Calculatrice autorisée

Exercice 1 : Un arbre d'argent sur un fil de cuivre

5 points

Plongé dans une solution contenant des ions argent, un fil de cuivre se couvre peu à peu de fines ramifications métalliques et brillantes. Ces dépôts en forme de fougère, que les alchimistes du Moyen Âge prenaient pour une manifestation magique, portent le nom d'« arbre de Diane » : une végétation d'argent qui pousse sur un tronc de cuivre.

Pour en faire pousser un au laboratoire, on enroule un fil de cuivre de masse $m(\mathrm{Cu}) = 4{,}0\,\mathrm{g}$ et on le suspend dans un bécher qui contient un volume $V = 160\,\mathrm{mL}$ de solution de nitrate d'argent $(\mathrm{Ag^+(aq)} + \mathrm{NO_3^-(aq)})$, de concentration en quantité de matière $C = 0{,}15\,\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$.
Au départ, la solution est incolore. Au bout de quelques heures, elle a pris une teinte bleue et le fil est hérissé d'un dépôt gris et brillant (figure 1).

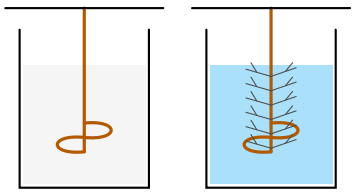


Figure 1 – Le bécher au début et à la fin

La transformation est modélisée par la réaction d'oxydoréduction d'équation

$$2\,\mathrm{Ag^+(aq)} + \mathrm{Cu\,(s)} \rightleftharpoons 2\,\mathrm{Ag\,(s)} + \mathrm{Cu^{2+}(aq)}$$

dont la constante d'équilibre vaut $K = 3{,}6 \times 10^{15}$ à la température de l'expérience.

Données

- En solution aqueuse, les ions cuivre(II) $\mathrm{Cu^{2+}(aq)}$ sont bleus ; les ions argent $\mathrm{Ag^+(aq)}$ et nitrate $\mathrm{NO_3^-(aq)}$ sont incolores.
- Masses molaires atomiques : $M(\mathrm{Cu}) = 63{,}5\,\mathrm{g{\cdot}mol^{-1}}$; $M(\mathrm{Ag}) = 107{,}9\,\mathrm{g{\cdot}mol^{-1}}$.
- Concentration standard : $c^\circ = 1\,\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$.

1) Parmi $\mathrm{Ag^+(aq)}$ et $\mathrm{Cu\,(s)}$, quelle espèce joue le rôle d'oxydant ? Justifier à l'aide d'une demi-équation électronique.

2) Calculer le quotient de réaction $Q_{r,\mathrm{i}}$ du système à l'état initial. Expliquer en quoi sa comparaison avec K rend compte des observations.

3) Établir que les ions argent sont le réactif limitant.

4) Dresser le tableau d'avancement de la transformation (lignes : état initial, état final réel d'avancement x_f, état final d'une transformation totale d'avancement x_max), les quantités étant exprimées à l'aide de C, V, $n_\mathrm{i}(\mathrm{Cu})$, x_f et x_max.

5) Un dosage spectrophotométrique par étalonnage donne la concentration en ions cuivre(II) à l'état final : $[\mathrm{Cu^{2+}}]_\mathrm{f} = 7{,}5 \times 10^{-2}\,\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$. Calculer le taux d'avancement final τ de la transformation et conclure.

Exercice 2 : Un canon à électrons

8 points

Les expériences de diffraction d'électrons par un cristal, menées à partir de 1927, ont montré qu'un faisceau de particules matérielles peut se comporter comme une onde. Elles demandent un faisceau d'électrons ayant tous la même vitesse. On étudie ici la façon de l'obtenir.

Des électrons quittent un filament chauffé avec une vitesse négligeable. Ils sont accélérés entre deux plaques métalliques planes et verticales A et B, parallèles et distantes de d, entre lesquelles règne un champ électrique horizontal supposé uniforme. Une tension $U = U_{\mathrm{BA}} = 120\,\mathrm{V}$ est appliquée entre les plaques : A est chargée négativement, B positivement. Les électrons entrent entre les plaques par le trou O de la plaque A et en sortent par le trou S de la plaque B (figure 2).

Données

- Masse de l'électron : $m = 9{,}11 \times 10^{-31}\,\mathrm{kg}$.
- Charge élémentaire : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$.
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81\,\mathrm{m{\cdot}s^{-2}}$.
- Distance entre les plaques : $d = 4{,}0\,\mathrm{cm}$.
- Entre deux plaques parallèles distantes de d et soumises à la tension U, le champ électrique a pour valeur $E = \dfrac{U}{d}$.

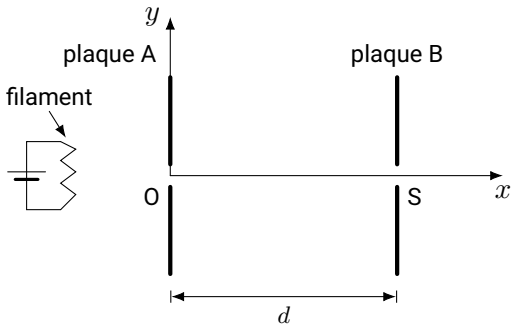


Figure 2 – Accélération des électrons (à compléter sur le sujet)

Partie A : étude par la deuxième loi de Newton

On étudie un électron entre les plaques, dans le référentiel du laboratoire supposé galiléen, avec le repère $(\mathrm{O}; x, y)$ de la figure 2. À la date $t = 0$, l'électron est en O, avec une vitesse nulle.

1) Calculer la valeur P du poids de l'électron.

