

Questions - Cours de physique-chimie - MPSI

Ces questions sont directement tirées du programme officiel disponible à l'adresse : <https://prepas.org/index.php?rubrique=53>

I Ondes et signaux (1)

1. Formation des images :

Rappeler les caractéristiques du spectre d'une source de lumière blanche, d'une lampe spectrale (lampe à vapeur d'hydrogène par exemple), d'une LED (rouge par exemple), d'un laser (rouge par exemple). Rappeler les longueurs d'onde typiques du spectre du visible.

Donner les conditions d'application de l'optique géométrique. Rappeler la loi de Snell-Descartes et établir la condition de réflexion totale entre deux milieux d'indices n_1 et n_2 .

Construire l'image d'un objet par un miroir plan. Construire l'image d'un objet situé au milieu du segment joignant le foyer objet et du centre d'une lentille mince convergente, dans les conditions de Gauss (dont on rappellera la définition). Retrouver sa position et sa taille par le calcul à l'aide de la relation de conjugaison de Descartes ou de Newton. On précisera le caractère réel ou virtuel de l'objet et de l'image.

Montrer que la distance D entre l'objet et l'image lors d'un montage utilisant une lentille convergente de focale f' doit vérifier $D \geq 4f'$.

Donner une modélisation simple de l'œil. Préciser les ordres de grandeur de la limite de résolution et de la plage d'accommodation (punctum proximum et punctum remotum) pour un œil emmetrope (normal).

Proposer une modélisation simple d'un appareil photographique. Expliquer la notion de profondeur de champ à l'aide d'un schéma. Expliquer en quelques mots quelle est l'influence de la focale, du temps d'exposition et du diaphragme sur la formation de l'image.

Établir les expressions du cône d'acceptance et de la dispersion intermodale d'une fibre à saut d'indice.

2. Signaux électriques dans l'ARQS :

Donner le lien entre intensité i et charge q . Donner l'ordre de grandeur des courants utilisés en travaux pratiques et pour un appareil domestique (machine à laver par exemple). Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence.

Énoncer la loi d'Ohm. Citer les ordres de grandeurs des composants R , L , C utilisés en travaux pratiques. Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance. Exprimer l'énergie stockée dans un condensateur ou une bobine. Modéliser une source non idéale en utilisant la représentation de Thévenin.

Démontrer l'expression de la résistance équivalente à deux résistances en parallèle. Établir la relation d'un diviseur de tension.

Donner l'ordre de grandeur de la résistance de sortie d'un GBF, et de la résistance d'entrée d'un multimètre et d'un oscilloscope. Expliquer brièvement pourquoi ces ordres de grandeurs ont été choisis, et quelles auraient été leurs valeurs dans un cas idéal.

3. Circuit linéaire du premier ordre :

Justifier la continuité de la tension aux bornes d'un condensateur ou de l'intensité du courant traversant une bobine.

Dans le cas d'un circuit RC alimenté par un échelon de tension E à $t = 0$, déterminer l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur. La résoudre en supposant que le condensateur est initialement déchargé, en introduisant un temps caractéristique τ dont on précisera

l'expression. Tracer $u_C(t)$ puis associer les termes de "régime transitoire" et "régime permanent" à des portions de courbe.

Capacité numérique : mettre en œuvre la méthode d'Euler avec python sur l'équation différentielle précédente de manière à retrouver numériquement la courbe $u_C(t)$.

Réaliser un bilan énergétique sur l'exemple précédent, en faisant apparaître à l'instant t l'énergie apportée par le générateur, l'énergie stockée dans le condensateur et l'énergie dissipée par effet Joule.

4. Oscillateurs libres et forcés

Donner un exemple d'oscillateur harmonique à une dimension en électronique et en mécanique. Établir l'équation différentielle dans les deux cas et les résoudre dans un cas particulier de votre choix. On précisera alors à quoi font référence : l'amplitude, la phase, la période, la fréquence et la pulsation de l'évolution. On donnera les formules permettant de relier ces grandeurs. Vérifier enfin la conservation de l'énergie électrique et mécanique à partir des solutions obtenues.

