

CAHIER 4

Ondes, optique et physique moderne

Propagation, interférences, quanta et noyaux



Image decorative en lien avec le theme general du cahier (mathematiques, etude), sans rapport avec un exercice precis

VERSION D'ENTRAÎNEMENT — sans correction

Sciences physiques — passage en L1

Niveau très exigeant, esprit prépa et ancienne série C

Objectif : calculer, modéliser, démontrer et interpréter sans raccourci

Présentation du cahier

Ce cahier traite les ondes mécaniques et sonores, l'optique géométrique et ondulatoire, puis les premiers concepts de physique quantique et nucléaire. La progression insiste sur les ordres de grandeur, la dualité onde-particule et l'interprétation expérimentale.

Objectifs

- Caractériser ondes progressives, stationnaires et effet Doppler.
- Résoudre des problèmes d'interférences, diffraction et lentilles.
- Utiliser les relations de Planck, de Broglie et le modèle de Bohr.
- Maîtriser décroissance radioactive, énergie nucléaire et interférométrie.

Méthode de travail

- 1) Faire un schéma, choisir le système étudié et préciser le référentiel.
- 2) Écrire les lois littéralement avant toute application numérique.
- 3) Contrôler les unités, les ordres de grandeur et le nombre de chiffres significatifs.
- 4) Chercher au moins vingt minutes avant de consulter une aide ou une correction.
- 5) Rédiger une conclusion physique ou chimique, pas seulement un résultat numérique.

Cette version ne contient aucune correction. Utiliser ensuite le cahier jumeau corrigé pour comparer la démarche, pas seulement le résultat.

Constantes utiles

Constante	Valeur	Unité / remarque
Accélération de la pesanteur g	9,81	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
Constante gravitationnelle G	$6,67 \times 10^{-11}$	$\text{N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$
Célérité de la lumière c	$3,00 \times 10^8$	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
Charge élémentaire e	$1,602 \times 10^{-19}$	C
Constante d'Avogadro N_A	$6,022 \times 10^{23}$	mol^{-1}
Constante des gaz parfaits R	8,314	$\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Constante de Faraday F	$9,6485 \times 10^4$	$\text{C}\cdot\text{mol}^{-1}$

I. Ondes mécaniques et sonores

Exercice 1. Lecture d'une onde progressive [Consolidation]

Éléments du cours mobilisés : Ondes progressives sinusoïdales ; amplitude ; pulsation ; fréquence ; nombre d'onde ; longueur d'onde ; célérité ; phase.

Indications / méthode : Comparer l'expression donnée à la forme standard $A \cos(\omega t - kx + \phi)$. Le signe devant kx indique le sens de propagation ; la vitesse transverse d'un point s'obtient en dérivant par rapport au temps.

Formules / relations utiles : $y = A \cos(\omega t - kx + \phi)$; $f = \omega / (2\pi)$; $\lambda = 2\pi / k$; $c = \omega / k = \lambda f$; $v_y = \partial y / \partial t$.

Une onde est décrite par $y(x,t) = 0,020 \cos(8\pi t - 5\pi x)$, en unités SI.

- 1) Donner amplitude, pulsation, fréquence, nombre d'onde et longueur d'onde.
- 2) Déterminer la célérité et le sens de propagation.
- 3) Calculer le déphasage entre deux points distants de 0,100 m.
- 4) Calculer la vitesse transversale maximale d'un point du milieu.

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

Exercice 2. Corde vibrante et modes propres [Approfondissement]

Éléments du cours mobilisés : Ondes sur une corde ; célérité ; tension et masse linéique ; ondes stationnaires ; modes propres ; harmoniques.

Indications / méthode : Calculer d'abord la célérité. Pour une corde fixée aux deux extrémités, imposer des nœuds aux extrémités ; le n-ième mode contient n demi-longueurs d'onde sur L.

Formules / relations utiles : $c = \sqrt{F/\mu}$; $\lambda_n = 2L/n$; $f_n = nc/(2L)$; $f_n \propto \sqrt{F}$.

Une corde de longueur $L = 0,750$ m, de masse linéique $\mu = 2,00 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$, est tendue par $F = 60,0$ N et fixée aux deux extrémités.

- 1) Calculer la célérité.
- 2) Calculer la fréquence fondamentale et celle du troisième harmonique.
- 3) Localiser nœuds et ventres du troisième harmonique.
- 4) Comment changent les fréquences si la tension augmente de 21 % ?

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Exercice 3. Effet Doppler acoustique [Approfondissement]

Éléments du cours mobilisés : Effet Doppler ; source mobile ; observateur mobile ; fréquence reçue ; différence entre modification de la longueur d'onde et vitesse de rencontre des fronts.

