

SUJET de PHYSIQUE et CHIMIE

L'usage d'une calculatrice est autorisé. Les résultats numériques doivent être donnés avec le nombre de chiffres significatifs déterminé par les valeurs numériques fournies. Toute communication entre candidats, notamment tout échange de calculatrices, pour quelque raison que ce soit, est interdit. Aucun document n'est autorisé. L'usage d'un téléphone ou de tout objet communiquant est interdit.

Le sujet est constitué de 4 exercices indépendants. Chaque exercice sera noté sur 20 points. Le sujet sera donc noté sur 80 points.

EXERCICE I

Données numériques

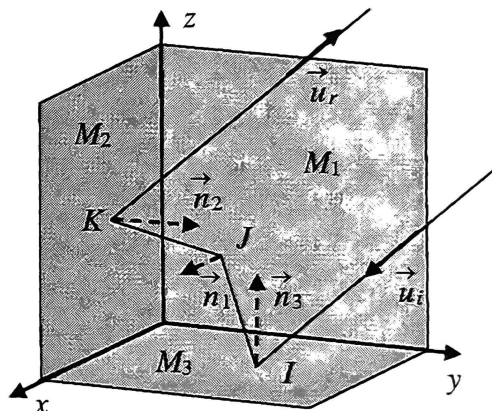
Vitesse de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$;

Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$;

Aire du réflecteur évoqué ci-dessous : $S_{\text{réf}} = 0,30 \text{ m}^2$;

Diamètre d'ouverture du télescope : $d_1 = 1,54 \text{ m}$.

Dans le but de mesurer précisément la distance Terre-Lune, des missions américaines et russes ont déposé sur la Lune des réflecteurs constitués de batteries de miroirs en « coins de cube ». Un miroir en coin de cube est formé par la surface réfléchissante séparant un bloc de verre et le vide, cette surface pouvant être décrite comme l'association de trois miroirs plans M_1 , M_2 et M_3 orthogonaux deux à deux, se coupant selon les axes Ox , Oy et Oz d'un trièdre orthonormé direct, comme illustré sur la figure ci-contre. Les miroirs M_1 , M_2 et M_3 occupent chacun, et respectivement, une partie des plans $x = 0$, $y = 0$ et $z = 0$. Le domaine vide correspond à $x > 0$, $y > 0$ et $z > 0$. Les vecteurs unitaires normaux aux miroirs M_1 , M_2 et M_3 et orientés vers le vide (qui sont aussi les vecteurs unitaires directeurs des trois axes) seront désignés respectivement par $\vec{n}_1$, $\vec{n}_2$ et $\vec{n}_3$.



Pour fixer les idées, on indique que la longueur des segments d'intersection entre deux des trois miroirs plans est égale à 3,8 cm.

I.1. Le coin de cube reçoit en un point I du miroir M_3 un rayon incident de vecteur unitaire $\vec{u}_i$, de coordonnées (u_{ix}, u_{iy}, u_{iz}) . On se place dans le seul cas où la réflexion de ce rayon en I sur M_3 est suivie d'une réflexion sur chacun des deux autres miroirs, par exemple et dans cet ordre une réflexion en J sur M_1 puis une réflexion en K sur M_2 . Le rayon émerge alors du coin de cube selon le vecteur unitaire $\vec{u}_r$, de coordonnées (u_{rx}, u_{ry}, u_{rz}) . On notera $\vec{u}_1$, de coordonnées (u_{1x}, u_{1y}, u_{1z}) , et $\vec{u}_2$, de coordonnées (u_{2x}, u_{2y}, u_{2z}) , les vecteurs unitaires respectifs des trajets $\vec{IJ}$ et $\vec{JK}$.

a. Utiliser les lois de la réflexion pour exprimer u_{1x} , u_{1y} et u_{1z} en fonction de u_{ix} , u_{iy} et u_{iz} .

b. Exprimer de même u_{2x} , u_{2y} et u_{2z} en fonction de u_{1x} , u_{1y} et u_{1z} , puis de u_{ix} , u_{iy} et u_{iz} .

c. Exprimer enfin u_{rx} , u_{ry} et u_{rz} en fonction de u_{ix} , u_{iy} et u_{iz} .

d. En déduire qu'un réflecteur renvoie la lumière qu'il reçoit vers le dispositif qui l'a émise.

I.2. La détermination expérimentale de la distance Terre-Lune repose sur la mesure de la durée τ séparant l'émission d'une impulsion lumineuse par une source terrestre de sa réception sur le site où elle a été émise après réflexion sur le réflecteur lunaire. Lors d'un essai, on a mesuré une durée $\tau = 2,4648468652614 \text{ s}$.

Quelle est la distance d_{TL} mesurée entre la source et le récepteur lors de cet essai ?