Dans le cas d'un circuit RLC série et d'un oscillateur mécanique amorti par frottement visqueux, écrire sous forme canonique l'équation différentielle afin d'identifier la pulsation propre et le facteur de qualité. Déterminer la réponse détaillée dans le cas d'un régime libre ou d'un système soumis à un échelon en recherchant les racines du polynôme caractéristique, en fonction de la valeur du facteur de qualité. Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire selon la valeur du facteur de qualité.

Réaliser un bilan énergétique dans chacun des deux exemples précédents en faisant bien apparaître le terme de dissipation et son influence.

Redémontrer l'expression de l'impédance d'un condensateur et d'une bobine à partir des relations caractéristiques courant/tension temporelles de ces deux dipôles.

Dans le cas d'un oscillateur électrique ou mécanique soumis à une excitation sinusoïdale, définir la notion de résonance. On précisera l'acuité de la résonance en fonction de la valeur du facteur de qualité. Esquisser une courbe de résonance typique sur laquelle on fera figurer la fréquence propre et la bande passante.

5. Filtrage linéaire :

Établir par le calcul la valeur efficace d'un signal sinusoïdal. Montrer que le carré de la valeur efficace d'un signal périodique est égal à la somme des carrés des valeurs efficaces de ses harmoniques.

Établir la fonction de transfert d'un filtre RC aux bornes de C et tracer son diagramme de Bode (G_{dB} et phase φ). De quel type de filtre s'agit-il ? Préciser dans quelles conditions il peut servir de moyenneur ou d'intégrateur.

Établir la fonction de transfert d'un filtre RLC aux bornes de R. Montrer qu'il s'agit d'un filtre passe-bande à l'aide d'une étude asymptotique. On précisera l'expression de la pulsation propre et de la bande passante du filtre sans démonstration.

Expliquer l'intérêt, pour garantir le fonctionnement de plusieurs filtres en cascade, de réaliser des filtres de tension de faible impédance de sortie et forte impédance d'entrée.

Capacité numérique : simuler avec Python l'action d'un filtre passe-bas RC de fréquence de coupure f_c sur un signal dont le spectre est constitué de trois sinusoïdes d'amplitude 1V et de fréquences $f_c/2$, f_c et $3f_c$. Mettre en évidence l'influence des caractéristiques du filtre sur l'opération de filtrage.

6. Propagation d'un signal :

Donner l'expression d'une onde progressive sinusoïdale se propageant à la vitesse de phase c dans le sens des x croissants dans un milieu unidimensionnel non dispersif. Donner l'expression liant sa longueur d'onde λ à sa fréquence f . Donner les limites du spectre des ondes acoustiques audibles et des ondes électromagnétiques visibles en fréquence. Relier le déphasage entre les signaux perçus en deux points

distincts au retard dû à la propagation. Donner une représentation de Fresnel dans le plan complexe de l'onde précédente par rapport à une onde de référence. On fera figurer le déphasage et l'amplitude de l'onde sur le schéma.

Décrire l'expérience des trous d'Young à l'aide d'un schéma. Relier le déphasage $\Delta\varphi$ entre les deux ondes issues des sources secondaires S_1 et S_2 interférant en un point M de l'écran à la différence de chemin optique $\delta = (S_1M) - (S_2M)$, puis établir leurs expressions en fonction de la distance a entre les trous, D la distance entre les trous et l'écran, et x la coordonnée du point M sur l'écran parallèle aux trous.

En déduire la répartition de l'intensité lumineuse sur l'écran et les zones d'interférences constructives et destructives en utilisant la formule de Fresnel : $I = 2I_0 [1 + \cos(\Delta\varphi)]$.

II Mouvements et interactions (1)

1. Description et paramétrage du mouvement d'un point

Établir les expressions des composantes du vecteur-position, du vecteur-vitesse et du vecteur accélération en coordonnées cylindriques. Les simplifier dans le cas particulier du mouvement circulaire uniforme.

