

Devoir de vacances en physique

En PSI, une interrogation écrite de deux heures aura lieu le premier vendredi de la rentrée.
Elle sera constituée de 20 questions choisies dans les devoirs de vacances de physique et chimie (deux documents).

- Exprimer** signifie que l'on attend une expression littérale.
- Calculer** signifie que l'on attend une valeur numérique.
- Une figure soignée est attendue dans la plupart des questions.

Énoncé de cinq pages, 50 questions de cours.

Aide à la révision :

Programme de physique et chimie avec l'application appli.qmax.fr (gratuite, sur ordinateur ou android).
Questionnaires à choix multiples conçu par des professeurs CPGE.

Oscillateur-Ondes

- Q. 1** Une masse m est accrochée à un ressort (raideur k , longueur à vide ℓ_0) fixé à son extrémité supérieure.
- a. Établir l'équation différentielle régissant le mouvement par deux méthodes.
 - b. On écarte la masse de son équilibre et on la lâche sans vitesse.
Caractériser le mouvement en utilisant les notions d'amplitude, de phase, de période, de fréquence et de pulsation.
- Q. 2** Définir une onde progressive, en proposer une écriture mathématique et illustrer par un schéma.
Dans le cas d'une onde progressive sinusoïdale, proposer une écriture faisant apparaître la fréquence f et la longueur d'onde λ puis démontrer le lien entre f , λ et la célérité c .
Donner quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustiques et électromagnétiques.

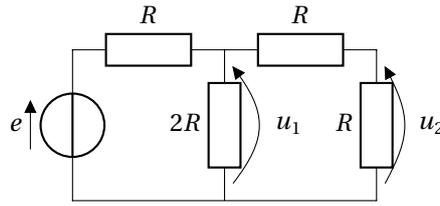
Optique géométrique

- Q. 3** On considère une lentille mince sphérique convergente éclairée par un faisceau parallèle à l'axe optique.
Tracer les trajets suivis par des rayons proches de l'axe puis des rayons plus éloignés de l'axe.
Définir le stigmatisme puis rappeler les conditions de Gauss en précisant leur intérêt.
- Q. 4** Tracer l'image d'un objet réel par une lentille convergente de distance focale f' , en distinguant suivant la position de cet objet par rapport au foyer. Qualifier l'image par trois adjectifs. Établir la condition $D > 4f'$ pour que la lentille forme une image réelle sur un écran situé à la distance D de l'objet.
- Q. 5** Expliquer le phénomène de réflexion totale sur un dioptre en précisant bien les conditions d'existence de ce phénomène.
Exprimer puis calculer (en degrés) l'angle limite de réflexion totale pour un dioptre verre-air pour un verre d'indice $n = 1,5$.
Connaissez-vous des applications concrètes de ce phénomène?
- Q. 6** On considère une fibre optique à saut d'indice (indice de la gaine n_g , indice du cœur n_c).
- a. Expliquer l'existence d'un cône d'acceptance. Établir l'expression de l'angle d'acceptance.
 - b. Expliquer le phénomène de dispersion intermodale. Établir l'expression de $\Delta t = t_{max} - t_{min}$, la différence de temps de parcours de la fibre entre le rayon ayant le plus long trajet et le rayon ayant le plus court.

Circuits électriques dans l'ARQS – Filtrage linéaire

- Q. 7** Expliquer ce qu'est l'approximation des régimes quasi stationnaires (ARQS).
Exprimer la condition de validité de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence du générateur.
Application numérique Dans une salle de TP du lycée, retrouver la fréquence maximale du GBF.
- Q. 8** Exprimer l'énergie stockée dans un condensateur et démontrer cette expression.
Faire de même pour l'énergie stockée dans une bobine.

Q. 9 Établir la loi du diviseur de tension et l'utiliser dans l'exemple suivant pour exprimer u_1 et u_2 en fonction de E .



Q. 10 On connecte en série une source de tension idéale e , un résistor R et un condensateur idéal C .

Exprimer la tension $u_c(t)$ aux bornes du condensateur lorsque $e(t)$ est un échelon de tension montant de 0 à E .

