

École navale

Session 2021

Filière PC – Physique 1



Le cadre et les premières secondes

L'épreuve de Physique 1 dure 30 minutes. Le candidat entre, tend à l'examineur sa feuille de passage et une pièce d'identité, signe la feuille de présence et découvre l'énoncé de l'exercice ; le passage au tableau est immédiat, sans temps de préparation.

Le candidat dispose de deux tableaux noirs et de craies blanches et de couleur, qu'il utilise à sa guise.

Les exercices proposés

Les exercices débutent par des questions proches du cours. Cette épreuve valide un travail de fond, une maîtrise du cours et de sa compréhension. On insistera donc :

La réussite à l'épreuve orale de Physique 1 requiert une bonne connaissance du cours.

Certains énoncés sont longs et ne peuvent être terminés que par les candidats les plus véloces ; la notation en tient compte. Des questions additionnelles, de niveau de plus en plus élevé, sont ajoutées graduellement pour les meilleurs candidats terminant en avance ; ceux-ci ne doivent en aucun cas craindre de perdre des points, toutes les réponses sont écoutées avec bienveillance à de tels niveaux d'interrogation, elles ne peuvent qu'ajouter un bonus.

Lors de l'épreuve

Attendu que l'exercice est à traiter sans préparation, on attend que le candidat commence par s'appropriier et analyser le sujet qui lui est soumis. S'engage alors une véritable discussion avec l'examineur, pour proposer une stratégie de résolution, un modèle... La compétence « communiquer » est ici primordiale, pour présenter sa pensée, mais aussi écouter et dialoguer avec l'examineur lorsqu'il doit guider le candidat afin de ne pas le laisser bloqué. L'examineur pose régulièrement des questions, pour préciser un point qui resterait obscur, mais aussi pour s'assurer de la bonne compréhension du cours. Toutefois, le candidat ne doit pas chercher l'assentiment de l'examineur pour chaque réponse.

L'autonomie du candidat est valorisée. On attend de lui qu'il sache construire un raisonnement, sans que l'examineur ne doive le relancer à chaque étape. Le manque d'autonomie est évidemment pénalisé. Les candidats sérieux développent de véritables raisonnements en plusieurs étapes, sans oublier les résultats des questions précédentes.

L'examineur eut le plaisir d'entendre des exposés bien menés, où le candidat ne perdait pas de temps à écrire ce qu'il énonçait à l'oral ou en explications redondantes ; où le tableau, reprenant les étapes essentielles

des calculs, était bien tenu, rempli en colonnes et n'était pas masqué par la position du candidat.

La calculatrice

Les calculs d'ordre de grandeur sont la règle, donc sans calculatrice. Dans quelques rares cas, quand une application numérique à deux chiffres significatifs est requise, le candidat pose l'opération au tableau (multiplication, division).

Les questions systématiques

La question posée régulièrement à chaque sujet est : *pourquoi ?*

Pourquoi utilisez-vous telle surface de Gauss et non pas telle autre ?

Pourquoi utilisez-vous ce contour d'Ampère ?

Pourquoi choisissez-vous ce système de coordonnées ?

Pourquoi projetez-vous sur tel axe ?

Pourquoi la vitesse d'une onde sonore à l'interface entre deux fluides est-elle continue ?

Pourquoi pouvez-vous négliger les effets de bord ?

La liste est longue ; le candidat doit être capable de tout justifier et montrer ainsi qu'il a compris et maîtrisé son sujet.

Notes décernées

Les notes s'étalent de 5 à 20 avec une moyenne de 12,1. L'examineur fut impressionné par la remarquable qualité de certaines prestations. Se perpétue ainsi une tradition du concours de l'École navale, de travail soutenu pendant les années de préparation, d'apprentissage réfléchi de la Physique, de motivation des candidats et de formation de haut niveau délivrée par les professeurs de CPGE.

Remarques disciplinaires

Quels sont les points qui permirent aux bons candidats de réussir leur épreuve ?

1) Remarques générales

Les candidats doivent veiller à l'**homogénéité** des formules, tant pour les unités qu'au niveau des écritures scalaire ou vectorielle. Il doivent savoir postuler une formule par analyse des unités des différents termes qui interviennent, dans le système international.

Savoir résoudre une **équation différentielle** linéaire à coefficients constants du 1^{er} ou du 2^{ème} ordre, avec second membre, et connaître quels termes représentent mathématiquement les régimes transitoire ou permanent, est indispensable. Il est conseillé de savoir normaliser une équation différentielle, par exemple sous les formes (qui ne sont pas uniques) :

$$\tau \frac{ds}{dt} + s = 0, \quad \frac{1}{\omega_0^2} \frac{d^2s}{dt^2} + \frac{2\xi}{\omega_0} \frac{ds}{dt} + s = 0,$$

de connaître les significations de τ , ω_0 et ξ (ou du facteur de qualité $Q = 1/2\xi$), de savoir tracer sans calcul l'allure de la sortie en fonction de ξ .