I.3.a. La source utilisée est un laser émettant un rayonnement de longueur d'onde $\lambda_0 = 1060 \text{ nm}$. Dans quel domaine se situe ce rayonnement ?

b. Avant d'être émis vers la Lune, ce rayonnement subit un doublement de fréquence. Quelles sont la longueur d'onde λ et la fréquence ν de la lumière finalement émise ?

c. Quelle est la couleur de cette lumière ?

I.4. La lumière est émise sous forme d'impulsions de durée $\tau = 400 \times 10^{-12}$ s (400 ps), d'énergie $\mathcal{E} = 300$ mJ, à une cadence de 10 impulsions par seconde.

a. Quelle est la puissance moyenne de cette source durant une impulsion lumineuse ?

b. Quelle est sa puissance moyenne sur une seconde ?

c. Quel est le nombre N de photons émis durant une impulsion ?

I.5.a. A son émission, le faisceau lumineux est cylindrique et de diamètre $d_0 = 1,2$ cm. Quel phénomène élargit ce faisceau ?

b. Évaluer son rayon angulaire θ_0 en radian et en seconde d'arc (symbole '').

c. Le passage par le télescope augmente le diamètre du faisceau, ce qui réduit son rayon angulaire, mais les turbulences atmosphériques l'augmentent. En fin de compte le rayon angulaire θ du faisceau émis vers la Lune est $\theta \approx 2''$. On suppose que le faisceau atteint la surface de la Lune quasi perpendiculairement. Déterminer l'aire s_2 du disque selon lequel la lumière atteint la Lune dans de telles conditions.

I.6. Calculer le rapport ρ_1 entre le nombre de photons reçus par le réflecteur et le nombre de photons N émis par la source (lors d'une seule impulsion).

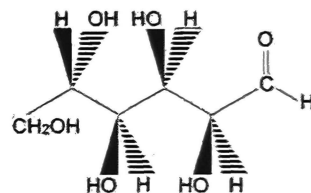
I.7. Après réflexion, le faisceau éclaire sur Terre un disque de diamètre $d_3 = 21$ km.

a. Le récepteur terrestre est le télescope. Calculer le rapport ρ_2 entre le nombre de photons reçus par le télescope et le nombre de photons réfléchis par le réflecteur lunaire (lors d'une seule impulsion).

b. Quel est le nombre de photons réfléchis observés pour une impulsion ?

EXERCICE II

Le glucose est un composé organique d'origine naturelle faisant partie de la famille des sucres, abondamment utilisé dans l'industrie alimentaire. L'une de ses formes peut être représentée par la formule développée ci-contre, dite en chaîne ouverte. En numérotant les atomes de carbone de la chaîne de 1 à 6 en partant de la gauche, nous noterons celle-ci dans la suite, par souci de simplicité, RCHO, où R désigne la partie de la chaîne correspondant aux atomes de carbone numérotés de 1 à 5.



II.1. Donner la formule brute du glucose.

II.2. On note C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C_5 et C_6 les atomes de carbone de la chaîne, numérotés dans l'ordre déjà indiqué.

a. Quels sont les atomes de carbone asymétriques, s'il y en a ? Pour chacun d'entre eux, expliquer pourquoi il est asymétrique.

b. Identifier deux types de fonctions chimiques présentes sur la molécule et les nommer, en ayant précisé quels atomes de carbone elles concernent.

c. Quels atomes de la molécule portent des doublets non liants et combien ?

II.3. On se propose de doser le glucose présent dans une solution aqueuse de ce composé. On procède dans un premier temps à l'oxydation complète du glucose d'un échantillon de la solution par un excès de diiode, selon la réaction :



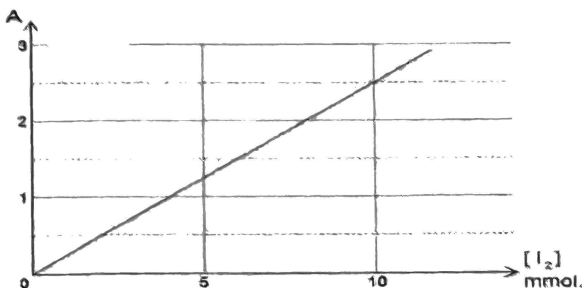
a. Indiquez les deux couples Oxydant/Réducteur mis en jeu au cours de la réaction.

b. Écrire les demi-équations redox correspondantes.