Exprimer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire.

Tracer $u_c(t)$ en faisant figurer deux paramètres importants.

Q. 11 Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur d'un circuit RLC série connecté à un GBF de tension e . La mettre sous forme canonique et identifier la pulsation propre et le facteur de qualité.

Q. 12 Un filtre linéaire possède une fonction de transfert qui s'écrit : $H = \frac{H_0}{1 + j\frac{\omega}{\omega_c}}$

Déterminer la nature et l'ordre de ce filtre (sans calcul).

Représenter le diagramme asymptotique du gain en décibel pour une abscisse logarithmique.

Établir l'expression du signal de sortie $s(t)$ du filtre pour un signal d'entrée s'écrivant : $e(t) = E_0 + E_1 \sin(\omega_1 t) + E_3 \sin(3\omega_1 t + \varphi)$

Application numérique Simplifier au maximum $s(t)$ lorsque $\omega_1 = 2\omega_c$

Q. 13 Réponse à l'échelon et compétences expérimentales

On veut imposer une tension $e(t)$ carrée à une branche RLC série et observer la tension $s(t)$ aux bornes du résistor.

a. Proposer un montage avec la position des voies 1 et 2 de l'oscilloscope pour observer $e(t)$ et $s(t)$.

On rappelle que les bornes noires d'un oscilloscope et d'un GBF sont connectées à la Terre (prise de terre).

b. Le carré est considéré comme une succession d'échelons montants puis descendant.

On veut visualiser le régime transitoire de durée τ . Comment choisir la période T du carré?

c. Quelle inégalité doit vérifier le facteur de qualité Q de ce système pour que $s(t)$ oscille avant chaque valeur finale?

Mécanique

Q. 14 Établir les expressions des composantes des vecteurs position, vitesse et accélération en coordonnées cylindriques.

Q. 15 À quelle(s) condition(s) dit-on qu'un solide est en translation? Dans le cas d'un solide en rotation autour d'un axe fixe, exprimer le champ des vitesses des points matériels constitutifs du solide.

Q. 16 Définir une force conservative.

Rappeler l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur d'un point matériel de masse m et de l'énergie potentielle élastique d'un point lié à un ressort de raideur k et de longueur à vide ℓ_0 .

Q. 17 Établir l'équation différentielle régissant le mouvement d'un pendule simple (masse m ponctuelle, longueur L , champ de pesanteur g) suspendu en un point fixe, en appliquant

a. le théorème de l'énergie mécanique;

b. le théorème du moment cinétique;

c. la seconde loi de Newton.

Citer un avantage et/ou inconvénient de chacune des méthodes.

Q. 18 Effectuer un bilan énergétique pour exprimer la vitesse acquise par une particule chargée initialement immobile (masse m , charge q) lorsqu'elle est accélérée par une différence de potentiel U .

Pourquoi le poids de la particule n'intervient-il pas dans cette étude? On illustrera les situations suivantes (\vec{E} , position initiale et finale de la charge) :

a. $U > 0$ et $q > 0$;

b. $U > 0$ et $q < 0$;

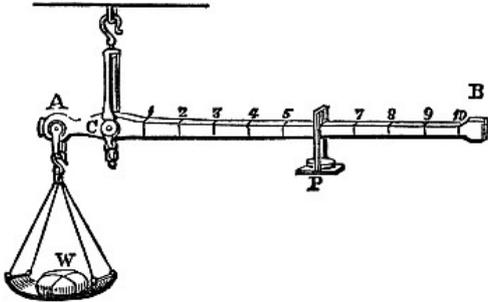
c. $U < 0$ et $q > 0$;

d. $U < 0$ et $q < 0$.

Q. 19 Écrire la force subie par une charge q en mouvement dans un champ magnétique stationnaire et uniforme de norme B_0 . Dans le cas où la vitesse initiale de la particule (de norme v_0) est orthogonale au champ magnétique, établir que la trajectoire est circulaire et exprimer son rayon. Faire une figure pour $q > 0$ et pour $q < 0$.