Exprimer la vitesse et l'accélération dans le repère de Frenet pour une trajectoire plane.

Construire le trièdre local associé aux coordonnées cylindriques et exprimer le déplacement élémentaire. Faire de même en coordonnées sphériques.

2. Lois de Newton et quantité de mouvement

Définir la quantité de mouvement d'un point ou d'un système de points. On fera intervenir le centre de masse G du système.

Énoncer les trois de Newton. Les appliquer au cas de la chute libre d'un point matériel de masse m lâché sans vitesse initiale à une hauteur h dans le champ de pesanteur, en négligeant les frottements. En déduire la vitesse au moment où la masse touche le sol.

Comment modifier l'équation différentielle précédente de façon à modéliser les frottements fluides s'exerçant sur un solide en mouvement ? Adimensionner l'équation obtenue. Déterminer la vitesse limite. Cette expression est-elle modifiée si le solide est lâché dans l'eau et non plus dans l'air ?

Capacité numérique : montrer qu'on retrouve bien le résultat obtenu par simulation numérique à l'aide de Python par résolution de l'équation différentielle.

Établir l'équation du mouvement du pendule simple. Justifier l'analogie avec l'oscillateur harmonique dans le cadre de l'approximation linéaire.

3. Approche énergétique du mouvement d'un point matériel

Définir la puissance et le travail d'une force.

Énoncer la loi (ou le théorème) de l'énergie cinétique et la loi (ou le théorème) de la puissance cinétique dans un référentiel galiléen.

Donner l'expression permettant de relier une force conservative et son énergie potentielle. En déduire les expressions des énergies potentielles de pesanteur (champ uniforme), énergie potentielle gravitationnelle (champ créé par un astre ponctuel), énergie potentielle élastique, énergie électrostatique (champ uniforme et champ créé par une charge ponctuelle). On donne, pour un champ exprimé en coordonnées cartésiennes : $\overrightarrow{\text{grad}}f = \frac{\partial f}{\partial x}\vec{u}_x + \frac{\partial f}{\partial y}\vec{u}_y + \frac{\partial f}{\partial z}\vec{u}_z$, et pour un champ exprimé en coordonnées cylindriques

ou sphériques ne dépendant que de r : $\overrightarrow{\text{grad}}f = \frac{\partial f}{\partial r}\vec{u}_r$.

Dans quel cas l'énergie mécanique se conserve-t-elle lors d'un mouvement ? Donner un exemple et un contre-exemple.

À partir de la donnée de l'expression de l'énergie potentielle, préciser comment on peut déterminer les positions d'équilibres et leur stabilité. Quel type d'équation différentielle décrit forcément le mouvement d'un point matériel autour d'une position d'équilibre stable ?

Capacité numérique : résoudre numériquement avec Python une équation différentielle du deuxième ordre non linéaire et faire apparaître l'effet des termes non linéaires.

4. **Mouvement de particules chargées dans des champs électrique et magnétique, uniformes et stationnaires :**

Donner l'expression de la force de Lorentz s'exerçant sur une particule chargée de charge q en mouvement dans un champ électromagnétique.

Montrer que la partie magnétique de la force de Lorentz a une puissance nulle lors du mouvement. Que peut-on en déduire ?

Calculer l'expression de la vitesse finale v d'une particule de charge q et de masse m initialement au repos en présence d'un champ électrostatique uniforme \vec{E} sur une zone de largeur d . Donner une application d'un tel dispositif.

Dans le cas d'un mouvement circulaire d'une particule chargée dans un champ magnétostatique uniforme avec un vecteur-vitesse initial perpendiculaire au champ magnétique, déterminer le rayon de la trajectoire avec un minimum de calcul en admettant que celle-ci est circulaire. On précisera le sens de parcours sur un schéma. Citer une application d'une telle configuration.