Il convient de savoir reconnaître l'équation d'un oscillateur, et de ne pas le confondre avec un système divergent, dont un signe est différent.

L'utilisation des **opérateurs** doit être aisée en cartésiennes, comme le développement de $(\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}) \vec{v}$ ou de $\overrightarrow{\Delta} \vec{E}$, par exemple pour un champ en $\sin\left(\frac{\pi z}{a}\right) \cos(\omega t - kx) \vec{u}_y$. En coordonnées cylindrique ou sphérique, tenter de calculer $\text{rot } \vec{E}$, *via* $\overrightarrow{\nabla} \wedge \vec{E}$, ne mène pas au bon résultat.

Aucune grandeur n'est intrinsèquement négligeable, elle n'est **négligeable** que devant une autre, qui lui est homogène.

Lors du **tracé de courbes**, on s'attend à ce que les candidats sachent tracer l'allure de fonctions polynomiales, par exemple $x \mapsto 1 - \frac{x^2}{a^2}$ ou $x \mapsto x - \frac{x^3}{a^2}$, en examinant les termes prédominants.

Un schéma, clair, en couleur, n'est pas optionnel !

2) Mécanique des fluides

Les bons candidats valident systématiquement à l'oral les hypothèses de validité du **théorème de Bernoulli** et dessinent un **schéma clair** où figure la ligne de courant étudiée, par exemple pour établir la vitesse d'éjection d'un récipient.

Ils dressent un **schéma clair** du système à deux instants successifs lorsqu'ils établissent un **bilan macroscopique**. Ils ne perdent pas de temps à développer un bilan de masse quand ils ont déjà justifié et écrit la conservation du débit. Ils savent proposer immédiatement l'expression de la résultante des forces de pression atmosphérique sur une surface solide et l'orientent correctement.

3) Électromagnétisme

Dans les bonnes prestations en **induction**, une analyse physique de la situation, finissant avec la loi de Lenz, expose le plan de mise en équation du problème. Un **schéma clair**, compréhensible, correctement utilisé, montre quelles sont les orientations, qui ne doivent pas être contradictoires à chaque étape, comment sont placés les vecteurs, en particulier $d\vec{\ell}$ ou $i d\vec{\ell} \wedge \vec{B}$. Les meilleurs candidats savent détecter une erreur de signe sur le résultat final, en particulier s'ils obtiennent une équation différentielle caractéristique d'un système instable, et remontent pour corriger leurs calculs.

Il est souvent beaucoup plus simple de calculer le moment des forces de Laplace qui s'exercent sur un circuit filiforme fermé par $\vec{\Gamma} = \vec{\mathcal{M}} \wedge \vec{B}$.

Lors des calculs de champs, les **symétries** et les **invariances** doivent être systématiquement étudiées, quelles que soient la source du champ et l'équation de Maxwell dont la forme intégrée doit être connue, comme le théorème d'Ampère complet (ou généralisé) :

$$\oint_{\mathcal{C}} \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I_{\text{enlacé}} + \varepsilon_0 \mu_0 \frac{d}{dt} \iint_{\mathcal{S}'_{\mathcal{C}}} \vec{E} \cdot d\vec{S},$$

ainsi que la loi de Faraday :

$$\oint_{\mathcal{C}} \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\frac{d}{dt} \iint_{\mathcal{S}'_{\mathcal{C}}} \vec{B} \cdot d\vec{S}.$$

Cette dernière équation sert à calculer le **champ électrique créé par un un champ magnétique variable dans le temps**. Certains candidats semblent découvrir ce phénomène le jour de l'oral, alors que d'autres l'expliquent et le modélisent efficacement et très rapidement. Dans le cas d'un champ électrique créé par un champ magnétique, lui-même créé par un courant d'intensité variable, les symétries du courant se retrouvent *in fine* dans celles du champ électrique.

4) Diffusion thermique

Les bons étudiants savent **établir l'équation de la diffusion thermique** *via* un bilan d'énergie interne en géométrie cartésienne ou dans le cas général.

Ils utilisent à bon escient la **continuité du flux thermique** à travers une interface.

Lorsque l'énoncé modélise le transfert thermique à une interface par la loi $\delta Q = hS(T_1 - T_2) dt$, ou par une phrase en français, on s'attend à ce que le candidat en tienne compte et sache expliquer pourquoi il manipule $T_1 - T_2$ et non $T_2 - T_1$ et que la température n'est alors pas continue à l'interface dans le modèle adopté.