II.4. Le diiode étant très peu soluble dans l'eau, on utilise en fait, pour oxyder le glucose, de l'« eau iodée », solution de diiode dans une solution d'iodure de potassium, ce qui augmente considérablement sa solubilité. On admettra dans la suite que tout se passe comme si l'on utilisait une solution purement aqueuse de diiode.

a. On introduit dans une fiole jaugée un volume de 50,0 mL de la solution aqueuse de glucose à laquelle on ajoute 25,0 mL d'eau iodée de concentration molaire en diiode égale à 20 mmol.L⁻¹. On complète enfin avec de l'eau pure jusqu'à obtenir un volume $V = 100,0$ mL de solution. Calculer la quantité de matière de diiode mise en œuvre pour procéder au dosage.

b. Pour suivre l'évolution temporelle de la solution on en place un échantillon dans une cuve de spectrophotométrie en quartz sur une épaisseur $l = 10,0$ mm. L'absorbance du diiode de la solution est suivie au cours du temps par spectrophotométrie à la longueur d'onde $\lambda_0 = 320$ nm. Dans quel domaine de rayonnement les mesures sont-elles effectuées ?



II.5.a La courbe d'étalonnage ci-dessus, établie préalablement, représente l'absorbance A d'une solution de diiode en fonction de sa concentration molaire. L'absorbance A est une grandeur sans dimension. Rappeler la relation entre l'absorbance A d'un milieu transparent, le coefficient d'absorbance (ou coefficient d'absorption molaire) ε , l'épaisseur l du milieu absorbant traversé, sa concentration molaire c , et nommer cette relation.

b. Quelles est l'unité de ε ?

c. Utiliser la courbe d'étalonnage pour déterminer l'absorbance du diiode à l'instant $t = 0$ correspondant au début des mesures.

II.6.a. Proposer une représentation graphique sommaire de l'évolution de l'absorbance de la solution en fonction du temps.

II.7. On déduit de la représentation graphique ci-dessus la concentration finale du diiode de la solution : $[I_2]_{\text{finale}} = 0,56 \text{ mmol.L}^{-1}$.

a. Déterminer la valeur finale de l'absorbance du diiode.

b. Quelle est la quantité de matière de diiode consommé $n(I_{2\text{consommé}})$?

c. Déterminer, à partir de ces résultats expérimentaux, la quantité de matière de glucose présente initialement dans la solution.

d. En déduire la concentration massique initiale de glucose dans la solution.

On rappelle : $M(C) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$, $M(H) = 1 \text{ g.mol}^{-1}$, $M(O) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$.

EXERCICE III

Dans les domaines de la science des matériaux, on a souvent recours à un microscope haute résolution pour étudier leur microstructure. L'augmentation de la résolution passant par une diminution de la longueur d'onde, on utilise un faisceau d'électrons au lieu d'un faisceau lumineux. Dans un microscope électronique à balayage, les électrons sont accélérés grâce à un champ électrostatique produit par une différence de potentiel entre la source et une anode (canon à électrons), puis focalisés sur l'échantillon par des lentilles magnétiques ou électrostatiques. Après interaction avec l'échantillon, le faisceau d'électrons permet de former une image du cristal. On se propose d'étudier ici le canon à électrons, modélisé par deux plaques métalliques A et B parallèles, verticales, séparées d'une distance $L = 10 \text{ cm}$.

Le laboratoire dans lequel est effectuée l'expérience est fixe par rapport au référentiel galiléen terrestre.

L'espace est rapporté à un repère orthonormé direct $(O, \vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$, d'origine O située en un point de la plaque A , et tel que l'axe Ox soit perpendiculaire aux plaques et orienté de A vers B . On admet que le champ électrique $\vec{E}$ est uniforme entre les plaques, perpendiculaire à celles-ci et orienté de B vers A : $\vec{E} = -E \vec{e}_x$ avec $E > 0$.

Un électron est émis en O à l'instant $t = 0$, sans vitesse initiale. Après avoir été accéléré par le canon à électrons, il atteint la plaque B en un point M à l'instant t_M .

On n'effectuera aucune correction relativiste au cours de l'exercice.

Données numériques

Valeur du champ électrique $\vec{E}$: $E = 3,0 \times 10^5 \text{ V.m}^{-1}$;

Charge électrique élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$;

Valeur de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$;

Masse de l'électron : $m = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$;

Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$.

III.1.a Donner l'expression vectorielle de la force électrostatique subie par l'électron en fonction de E et e .

b. Exprimer la norme de cette force et en calculer la valeur numérique.

III.2.a. Donner l'expression vectorielle du poids de l'électron.

b. Exprimer la norme de cette force et en calculer la valeur numérique.

Dans la suite de l'exercice, on décide de négliger le poids de l'électron par rapport à la force électrostatique.

III.3.a Exprimer le vecteur accélération de l'électron par rapport au référentiel galiléen terrestre puis ses coordonnées sur la base $(\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$.

b. En déduire les coordonnées du vecteur vitesse de l'électron en fonction du temps.

c. En déduire les coordonnées de l'électron en fonction du temps.