III Constitution et transformations de la matière

1. **Description d'un système et de son évolution vers un état final**

Donner les expressions de l'activité d'un constituant physico-chimique selon son état (gaz, solide pur, liquide pur, espèce dissoute, etc...), en référence à l'état standard.

Définir le quotient réactionnel Q_r associé à une équation-bilan. Donner le critère d'évolution (sens $\xrightarrow{1}$ ou $\xleftarrow{2}$) en fonction de Q_r et de la constante d'équilibre K^0 . Écrire la loi d'action des masses (LAM) pour un système en équilibre chimique.

Capacité numérique : déterminer, à l'aide d'un langage de programmation, l'état final d'un système, siège d'une transformation, modélisée par une réaction à partir des conditions initiales et valeur de la constante d'équilibre.

2. **Évolution temporelle d'un système chimique**

Définir les vitesses de disparition d'un réactif et de formation d'un produit. Définir la vitesse de réaction pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique. En vous appuyant sur des exemples concrets d'équations-bilan, définir une réaction d'ordre global 0, 1 ou 2.

Définir le temps de demi-réaction. Retrouver son expression dans le cas de réactions d'ordre global 0, 1 ou 2.

Énoncer la loi empirique d'Arrhenius ; donner un ordre de grandeur de l'énergie d'activation ainsi que son unité.

3. **Structures des entités chimiques**

Établir un schéma de Lewis pour une molécule ou un ion polyatomique, par exemple pour CO_2 , HCl , Cl^- , SO_4^{2-} et PCl_5 . Expliquer l'éventuel écart à la règle de l'octet.

Expliquer la différence entre une liaison covalente et une liaison polaire. Préciser la nature des liaisons dans les exemples polyatomiques ci-dessus.

Expliquer comment déduire la géométrie d'une molécule à partir du schéma de Lewis. Appliquer ce principe aux édifices polyatomiques listés précédemment.

4. Relations structure des entités - propriétés physiques macroscopiques

Citer les ordres de grandeur énergétiques des interactions de van der Waals et de liaisons hydrogène. Interpréter l'évolution de températures de changement d'état de corps purs moléculaires à l'aide de l'existence d'interactions de van der Waals ou par pont hydrogène.

Associer une propriété d'un solvant moléculaire à une ou des grandeurs caractéristiques. Interpréter la miscibilité ou la non-miscibilité de deux solvants. Interpréter la solubilité d'une espèce chimique moléculaire ou ionique.

IV Mouvements et interactions (2)

1. Moment cinétique

Donner l'expression du moment cinétique d'un point matériel par rapport à un point O ou par rapport à un axe fixe Δ .

Donner l'expression du moment d'une force par rapport à un point O . Montrer sur un schéma comment définir un bras de levier, de manière à calculer simplement ce moment.

Donner l'expression complète de la loi (ou du théorème) du moment cinétique en un point fixe dans un référentiel galiléen. L'appliquer sur l'exemple du pendule simple de masse m et de longueur ℓ et en déduire l'équation du mouvement.

2. Mouvements dans un champ de force centrale conservatif :

Dans le cas d'un point matériel soumis à un seul champ de force centrale, déduire de la loi du moment cinétique la conservation du moment cinétique, la planéité du mouvement et la loi des aires.

Exprimer la conservation de l'énergie mécanique et construire une énergie potentielle effective. Décrire qualitativement le mouvement radial à l'aide de l'énergie potentielle effective. Relier le caractère borné à la valeur de l'énergie mécanique.

Capacité numérique : avec Python, tracer des trajectoires d'un point matériel soumis à un champ de force centrale conservatif.

Énoncer les trois lois de Kepler pour les planètes du système solaire.

Donner la définition d'un satellite géostationnaire et calculer son altitude. Justifier sa localisation dans le plan équatorial. Montrer que son mouvement est uniforme.

Calculer l'énergie mécanique pour le mouvement circulaire, puis pour le mouvement elliptique en fonction du demi-grand axe.