Les candidats doivent savoir modéliser une situation avec le formalisme des **résistances thermiques**, lorsque les hypothèses d'utilisation sont réunies. La connaissance des lois élémentaires sur les circuits électriques (loi des mailles, diviseur de tension, convention récepteur, fléchage des tensions) est alors indispensable.

5) Optique physique

Dans l'étude des **interférences**, les bons candidats exposent sans hésitation les raisons de la cohérence ou de l'incohérence des sources.

La formule des interférences à deux ondes est connue et d'utilisation immédiate, tout comme les expressions classiques des différences de chemin optique entre deux sources avec leur hypothèses d'application. Un tracé rigoureux des rayons lumineux est attendu dans le cas d'une lentille de projection. Le jury attend un exposé essentiellement qualitatif sur la diffraction, afin d'expliquer la forme des franges d'interférences.

Dans des cas plus compliqués avec des différences de marche avant et après les trous d'Young, les bons candidats proposent des expressions des différences de marche dont les signes sont cohérents.

6) Mécanique

Une **étude physique** est souvent la bienvenue, afin de ne pas se lancer dans d'inextricables calculs pour des forces qui n'ont aucune influence sur le mouvement (dont le moment par rapport à l'axe de rotation est évidemment nul par exemple). Le bon sens est plus important que les gros calculs.

En coordonnées cylindriques, les candidats doivent être capables d'orienter les angles de façon autonome et de tracer les vecteurs de base.

Le **calcul vectoriel** (projections, produit scalaire, produit vectoriel) doit être maîtrisé. Les bons candidats vérifient rapidement la pertinence du résultat des projections sur des cas limites (angles nul ou droit).

Lorsque le contact entre un mobile et un support est étudié, il convient d'utiliser une base où la réaction du support s'élimine sur une des composantes. De plus, le contact disparaît dès que la réaction s'annule.

Le jury attend des candidats qu'ils prennent l'initiative d'un **schéma**, avec le sens et la direction des **forces d'inertie** clairement indiqués *a priori*, afin de grandement simplifier la mise en équation ultérieure.

Rappelons que si la force résultante développée sur un solide est nulle, cela n'implique pas que son moment le soit aussi.

Le jury apprécie lorsque les candidats modélisent correctement les **ressorts**, sans mélanger la longueur à vide avec celle à l'équilibre. Les candidats sérieux peuvent vérifier, sur des cas limites, le signe de la force de rappel élastique.

Lors de l'étude des **positions d'équilibre** d'un système, l'examineur fut surpris d'entendre des candidats établir les expressions des énergies potentielles dont dérivent les diverses forces, pour dériver dans la foulée afin de trouver le minimum. Lors des meilleures prestations, les candidats linéarisèrent rapidement le principe fondamental de la dynamique autour d'une position d'équilibre pour en étudier la stabilité.

7) Physique des ondes

On s'attend à ce que les candidats maîtrisent le cours, c'est-à-dire qu'ils sachent démontrer rapidement l'équation de d'Alembert pour une corde vibrante, une onde acoustique, une onde électromagnétique, en précisant les hypothèses et le cadre de l'étude.

La notation $\exp\left(i\left(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}\right)\right)$ doit être maîtrisée, la signification des vecteurs \vec{k} et \vec{r} connue. De plus, $\frac{\partial}{\partial t}$ et grad ne deviennent en notation complexe $j\omega$ et $-j\vec{k}$, que si l'onde étudiée est plane progressive et harmonique ; ce passage aux complexes est par exemple faux dans le cas d'une onde stationnaire ou qui n'est pas plane.

Lors de l'étude de la **réflexion** et de la **transmission** d'une onde, sur une interface immobile, on s'attend à une justification physique simple de l'égalité des pulsations des ondes incidente, réfléchie et transmise.

La direction de polarisation d'une **onde électromagnétique** ne doit pas être confondue avec celle de propagation.

Sur le chapitre sur les **ondes sonores**, les bons candidats savent écrire directement les équations linéarisées ; lors de l'étude de la réflexion et de la transmission d'ondes sonores planes entre deux

milieux, ils justifient que les conditions aux limites soient écrites, dans l'approximation acoustique, en $x = 0$ (position de repos de l'interface), alors que l'interface vibre sinusoidalement.

La notion d'**impédance acoustique** simplifie grandement les calculs, à condition d'utiliser le bon signe entre le champ des vitesses et le champ de surpression de l'onde réfléchie, et que les conditions d'application soient vérifiées.

8) Électricité

L'écart entre les bons candidats et les autres est ici phénoménal. Ceux-là savent mettre en équation un circuit électrique, étudier une résonance, utiliser un diagramme de Bode, établir la sortie dans le cas d'une entrée comportant plusieurs fréquences.

À partir de la session 2022, un plus grand nombre d'exercices d'électricité sera proposé aux candidats.