III.4.a. En déduire l'expression littérale de l'instant t_M où l'électron parvient à la plaque B .

b. Effectuer l'application numérique.

- III.5.** Calculer la vitesse v_M de l'électron à son arrivée au point M .
- III.6.a.** Exprimer en fonction des paramètres pertinents le travail W de la force électrostatique lors du déplacement de l'électron de O vers un point P situé entre les plaques et de coordonnées x_P, y_P, z_P .
- b.** Pourquoi peut-on qualifier la force électrostatique de conservative ?
- III.7.a.** On peut définir une énergie potentielle $\mathcal{E}_p$ pour la force électrostatique s'il existe une fonction des coordonnées du point P dont la variation entre O et P est égale à l'opposé du travail W_{OP} de la force électrostatique lors d'un déplacement de l'électron entre ces deux points : $\Delta\mathcal{E}_p = -W_{OP}$.
Montrer qu'il existe bien une énergie potentielle $\mathcal{E}_p$ pour la force électrostatique. On l'appelle « énergie potentielle électrostatique ».
- b.** On montre que l'énergie potentielle électrostatique d'une charge électrique q dans un champ électrostatique $\vec{E}$ correspondant à un potentiel V est donnée (à une constante arbitraire additive près) par : $\mathcal{E}_p = qV$.
On rappelle que tous les points de la plaque A sont au même potentiel V_A et tous les points de la plaque B au même potentiel V_B . En déduire l'expression de la différence de potentiel $V_B - V_A$ entre les deux plaques modélisant le canon à électrons.
- c.** Effectuer l'application numérique.
- III.8.a.** On se propose de retrouver la vitesse v_M de l'électron à son arrivée en M par une méthode différente de celle déjà utilisée. On fixe le potentiel V_A de la plaque A à zéro volt : $V_A = 0$. Donner l'expression de l'énergie mécanique $\mathcal{E}_m(O)$ de l'électron en O et indiquer sa valeur.
- b.** Quelle est la valeur de l'énergie mécanique de l'électron en M , $\mathcal{E}_m(M)$? Justifier.
- c.** Exprimer l'énergie mécanique $\mathcal{E}_m(M)$ de l'électron en M en fonction de v_M , et en déduire l'expression de la vitesse v_M de l'électron en M en fonction du potentiel V_B .
- III.9.a.** Énoncer la relation de De Broglie entre la longueur d'onde λ de l'onde de matière associée à une particule, et la quantité de mouvement p de celle-ci.
- b.** Lors de leur interaction avec la matière, les électrons perdent de l'énergie. Leur vitesse devient : $v = 8,47 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$. En déduire la longueur d'onde de l'onde de matière des électrons.
- c.** Justifier alors que cette onde de matière puisse être diffractée par le cristal.

EXERCICE IV

On souhaite déterminer expérimentalement la capacité thermique et la conductivité thermique (définie plus bas) d'un métal.

Première expérience : Un récipient parfaitement calorifugé contient une masse d'eau $m_{\text{eau}} = 1,5 \text{ kg}$ à la température $\theta_1 = 17^\circ \text{C}$. À un instant donné on y plonge un bloc de métal de masse $m_{\text{métal}} = 2,0 \text{ kg}$ pris à la température $\theta_2 = 82^\circ \text{C}$. Une fois l'équilibre thermique réalisé la température du système est : $\theta_3 = 31,5^\circ \text{C}$. On considérera que les échanges énergétiques ne se font que par transferts thermiques, et que le récipient lui-même ne participe pas notablement à ces transferts. Ce qui revient à dire que le système étudié peut être considéré comme réduit au système {eau + métal}.

On rappelle la capacité thermique massique de l'eau : $c_{\text{eau}} = 4186 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

- IV.1.a** Le transfert thermique concernant l'eau est-il reçu ou cédé par elle ? Justifier.
- b.** Exprimer littéralement ce transfert Q_{eau} en ajoutant à l'indice « eau » l'indice « reçu » ou « cédé » selon le cas.
- c.** Effectuer l'application numérique.
- IV.2.a** Le transfert thermique concernant le métal est-il reçu ou cédé ? Justifier.
- b.** Exprimer littéralement ce transfert $Q_{\text{métal}}$ en ajoutant à l'indice « métal » l'indice « reçu » ou « cédé » selon le cas. On notera $c_{\text{métal}}$ la capacité thermique massique du métal.
- IV.3.a** On admet que l'énergie interne du système est égale à la somme des énergies internes de l'eau et du métal. Quelle est la relation entre les variations d'énergie interne de l'eau et du métal au cours de l'expérience. Justifier.
- b.** En déduire l'expression littérale de la capacité thermique massique du métal.
- c.** Effectuer l'application numérique.