Q. 20 Définir le moment par rapport à un point A des forces subies par un point matériel M , puis par un solide. Dans quel cas peut-on parler de « couple »?

Balance romaine : Le point C étant fixe, on coulisse le chariot P jusqu'à l'équilibre horizontal de la tige AB .



a. Justifier que la masse inconnue m_W se déduit de la masse du chariot m_P et des distances CA et CP par la relation :

$$m_W = m_P \frac{CP}{CA}$$

b. Sur la figure, $m_W = 6$ kg. Comment choisir les paramètres pour que m_W en kg coïncide avec le numéro de la graduation?

Q. 21 Définir le moment cinétique d'un point matériel par rapport à un point A puis par rapport à un axe orienté (Oz) . Que représente physiquement cette grandeur?

Q. 22 Donner les expressions du moment cinétique scalaire et de l'énergie cinétique pour un solide en rotation autour d'un axe fixe. Écrire les lois du moment cinétique et de l'énergie cinétique pour ce solide.

Q. 23 On étudie un point matériel soumis exclusivement à une force centrale de centre O . Démontrer que le mouvement est plan et qu'une grandeur appelée constante des aires se conserve au cours du mouvement. Qu'appelle-t-on la loi des aires? Établir cette loi.

Q. 24 Soit une force centrale proportionnelle à $1/r^2$ (en coordonnées polaires). Exprimer l'énergie potentielle associée cette force. Écrire la conservation de l'énergie mécanique du point en introduisant une énergie potentielle effective. Montrer que cette grandeur permet de décrire qualitativement le mouvement radial. Pour une force attractive, tracer l'allure de l'énergie potentielle effective en fonction de r . Justifier que certaines valeurs de l'énergie mécanique conduisent à un « état lié ».

Q. 25 Exprimer la vitesse de libération à la surface d'un astre et proposer une application numérique pour la Terre. Données : champ gravitationnel au sol $g_0 = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$ et rayon de la terre $R = 6400 \text{ km}$

Q. 26 Énoncer les trois lois de Képler. Établir la troisième loi dans le cas particulier d'une trajectoire circulaire.

Q. 27 Donner la définition d'un satellite géostationnaire et justifier ses caractéristiques : plan de l'orbite, période T , nature de la trajectoire, altitude h (sans calculatrice).

Données :	Rayon terrestre $R_0 = 6400 \text{ km}$	$\left(\frac{6,4 \times 2,4 \times 3,6}{2\pi}\right)^{2/3} = 4,26$
	Champ gravitationnel au sol terrestre $g_0 = 10 \text{ m.s}^{-1}$	

Thermodynamique

Q. 28 Définir les capacités thermiques C_v et C_p d'un gaz parfait; laquelle de ces deux capacités est la plus grande? Même question pour une phase condensée. Donner l'expression de l'énergie interne et de l'enthalpie d'un système de n moles de gaz parfait, en utilisant les capacités thermiques molaires, puis le coefficient isentropique γ et la constante R des gaz parfaits.

Q. 29 Énoncer précisément le premier principe de la thermodynamique pour une transformation entre deux instants t_1 et t_2 . On fera apparaître au moins quatre termes. Expliquer pourquoi certains termes sont précédés de Δ et d'autres non.

Q. 30 À quelle(s) condition(s) le travail intervenant dans le premier principe peut-il s'écrire comme l'intégrale de $-P_{ext} dV$? Donner un exemple simple où cette expression n'est pas valable. Dans quel cas peut-on écrire le travail comme l'intégrale de $-P dV$?

