de son comportement près de la surface du cylindre.

2.2 Mécanique des fluides et tube de Pitot

1. Mesure avec le tube de Pitot : Un tube de Pitot est installé dans un conduit d'air avec une section constante. La pression mesurée avec le tube de Pitot est $P_{Pt} = 102,000$ Pa et la pression statique dans le conduit est $P_s = 101,600$ Pa. La température de l'air est $T = 25^\circ\text{C}$, et la densité de l'air à cette température est $\rho = 1,184$ kg/m³.

- Déterminer la vitesse du flux d'air mesurée avec le tube de Pitot.

2. Analyse du tube de Venturi : Un tube de Venturi est placé dans le conduit avec une section $S_1 = 0,1$ m² à l'entrée et une section $S_2 = 0,03$ m² dans la partie rétrécie. La pression mesurée à l'entrée est $P_1 = 101,600$ Pa et dans la partie rétrécie, elle est $P_2 = 101,200$ Pa.

1. Calculer la vitesse du flux d'air à l'entrée V_1 et dans la partie rétrécie V_2 du tube de Venturi.
2. Vérifier la continuité du flux en utilisant le principe de conservation de la masse.

3. Analyse de la perte de charge : Un petit segment du conduit, juste avant la partie rétrécie du tube de Venturi, présente une perte de charge ΔP_f due aux frottements internes. La pression mesurée avant cette perte est $P_A = 101,650$ Pa et après cette perte est $P_B = 101,200$ Pa. La longueur du segment est de $L = 2$ m et le diamètre du conduit est $D = 0,5$ m. La rugosité relative du conduit est $\epsilon = 0,01$ m.

1. Calculer le coefficient de perte de charge ζ pour ce segment.
2. Déterminer la perte de charge due aux frottements dans le segment en utilisant le coefficient de perte ζ .

4. Débit volumique total : Enfin, déterminer le débit volumique Q du flux d'air dans le conduit en utilisant les informations obtenues dans les questions précédentes.

Données :

- Pression au tube de Pitot : $P_{Pt} = 102,000$ Pa
- Pression statique : $P_s = 101,600$ Pa
- Pression à l'entrée du tube de Venturi : $P_1 = 101,600$ Pa
- Pression dans la partie rétrécie : $P_2 = 101,200$ Pa
- Densité de l'air : $\rho = 1,184$ kg/m³
- Section à l'entrée du tube de Venturi : $S_1 = 0,1$ m²
- Section dans la partie rétrécie : $S_2 = 0,03$ m²
- Pression avant la perte de charge : $P_A = 101,650$ Pa
- Pression après la perte de charge : $P_B = 101,200$ Pa
- Longueur du segment : $L = 2$ m
- Diamètre du conduit : $D = 0,5$ m
- Rugosité relative : $\epsilon = 0,01$ m

2.3 Diffusion thermique

1. Modélisation du Double Vitrage : Le double vitrage est constitué de deux panneaux de verre de même épaisseur $e_g = 4$ mm chacun, séparés par une lame d'air de largeur $e_a = 12$ mm. La conductivité thermique du verre est $\lambda_g = 1,0$ W/(m·K) et celle de l'air est $\lambda_a = 0,025$ W/(m·K).

1. Calculer la résistance thermique totale R_{total} du double vitrage, considérée comme la somme des résistances thermiques des deux couches de verre et de la lame d'air.
2. Déterminer la conductance thermique totale C_{total} du double vitrage.

2. Diffusion Thermique en Conditions Stationnaires : Le double vitrage est soumis à une différence de température $\Delta T = 30$ K entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment.

1. Calculer le flux thermique total \dot{Q} à travers le double vitrage, en supposant que la surface totale de vitrage est $A = 2$ m².

3. Efficacité du Double Vitrage :

1. Si la résistance thermique d'un simple vitrage de même surface est $R_{\text{simple}} = 0,15$ m²K/W, comparer l'efficacité thermique du double vitrage à celle du simple vitrage en termes de résistance thermique relative.
2. Déterminer l'amélioration en pourcentage du double vitrage par rapport au simple vitrage.

Données :

- Épaisseur du verre : $e_g = 4$ mm = 0,004 m
- Largeur de la lame d'air : $e_a = 12$ mm = 0,012 m
- Conductivité thermique du verre : $\lambda_g = 1,0$ W/(m·K)
- Conductivité thermique de l'air : $\lambda_a = 0,025$ W/(m·K)
- Différence de température : $\Delta T = 30$ K
- Surface du vitrage : $A = 2$ m²
- Résistance thermique d'un simple vitrage : $R_{\text{simple}} = 0,15$ m²K/W