2) Calculer la valeur F de la force électrique qui s'exerce sur lui entre les plaques.

3) En déduire que le poids est négligeable devant la force électrique.

4) Sur la figure 2, représenter le champ électrique $\vec{E}$ entre les plaques et la force électrique $\vec{F}$ subie par un électron situé entre elles. Justifier le sens de chacun.

5) En appliquant la deuxième loi de Newton, exprimer les coordonnées a_x et a_y du vecteur accélération de l'électron en fonction de e, E et m.

6) Établir les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement de l'électron.

7) En déduire l'expression littérale de la date t_{S} à laquelle l'électron passe par le trou S.

8) Montrer alors que la vitesse de l'électron en S a pour expression $v_{\mathrm{S}} = \sqrt{\dfrac{2\,e\,U}{m}}$.

Partie B : étude énergétique

9) À l'aide du théorème de l'énergie cinétique appliqué entre O et S, montrer que l'énergie cinétique de l'électron en S vaut $E_{\mathrm{c}}(\mathrm{S}) = e\,U$.

10) En déduire de nouveau l'expression de v_{S} obtenue à la question 8.

11) Calculer la valeur de v_{S}.

Exercice 3 : Le retour d'un premier étage de fusée

7 points

Certaines fusées ont un premier étage réutilisable : une fois séparé du second étage, il redescend de plusieurs dizaines de kilomètres d'altitude en freinant avec son moteur et se pose sur une plateforme. Pour ne pas l'abîmer, il doit toucher la plateforme « en douceur », c'est-à-dire avec une composante verticale de la vitesse dont la valeur est inférieure à $6\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

On s'intéresse aux derniers instants de la descente, une fois le train d'atterrissage déployé. Pendant cette phase, la masse de l'étage est supposée constante et son mouvement est vertical. On l'étudie dans le référentiel terrestre supposé galiléen, sur un axe Oy vertical orienté vers le haut, O étant au niveau de la plateforme.

Le pointage d'une vidéo de la descente donne, pour un point M de l'étage, l'évolution de la coordonnée verticale v_y de sa vitesse (graphique 1) et celle de son altitude y (graphique 2). La figure 3 indique la position de M aux dates $t_1 = 0{,}40\,\text{s}$ et $t_2 = 2{,}00\,\text{s}$.

Donnée : intensité de la pesanteur $g = 9{,}8\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

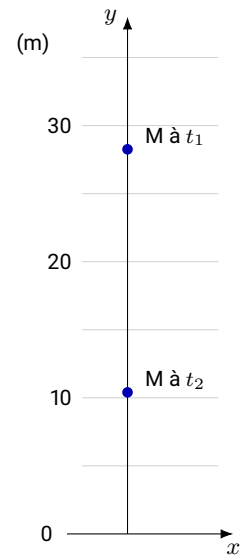
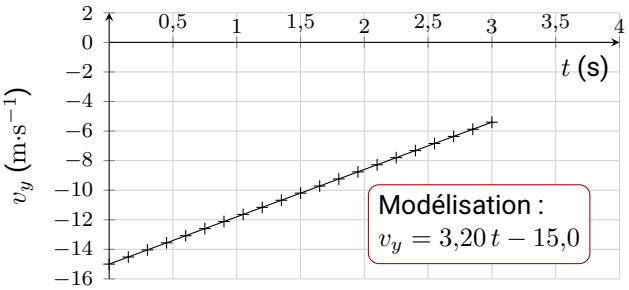
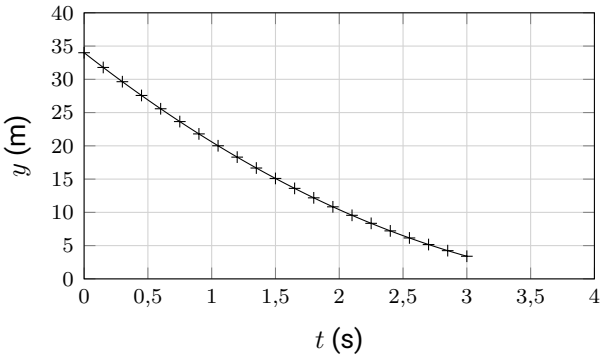


Figure 3 – Positions de M (à compléter sur le sujet)

Graphique 1 : vitesse verticale v_y



Graphique 2 : altitude de M



1) Calculer la valeur de la vitesse de M aux dates t_1 et t_2, puis représenter les deux vecteurs vitesse sur la figure 3 (à compléter sur le sujet), à l'échelle : $1\,\text{cm}$ pour $5{,}0\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.
2) Déterminer la valeur de l'accélération de M. Que traduit le signe de sa coordonnée a_y ? Qualifier le mouvement en justifiant chacun des mots employés.
3) Sur un schéma, représenter les trois forces qui modélisent les principales actions exercées sur le premier étage, avec des longueurs qui rendent compte du signe de a_y. Justifier.
4) À l'aide des graphiques 1 et 2, montrer que l'altitude de M s'écrit $y(t) = 1{,}60\,t^2 - 15{,}0\,t + 34$, avec y en mètres et t en secondes.
5) On note t_f la date à laquelle M atteint la plateforme ($y = 0$) et on suppose que l'accélération garde la même valeur jusqu'au contact. Écrire l'équation du second degré dont t_f est solution.
6) Cette équation a deux solutions : $3{,}84\,\text{s}$ et $5{,}54\,\text{s}$. Montrer que l'une d'elles n'a pas de sens physique, puis calculer la valeur de la vitesse de l'étage au moment du contact.
7) L'atterrissage se fait-il « en douceur » ?