Indications / méthode : Choisir une convention de signes et raisonner sur la situation physique avant d'insérer les vitesses. Source mobile et observateur mobile n'agissent pas sur la même grandeur intermédiaire.

Formules / relations utiles : Source mobile : $f' = f \cdot c / (c \mp v_s)$; observateur mobile : $f' = f \cdot (c \pm v_o) / c$.

Une sirène émet $f = 900$ Hz. La célérité du son est $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

- 1) Une ambulance approche un observateur immobile à $25,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Calculer la fréquence reçue.
- 2) Calculer la fréquence après son passage.
- 3) Un observateur s'approche d'une source immobile à $15,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Calculer la fréquence reçue.
- 4) Expliquer pourquoi les formules source mobile et observateur mobile diffèrent.

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

.....

II. Optique géométrique et ondulatoire

Exercice 4. Interférences et diffraction [Prépa]

Éléments du cours mobilisés : Interférences de Young ; interfrange ; diffraction par une fente ; enveloppe de diffraction ; comptage de franges.

Indications / méthode : Calculer séparément l'interfrange et la largeur de l'enveloppe. Pour compter les franges visibles, comparer les positions $m\lambda D/d$ aux limites de la tache centrale.

Formules / relations utiles : $i = \lambda D/d$; $y_m = m\lambda D/d$; première extinction : $\theta \approx \lambda/a$; demi-largeur $\approx \lambda D/a$.

Une lumière de longueur d'onde $\lambda = 600 \text{ nm}$ éclaire deux fentes séparées de $d = 0,300 \text{ mm}$. L'écran est à $D = 2,00 \text{ m}$. Chaque fente a une largeur $a = 0,100 \text{ mm}$.

- 1) Calculer l'interfrange.
- 2) Donner la position de la cinquième frange brillante.
- 3) Calculer la demi-largeur de la tache centrale de diffraction.
- 4) Combien de franges brillantes sont visibles dans la tache centrale ?

Espace de travail

.....

.....

.....



.....

.....

.....

Exercice 5. Lentille mince convergente [Consolidation]

Éléments du cours mobilisés : Optique géométrique ; relation de conjugaison ; grandissement ; image réelle ou virtuelle ; vergence.

Indications / méthode : Adopter une convention de signes unique pour les distances algébriques. Vérifier la nature de l'image avec le signe de la distance image et contrôler le grandissement.

Formules / relations utiles : $1/OA' - 1/OA = 1/f'$; $\gamma = A'B'/AB = OA'/OA$; vergence $C = 1/f'$ (f' en m).

Une lentille convergente a une distance focale $f' = 20,0 \text{ cm}$.

Image decorative en lien avec le theme general du cahier (mathematiques, etude), sans rapport avec un exercice precis

- 1) Un objet réel est placé à $30,0 \text{ cm}$. Déterminer la position et le grandissement de l'image.
- 2) Refaire pour un objet à $10,0 \text{ cm}$.
- 3) Où placer l'objet pour obtenir une image réelle de même taille ?
- 4) Calculer la vergence de la lentille.

Espace de travail

.....

.....

.....

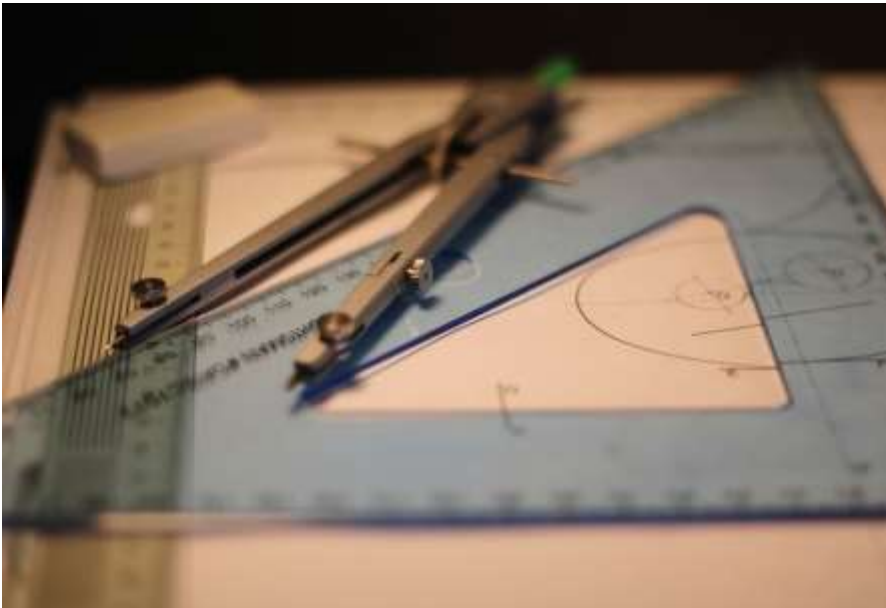


Figure geometrique pedagogique illustrant la notion

Exercice 6. Lunette astronomique et résolution [Prépa]