- Q. 31 Énoncer précisément le second principe de la thermodynamique.
Démontrer l'inégalité de Carnot Clausius pour une machine ditherme, en définissant clairement les grandeurs intervenant dans son expression.
À quelle condition cette inégalité peut-elle être remplacée par une égalité?
- Q. 32 Énoncer les trois expressions possibles de la loi de Laplace, en précisant les hypothèses nécessaires à son application.
Comment feriez-vous pour justifier cette loi? (démonstration complète non demandée).
- Q. 33 Un moteur ditherme fonctionne à l'aide d'un gaz parfait qui effectue des cycles de Carnot réversibles entre les températures T_1 et $T_2 < T_1$. Tracer le cycle dans un diagramme de Clapeyron en précisant dans quel sens est décrit le cycle.
Démontrer l'expression du rendement du moteur.
Proposer une application numérique pour un moteur de voiture (calcul approché sans calculatrice).
Un cycle de Carnot est constitué de deux isothermes au niveau des sources et de deux adiabatiques réversibles entre ces sources.
- Q. 34 Expliquer ce qu'est une pompe à chaleur ditherme et illustrer par un exemple concret; on notera T_1 et $T_2 < T_1$ les températures qui interviennent.
Effectuer un schéma formel de cette pompe puis rappeler la définition de son efficacité.
Démontrer que cette efficacité est toujours inférieure à une valeur maximale que l'on exprimera en fonction de T_1 et T_2 ; comment s'appelle ce résultat?
Proposer une application numérique pour le chauffage d'une maison (calcul approché sans calculatrice).
- Q. 35 Tracer l'allure des isothermes d'un corps pur dans un diagramme de Clapeyron, en précisant les domaines où le corps est monophasé, liquide ou gazeux, et diphasé.
Qu'appelle-t-on l'état supercritique?
Expliquer comment on applique le théorème des moments chimiques pour déterminer la composition d'un état diphasé.
- Q. 36 On étudie la vaporisation totale monotherme monobare de n mol d'eau liquide sous 1 bar à $T_0 = 373$ K. Exprimer puis calculer les variations d'enthalpie et d'entropie en fonction de la chaleur latente molaire de vaporisation \mathcal{L} .
Même question lors de la liquéfaction totale de n moles d'eau gazeuse.
Application numérique $L = 2,3 \cdot 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ $n = 10$ moles $O = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $H = 1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Magnétisme

- Q. 37 Tracer la carte de champ magnétique :
- d'un aimant droit;
 - d'un aimant en U (préciser la position des pôles);
 - d'une spire de courant (préciser le sens du courant);
 - d'un solénoïde (préciser le sens du courant).
 - À quoi ressemble la carte de champ dans une zone de l'espace où le champ est uniforme?
 - Décrire un dispositif permettant de réaliser un champ magnétique quasi uniforme.
- Q. 38 Donner l'ordre de grandeur du champ magnétique terrestre, du champ créé par un solénoïde et du champ créé par un aimant. Dans quel(s) dispositif(s) technologique atteint-on aujourd'hui les champs magnétiques permanents les plus intenses? Comment sont-ils obtenus?
- Q. 39 Définir le moment magnétique associé à une spire de courant, puis à un solénoïde.
Quel autre type de dispositifs est également caractérisé par son moment magnétique?
Expliquer l'intérêt de cette notion lorsqu'on s'intéresse au champ créé à grande distance par ces dispositifs.
- Q. 40 On considère une barre conductrice parcourue par un courant i et placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire. Établir l'expression de la résultante des actions de Laplace sur la tige, puis du moment résultant de ces actions par rapport à une extrémité de la tige.
- Q. 41 Exprimer, en fonction de son moment magnétique, le moment résultant des actions de Laplace sur un aimant droit ou sur un petit circuit fermé plongés dans un champ magnétique \vec{B} quasi uniforme.
Déduire la position d'équilibre stable de cet aimant dans un champ magnétique stationnaire et uniforme.
Citer une application millénaire de cet effet.
- Q. 42 Comment peut-on créer un champ magnétique tournant à l'aide de bobines?
Quel est l'effet d'un tel champ sur un aimant droit?
Citer une application moderne de cet effet.