3. Mouvements d'un solide

Donner la définition d'un solide. Décrire la trajectoire d'un point quelconque du solide et exprimer sa vitesse en fonction de sa distance à l'axe et de la vitesse angulaire.

Énoncer le théorème scalaire du moment cinétique d'un solide en rotation autour d'un axe fixe dans un référentiel galiléen. En déduire l'équation du mouvement d'un pendule pesant.

Donner l'expression de l'énergie cinétique d'un solide en rotation autour d'un axe fixe. Appliquer le théorème de l'énergie cinétique pour retrouver l'équation du mouvement du pendule pesant.

Capacité numérique : avec Python, mettre en évidence le non isochronisme des oscillations.

V L'énergie : conversions et transferts

1. Description microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre

Définir la notion de libre parcours moyen, puis en citer quelques ordres de grandeur (dans un liquide, un gaz dans les conditions normales de températures et de pression, un gaz parfait).

Donner la définition de la température cinétique d'un gaz parfait monoatomique. En déduire la vitesse quadratique moyenne dans un gaz parfait monoatomique. On fera l'application numérique à $T = 300\text{ K}$ dans le cas de l'Helium de masse molaire $M = 4\text{ g.mol}^{-1}$.

Définir un système fermé, ouvert, isolé.

Rappeler la loi des gaz parfaits ainsi que sa limite de validité.

Savoir que l'énergie interne molaire d'un gaz parfait et d'une phase condensée idéale ne dépendent que de la température : $U_m(T)$. Définir l'enthalpie H . Expression de $H_m(T)$ pour un gaz parfait en fonction de T et de $U_m(T)$.

Définir les capacités thermiques C_V et C_p . Donner les capacités thermiques molaires pour un gaz parfait monoatomique et diatomique.

Énoncer et démontrer la relation de Mayer pour les gaz parfaits.

Définir une phase. Représenter les diagrammes (p, T) et (p, V) d'un corps pur ; identifier les différents domaines occupés par chaque phase dans ce diagramme ; placer les points caractéristiques (point critique, point triple).

2. Énergie échangée par un système au cours d'une transformation

Définir une transformation isotherme, isochore, isobare, monobare, adiabatique, monotherme et ditherme.

Donner l'expression du travail des forces de pression pour une évolution d'un volume V_1 à un volume V_2 dans le cas d'une transformation quelconque avec P_{ext} (grandeur que l'on définira) et dans le cas particulier d'une transformation réversible. Donner sa représentation dans le diagramme de Clapeyron.

3. Premier principe. Bilans d'énergie

Énoncer le premier principe de la thermodynamique pour un système fermé.

Exprimer le premier principe sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare avec équilibre mécanique dans l'état initial et dans l'état final.

Citer l'ordre de grandeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide.

Définir les enthalpies associées à une transition de phase : enthalpie de fusion, enthalpie de vaporisation et enthalpie de sublimation.

4. Deuxième principe. Bilans d'entropie

Énoncer le deuxième principe de la thermodynamique pour un système fermé.

Énoncer la loi de Laplace pour les gaz parfaits et détailler ses conditions d'utilisation.

Donner la relation entre variation d'enthalpie Δh_{12} et variation d'entropie Δs_{12} au cours d'une transition de phase isobare.

5. Machines thermiques

Appliquer le premier principe et le deuxième principe aux machines thermiques cycliques dithermes : définir le rendement, ou bien l'efficacité dans le cas de moteurs ou de pompe à chaleur et de réfrigérateurs. Énoncer et démontrer le théorème de Carnot pour un moteur, une pompe à chaleur ou un réfrigérateur ditherme. Connaître par coeur le rendement du moteur ditherme de Carnot en fonction des températures T_C et T_F de la source chaude et de la source froide.

VI Ondes et signaux (2)

1. Champ magnétique :

Dessiner l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, une spire circulaire et une bobine longue (on s'appuiera au préalable sur une étude de symétries et d'invariances). Donner les ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre.

Définir le moment magnétique associé à une boucle de courant plane. Donner un ordre de grandeur du moment magnétique associé à un aimant usuel.