Éléments du cours mobilisés : Lunette afocale ; grossissement angulaire ; pupille de sortie ; diffraction d'une ouverture circulaire ; pouvoir séparateur.

Indications / méthode : Traiter d'abord l'optique géométrique de la lunette, puis la limite de diffraction de l'objectif. Pour convertir un angle en taille sur la Lune, utiliser l'approximation des petits angles.

Formules / relations utiles : $L \approx f'_{\text{obj}} + f'_{\text{oc}}$; $G = -f'_{\text{obj}}/f'_{\text{oc}}$; $d_{\text{sortie}} = D_{\text{obj}}/|G|$; $\theta_{\text{min}} \approx 1,22\lambda/D$; $\text{taille} \approx \text{distance} \cdot \theta$.

Une lunette afocale possède un objectif de focale 1,00 m et un oculaire de focale 2,50 cm. Le diamètre de l'objectif est 5,00 cm.

- 1) Calculer la longueur de la lunette et son grossissement angulaire.
- 2) Calculer le diamètre de la pupille de sortie.
- 3) À $\lambda = 550 \text{ nm}$, estimer la résolution angulaire par $1,22\lambda/D$.
- 4) Quelle taille minimale sur la Lune, distante de $3,84 \times 10^8 \text{ m}$, correspond à cette résolution ?

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

.....

III. Quanta et matière

Exercice 7. Effet photoélectrique [Prépa]

Éléments du cours mobilisés : Photon ; relation de Planck ; travail d'extraction ; équation d'Einstein du photoeffet ; tension d'arrêt ; fréquence seuil.

Indications / méthode : Comparer d'abord l'énergie du photon au travail d'extraction. L'intensité agit surtout sur le nombre de photons incidents, alors que l'énergie cinétique maximale dépend de la fréquence.

Formules / relations utiles : $E_\gamma = h\nu = hc/\lambda$; $E_{c,max} = h\nu - \Phi$; $eU_{arrêt} = E_{c,max}$; $\lambda_{seuil} = hc/\Phi$.

Un métal a un travail d'extraction $\Phi = 2,20$ eV. Il est éclairé par $\lambda = 400$ nm.

- 1) Calculer l'énergie du photon.
- 2) Déterminer l'énergie cinétique maximale et la tension d'arrêt.
- 3) Calculer la longueur d'onde seuil.
- 4) Que change un doublement de l'intensité lumineuse ?

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

Exercice 8. Longueur d'onde de de Broglie [Prépa]

Éléments du cours mobilisés : Dualité onde-particule ; accélération d'un électron par une tension ; quantité de mouvement ; de Broglie ; diffraction de Bragg ; principe d'incertitude.

Indications / méthode : Utiliser l'énergie électrique acquise pour obtenir la quantité de mouvement en régime non relativiste. Appliquer ensuite de Broglie, Bragg puis Heisenberg indépendamment.

Formules / relations utiles : $eU = p^2/(2m_e)$; $\lambda = h/p$; $2d \sin\theta = n\lambda$; $\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar/2$.

Un électron initialement au repos est accéléré sous 150 V.

- 1) Calculer sa quantité de mouvement et sa longueur d'onde de de Broglie.



- 2) Il diffracte sur des plans cristallins espacés de $d = 0,200$ nm. Calculer l'angle de Bragg du premier ordre.
- 3) Si sa position est connue à $\Delta x = 0,100$ nm, estimer la borne minimale sur Δv .
- 4) Comment varie λ si la tension est multipliée par 4 ?

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

Exercice 9. Spectre de l'hydrogène [Approfondissement]

Éléments du cours mobilisés : Spectres de raies ; formule de Rydberg ; niveaux d'énergie de l'hydrogène ; ionisation ; énergie du photon.

Indications / méthode : Identifier $n_i > n_f$ pour une émission. Pour l'ionisation depuis $n=2$, utiliser l'écart entre le niveau considéré et le continuum $E=0$, puis convertir en longueur d'onde seuil.