- Q. 43 En vous appuyant sur un exemple de votre choix, décrire qualitativement le phénomène d'induction magnétique et expliquer les notions de force électromotrice induite et de circuit électrique équivalent. Énoncer la loi de Lenz et l'illustrer sur votre exemple.
- Q. 44 Définir le flux du champ magnétique à travers un circuit et illustrer à l'aide d'un schéma. Énoncer la loi de Faraday en précisant bien les conventions de signe.
- Q. 45 Définir le phénomène d'auto-induction puis l'inductance propre d'un circuit. À quelle(s) condition(s) l'auto-induction peut-elle être négligée? Déterminer l'inductance propre d'un solénoïde long.
- Q. 46 Définir l'inductance mutuelle entre deux circuits. Citer au moins deux applications dans le domaine de l'industrie ou dans la vie courante.
- Q. 47 On considère un rail de Laplace sans générateur (c'est-à-dire une tige conductrice en mouvement horizontal de translation sur un rail métallique fermé par un résistor); Écrire les équations électrique et mécanique régissant ce dispositif en précisant le paramétrage et les conventions de signe. Dédire l'équation différentielle régissant le vecteur vitesse de la tige en absence de frottement solide.
- Q. 48 Une longue bobine de cuivre à section circulaire est parcourue par une intensité orthoradiale I .
- Citer tous les plans de symétrie ou d'antisymétrie de cette distribution de courant et en déduire des informations sur les directions vectorielles du champ magnétique.
 - Citer toutes les invariances de cette distribution de courant et en déduire des informations sur les dépendances des composantes du champ magnétique.

Interférences et mécanique quantique

Q. 49 *Modèle de l'atome d'hydrogène*

Le modèle planétaire de Bohr postule que :

- l'électron tourne autour du proton sur une trajectoire circulaire de rayon r ;
- la norme de son moment cinétique orbital est quantifié : $\sigma = n \times \frac{h}{2\pi}$ où $n \in \mathbb{N}$

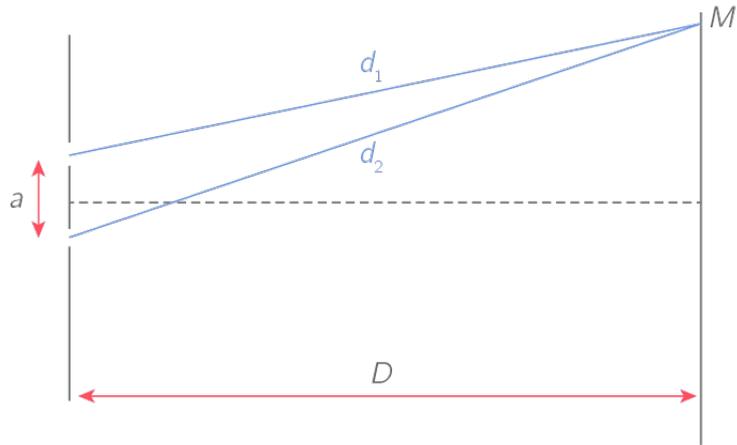
Données :

- masse de l'électron $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg
- charge de l'électron $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ C
- permittivité du vide $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ m⁻³.kg⁻¹.s⁴.A²
- constante de Planck $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J.s

- Dédire que le rayon est quantifié selon $r_n = n^2 r_1$. Exprimer r_1 et le calculer en Angström.
- Dédire que l'énergie mécanique est quantifiée selon $\mathcal{E}_n = \frac{\mathcal{E}_1}{n^2}$. Exprimer \mathcal{E}_1 et la calculer en eV.

Q. 50 *Dispositif des trous d'Young*

Une onde monochromatique de longueur d'onde λ se propage le long de l'axe Oz . On intercale sur le trajet de cette onde un écran percé de deux trous de dimension négligeables, écartés d'une distance a , comme représenté sur la figure ci-dessous. Chaque trou peut être considéré comme une source ponctuelle émettant un champ électrique de même amplitude. On place un écran à une distance D . On observe la figure d'interférence au point P situé sur l'écran, à la côte x . La distance D est beaucoup plus grande que l'écart a et que la côte x .



- Établir l'expression littérale de la différence de chemin optique entre les deux ondes en fonction de D , a , x et λ .
- Déduire la position des lieux très lumineux et la distance entre eux appelée interfrange i .