Calculatrice autorisée

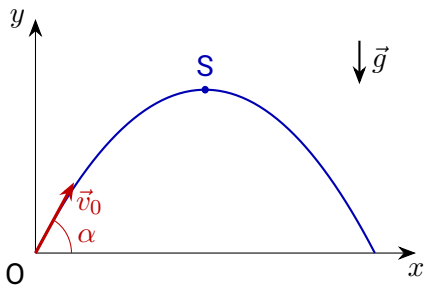
Exercice 1 : Une bombe volcanique

7,5 points

Pendant une éruption explosive, des lambeaux de lave pâteuse arrachés au cratère durcissent en vol avant de retomber : ce sont les bombes volcaniques. Sur la vidéo d'une éruption, des volcanologues ont suivi une bombe de $3{,}0\,\text{kg}$, expulsée à $150\,\text{m·s}^{-1}$ selon une direction qui monte à $60°$ au-dessus de l'horizontale. La vidéo montre qu'elle culmine à environ $5{,}5\times10^{2}\,\text{m}$ au-dessus de son point d'expulsion et qu'elle touche le sol $21\,\text{s}$ plus tard, à $1{,}3\,\text{km}$ de ce point (écart mesuré horizontalement). Un modèle très simple permet-il de rendre compte de ces mesures ?

Le modèle et ses données

- Pesanteur uniforme, d'intensité $g = 9{,}8\,\text{m·s}^{-2}$.
- La bombe est réduite à un point ; l'air n'a aucun effet sur elle.
- Elle retombe au niveau d'où elle est partie.
- Repère (O ; x, y) ci-contre : O est le point d'expulsion, Ox est horizontal, Oy vertical ascendant. À $t = 0$, la bombe part de O avec la vitesse $\vec{v}_0$, de valeur $v_0 = 150\,\text{m·s}^{-1}$, qui monte de $\alpha = 60°$ au-dessus de Ox.



1) Faire l'inventaire des forces que subit la bombe dans ce modèle. Après avoir choisi le système et le référentiel, montrer grâce à la deuxième loi de Newton que l'accélération de la bombe est égale à $\vec{g}$, puis donner les composantes a_x et a_y de ce vecteur.

2) **a.** Justifier que la vitesse verticale de la bombe s'écrit $v_y(t) = v_0 \sin\alpha - g\,t$. Quelle est l'expression de sa vitesse horizontale $v_x(t)$?

b. Établir les expressions de $x(t)$ et de $y(t)$.

3) Au sommet S de son vol, la vitesse de la bombe est horizontale.

a. Exprimer, puis calculer, la date t_S à laquelle la bombe passe en S.

b. En déduire la hauteur h à laquelle la bombe culmine au-dessus de O.

4) Montrer que le modèle prévoit une durée de vol $t_\text{vol} = \dfrac{2\,v_0 \sin\alpha}{g}$, puis calculer cette durée.

5) Calculer la distance horizontale d qui sépare, d'après le modèle, le point d'expulsion du point de chute.

6) Sachant qu'en S la vitesse se réduit à sa composante $v_0 \cos\alpha$, retrouver la valeur de h par la conservation de l'énergie mécanique.

7) Les prévisions des questions 3) à 5) concordent-elles avec la vidéo ? Quelle hypothèse du modèle faut-il remettre en cause ?

Exercice 2 : De la pile de laboratoire à la batterie de voiture

12,5 points

Partie A : une pile aluminium-cuivre (7,5 points)

On réalise une pile en associant deux demi-piles reliées par un pont salin, une bande de papier filtre imbibée d'une solution de nitrate de potassium $\left(\text{K}^+(\text{aq}) + \text{NO}_3{}^-(\text{aq})\right)$.

- Première demi-pile : une lame d'aluminium plonge dans $100\,\text{mL}$ d'une solution de sulfate d'aluminium $\left(2\,Al^{3+}(aq) + 3\,{SO_4}^{2-}(aq)\right)$, de concentration en ions aluminium $[Al^{3+}] = 0{,}40\,\text{mol·L}^{-1}$.
- Seconde demi-pile : une lame de cuivre plonge dans $100\,\text{mL}$ d'une solution de sulfate de cuivre(II) $\left(Cu^{2+}(aq) + {SO_4}^{2-}(aq)\right)$, de concentration en ions cuivre(II) $[Cu^{2+}] = 0{,}20\,\text{mol·L}^{-1}$.

Une mesure a montré que le cuivre constitue le pôle positif de la pile et l'aluminium son pôle négatif.

1) Décrire une expérience simple qui a pu conduire à cette conclusion, en expliquant comment on interprète la mesure (aucun schéma n'est demandé).

2) **a.** Quand la pile débite, écrire en justifiant la demi-équation de la transformation qui a lieu sur chaque lame, et préciser s'il s'agit d'une oxydation ou d'une réduction.

b. En déduire l'équation de la réaction qui a lieu quand la pile fonctionne.

3) Expliquer à quoi sert le pont salin.

4) Pourquoi les deux réactifs sont-ils placés dans deux compartiments séparés ?

5) À $25\,°\text{C}$, la réaction d'équation $3\,Cu\,(s) + 2\,Al^{3+}(aq) \rightleftharpoons 3\,Cu^{2+}(aq) + 2\,Al\,(s)$ a pour constante d'équilibre $K = 2 \times 10^{-203}$.

a. Calculer la valeur $Q_{r,i}$ que prend, dans l'état initial de la pile, le quotient de cette réaction.

b. En déduire le sens d'évolution spontanée du système : est-il cohérent avec la polarité ?

Partie B : la batterie lithium métal polymère (5 points)

Certaines petites voitures électriques de ville proposées en autopartage utilisent une batterie « lithium métal polymère ». Elle est complétée par des supercondensateurs, qui récupèrent l'énergie du freinage et la restituent lors des accélérations, et par un panneau solaire sur le toit. Le constructeur annonce une autonomie d'environ $200\,\text{km}$ en ville et une vitesse maximale de $120\,\text{km·h}^{-1}$.

La batterie est formée d'éléments identiques associés en série : tous sont traversés par le même courant. Dans chaque élément, l'électrode négative est en lithium métallique et le fonctionnement s'arrête quand ce lithium est épuisé ; la réaction qui s'y produit a pour équation $Li\,(s) \longrightarrow Li^+ + e^-$.

Données

- Capacité électrique d'un élément de la batterie : $80\,\text{A·h}$, avec $1\,\text{A·h} = 3\,600\,\text{C}$.
- $M(\text{Li}) = 6{,}9\,\text{g·mol}^{-1}$; $N_A = 6{,}022 \times 10^{23}\,\text{mol}^{-1}$; $e = 1{,}602 \times 10^{-19}\,\text{C}$; constante de Faraday : $F = N_A \times e$, soit $F = 9{,}65 \times 10^4\,\text{C·mol}^{-1}$.

1) L'élément lithium est situé dans la première colonne de la classification périodique. Justifier qu'il se comporte comme un réducteur.

2) **a.** Définir la capacité électrique d'une pile ou d'un élément de batterie.

b. Calculer la quantité de matière maximale d'électrons $n(e^-)_{max}$ qu'un élément peut faire circuler au cours d'une décharge complète.

c. En déduire la masse de lithium consommée dans un élément au cours de cette décharge.

3) **a.** À vive allure, la batterie fournit un courant dont l'intensité I, supposée constante, vaut $200\,\text{A}$. Combien de temps, au plus, la batterie peut-elle alors fonctionner ? On notera cette durée Δt_{max}.

b. Commenter ce résultat au regard des performances annoncées par le constructeur.