Formules / relations utiles : $1/\lambda = R_H(1/n_f^2 - 1/n_i^2)$; $E_n = -13,6/n^2 \text{ eV}$; $E_\gamma = hc/\lambda$.

On utilise $1/\lambda = R_H(1/n_f^2 - 1/n_i^2)$.

- 1) Calculer les longueurs d'onde des transitions $3 \rightarrow 2$ et $4 \rightarrow 2$.
- 2) À quelle transition de la série de Balmer correspond environ 434 nm ?
- 3) Calculer l'énergie d'ionisation depuis $n=2$.
- 4) Donner la longueur d'onde seuil correspondante.

Données : $R_H = 1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$; énergie fondamentale de l'hydrogène : $-13,6 \text{ eV}$.

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

.....

IV. Noyaux et interférométrie

Exercice 10. Décroissance radioactive [Défi]

Éléments du cours mobilisés : Décroissance exponentielle ; constante radioactive ; période ; activité ; nombre de noyaux ; logarithme.

Indications / méthode : Passer de la période à λ , puis utiliser $A=\lambda N$. Pour trouver un temps à partir d'un seuil d'activité, isoler l'exponentielle et prendre le logarithme.

Formules / relations utiles : $N=N_0 e^{(-\lambda t)}$; $A=A_0 e^{(-\lambda t)}=\lambda N$; $\lambda=\ln 2/T_{1/2}$.

Un échantillon d'iode 131 a une période radioactive de 8,00 jours et une activité initiale de 4,00 MBq.

- 1) Calculer la constante radioactive en s^{-1} .
- 2) Déterminer le nombre initial de noyaux.
- 3) Calculer l'activité après 24,0 jours.
- 4) Au bout de combien de temps l'activité devient-elle inférieure à 0,100 MBq ?

Espace de travail



Image decorative en lien avec le theme general du cahier (mathematiques, etude), sans rapport avec un exercice precis

Exercice 11. Énergie de fission [Défi]

Éléments du cours mobilisés : Énergie nucléaire ; conversion eV-joule ; quantité de matière ; nombre de noyaux ; énergie massique et comparaison d'ordres de grandeur.

Indications / méthode : Calculer d'abord le nombre de noyaux à partir de la masse et de la masse molaire. Convertir l'énergie d'une fission en joules avant de multiplier par le nombre de noyaux.

Formules / relations utiles : $N = (m/M)N_A$; $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$; $1 \text{ MWh} = 3,6 \times 10^9 \text{ J}$.

Chaque fission d'un noyau d'uranium 235 libère environ 200 MeV.

- 1) Calculer le nombre de noyaux dans 1,00 g d'uranium 235 pur.
- 2) Calculer l'énergie totale si tous fissionnent.
- 3) Exprimer cette énergie en MWh.
- 4) Comparer à la combustion d'un charbon libérant $30 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Exercice 12. Interféromètre de Michelson [Très exigeant]

Éléments du cours mobilisés : Interférences à deux faisceaux ; différence de marche ; déplacement d'un miroir ; variation d'indice ; comptage de franges.

Indications / méthode : Relier le nombre de franges au changement de différence de marche. Ne pas oublier le double trajet dans le bras où se trouve le miroir ou la cellule.

Formules / relations utiles : $N = \Delta\delta/\lambda$; miroir déplacé de Δx : $\Delta\delta = 2\Delta x$; cellule parcourue deux fois : $\Delta\delta = 2L(n-1)$.

Un interféromètre de Michelson utilise un laser $\lambda = 632,8 \text{ nm}$.

- 1) Combien de franges défilent lorsqu'un miroir se déplace de $0,250 \text{ mm}$?
- 2) Une cellule de longueur $L = 5,00 \text{ cm}$ est placée dans un bras et traversée deux fois. Son remplissage par un gaz fait défiler 45 franges. Déterminer l'indice du gaz.
- 3) Pourquoi le déplacement optique vaut-il $2\Delta x$ pour le miroir ?
- 4) Discuter la sensibilité de cette méthode.

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Bilan du cahier

Le cahier est maîtrisé si l'étudiant sait distinguer les modèles géométrique, ondulatoire et quantique, et choisir celui qui répond à l'échelle du phénomène étudié.

- ☐ Je sais identifier le système, les interactions et les hypothèses du modèle.
- ☐ Je maîtrise les équations littérales avant le calcul numérique.
- ☐ Je contrôle systématiquement dimensions, unités et ordre de grandeur.
- ☐ Je sais commenter les limites d'un modèle et interpréter physiquement le résultat.

Passer ensuite à la version corrigée du même cahier et comparer ligne par ligne la démarche suivie.