2. Actions d'un champ magnétique :

Donner l'expression de la force de Laplace s'exerçant sur un conducteur métallique parcouru par un courant i et plongé dans un champ magnétique uniforme et stationnaire \vec{B} .

Donner l'expression du couple exercé par un champ magnétique extérieur uniforme sur un aimant de moment magnétique \vec{M} . Représenter le cas d'équilibre stable dans le cas d'une aiguille aimantée.

3. Lois de l'induction :

Définir le flux d'un champ magnétique à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté.

Énoncer la loi de modération de Lenz.

Énoncer la loi de Faraday, en faisant clairement apparaître la convention associée sur un schéma.

4. Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps :

Définir les notions de flux propre et d'inductance propre. Donner l'ordre de grandeur usuel en TP d'une inductance propre.

Définir l'inductance mutuelle entre deux bobines.

5. Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire :

Présenter l'expérience du rail de Laplace, écrire les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de signe. Effectuer un bilan énergétique. Mettre en évidence l'existence d'un freinage électromagnétique.

Faire de même que précédemment dans le cas d'une spire rectangulaire soumise à un champ magnétique extérieur uniforme et en rotation uniforme autour d'un axe fixe orthogonal au champ magnétique.

6. Introduction au monde quantique :

Citer une expérience nécessitant la notion de photon comme corpuscule de lumière, ainsi qu'une expérience nécessitant la notion d'onde lumineuse.

Expliquer la notion de dualité onde corpuscule en quelques phrases. Donner les relations de Planck-Einstein (énergie et impulsion d'un photon) et De Broglie.

Établir par analogie avec la diffraction des ondes lumineuses, l'inégalité d'Heisenberg spatiale, en ordre de grandeur : $\Delta x \Delta p \geq \hbar$.

Présenter le modèle de Bohr et en déduire les niveaux d'énergie électroniques de l'atome d'hydrogène. Quelles sont les limites de ce modèle ?

VII Constitution et transformations de la matière (2)

1. Structure et propriétés physiques des solides :

Déterminer la population, la coordinence et la compacité pour une structure fournie. Déterminer la valeur de la masse volumique d'un matériau cristallisé selon une structure cristalline fournie. Relier le rayon métallique, covalent, de Van Der Waals ou ionique, selon le cas, aux paramètres d'une maille donnée.

Localiser, dénombrer les sites tétraédriques et octaédriques d'une maille CFC et déterminer leur habitabilité.

Donner les caractéristiques des liaisons métallique, covalente, moléculaire et ionique, et les relier aux propriétés des solides cristallins.

2. Réactions acide-base et de précipitation

Constante d'acidité ; diagrammes de prédominance acide-base ; exemples usuels d'acides et bases : nom, formule et nature - faible ou forte - des acides sulfurique, nitrique, chlorhydrique, phosphorique, acétique, de la soude, l'ion hydrogénocarbonate, l'ammoniac.

Réactions de dissolution ou de précipitation : constante de l'équation de dissolution, produit de solubilité K_s ; définir la solubilité et donner la condition de précipitation ;

3. Réactions d'oxydoréduction

Définir et savoir calculer le nombre d'oxydation d'un élément dans une molécule ou un ion donnés.

Écrire la formule de Nernst. Décrire le fonctionnement d'une pile à partir d'une mesure de tension à vide ou à partir des potentiels d'électrodes.

Prévoir qualitativement ou quantitativement le caractère thermodynamiquement favorisé ou défavorisé d'une réaction d'oxydo-réduction.

4. Diagrammes potentiel-pH

Attribuer les différents domaines de prédominance ou d'existence d'un diagramme fourni à des espèces données. Retrouver la valeur de la pente d'une frontière dans un diagramme potentiel-pH. Justifier la position d'une frontière verticale. Prévoir le caractère thermodynamiquement favorisé ou non d'une transformation par superposition de diagrammes. Discuter de la stabilité des espèces dans l'eau.