Corrigé

Épreuve d'enseignement de spécialité — Physique-Chimie

Baccalauréat Général — Session 2026 — Jour 2 — Sujet 26-PYCJ2JA1

Asie

Exercice 1 — Jeu d'évasion

(11 pts)

Partie 1 — Cible à atteindre

RAPPEL DE COURS

Le projectile, une fois sorti du canon, n'est soumis qu'à son poids $\overrightarrow{P} = m\,\vec{g}$. On travaille dans le repère $(O\,;x\,;z)$ de la figure 2, avec $\vec{g}$ vertical descendant. Données : $g = 9{,}81\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$, $m = 100\mathrm{g} = 0{,}100\mathrm{kg}$, $\alpha = 43{,}0°$, $v_0 = 5{,}60\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$, $D = 3{,}00\mathrm{m}$, $H_B = 30{,}0\mathrm{cm}$, $h_C = 1{,}00\mathrm{m}$, $H = H_T + H_B$.

Q1. Vecteur accélération (2e loi de Newton)

MÉTHODE

Le système {projectile} de masse m est étudié dans le référentiel de la pièce, supposé galiléen. Bilan des forces une fois le boulet sorti du canon : uniquement le poids $\overrightarrow{P}$.

La deuxième loi de Newton s'écrit $\sum \overrightarrow{F} = m\,\vec{a}$, soit $m\,\vec{g} = m\,\vec{a}$, d'où $\vec{a} = \vec{g}$. Dans le repère $(O\,;x\,;z)$, le vecteur $\vec{g}$ est vertical, dirigé vers le bas :

RÉPONSE

$$\vec{a}\begin{pmatrix} a_x = 0 \\ a_z = -g \end{pmatrix} \qquad \text{soit } a_x = 0 \text{ et } a_z = -9{,}81\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}.$$

Q2. Équations horaires du mouvement

Le vecteur vitesse initial fait l'angle α avec l'horizontale : $\vec{v}_0\,(v_0\cos\alpha\,;\ v_0\sin\alpha)$. La position initiale est $\overrightarrow{OM_0}\,(0\,;\ H)$.

On intègre $\vec{a}$ une première fois (les constantes sont les composantes de $\vec{v}_0$) :

$$\vec{v}(t)\begin{pmatrix} v_x = v_0\cos\alpha \\ v_z = -g\,t + v_0\sin\alpha \end{pmatrix}.$$

On intègre une seconde fois (les constantes sont les coordonnées de M_0) :

RÉPONSE

$$\overrightarrow{OM}(t)\begin{pmatrix} x(t) = v_0\cos(\alpha)\,t \\ z(t) = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 + v_0\sin(\alpha)\,t + H \end{pmatrix}.$$

Q3. Équation de la trajectoire

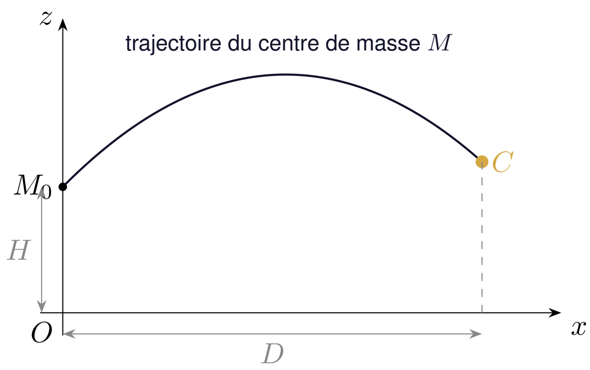
On exprime le temps à partir de l'équation horaire en x : comme $x = v_0\cos(\alpha)\,t$, on a $t = \dfrac{x}{v_0\cos\alpha}$. On reporte dans $z(t)$:

$$z = -\frac{1}{2}\,g\left(\frac{x}{v_0\cos\alpha}\right)^2 + v_0\sin\alpha\left(\frac{x}{v_0\cos\alpha}\right) + H.$$

En simplifiant ($\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \tan\alpha$) :

RÉPONSE

$$z(x) = -\frac{g}{2\,v_0^2\cos^2(\alpha)}\,x^2 + \tan(\alpha)\,x + H.$$



Q4. Hauteur H_T de la table pour débloquer la serrure

MÉTHODE

La serrure se débloque si M passe par C. Le point C est à l'abscisse $x = D$ et à l'altitude $z = h_C$. On écrit donc $z(D) = h_C$ dans l'équation de la trajectoire, on isole H, puis on en déduit $H_T = H - H_B$.

La condition $z(D) = h_C$ donne :

$$h_C = -\frac{g}{2\,v_0^2\cos^2\alpha}\,D^2 + \tan(\alpha)\,D + H,$$

d'où l'on isole H :

$$H = h_C + \frac{g\,D^2}{2\,v_0^2\cos^2\alpha} - D\tan\alpha.$$

Application numérique :

$$\frac{g\,D^2}{2\,v_0^2\cos^2\alpha} = \frac{9{,}81\times(3{,}00)^2}{2\times(5{,}60)^2\times\cos^2(43{,}0°)} = \frac{88{,}3}{33{,}5} = 2{,}63\text{m},$$

$$D\tan\alpha = 3{,}00\times\tan(43{,}0°) = 3{,}00\times 0{,}932 = 2{,}80\text{m}.$$

$$H = 1{,}00 + 2{,}63 - 2{,}80 = 0{,}83\text{m}.$$

Enfin :

$$H_T = H - H_B = 0{,}83 - 0{,}30 = 0{,}53\text{m}.$$

RÉPONSE

Il faut régler la table à $H_T \approx 0{,}53\text{m}$, soit $\approx 53\text{cm}$. Cette valeur appartient bien à l'intervalle réglable $[40\,;80]\text{cm}$: le réglage est réalisable.

Partie 2 — Résistance à régler

RAPPEL DE COURS

K en position 2 : le condensateur ($C = 47\mu\text{F}$), initialement chargé sous $U_0 = 5{,}0\text{V}$, se décharge dans le conducteur ohmique R. L'aiguille tourne tant que u_C passe de $4{,}0\text{V}$ à $1{,}0\text{V}$, et cette durée doit valoir 14s.

Q5. Équation différentielle de la décharge

Pendant la décharge, C et R sont aux mêmes bornes, donc $u_C = u_R$. Le courant dans le circuit vérifie $u_R = R\,i$, soit $i = \dfrac{u_C}{R}$. Or, pour le condensateur qui se décharge, $i = -\,C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$. En égalant les deux expressions de i :

$$\frac{u_C}{R} = -\,C\,\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} \iff \frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{R\,C}\,u_C = 0.$$

RÉPONSE

$$\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{\tau}\,u_C = 0 \qquad \text{avec} \qquad \tau = R\,C.$$

Q6. Vérification de la solution $u_C(t) = A\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$

On dérive la solution proposée : $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = -\dfrac{A}{\tau}\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$. On reporte dans l'équation différentielle :

$$-\frac{A}{\tau}\,\mathrm{e}^{-t/\tau} + \frac{1}{\tau}\,A\,\mathrm{e}^{-t/\tau} = 0.$$

L'égalité est vérifiée à chaque instant : $u_C(t) = A\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$ est bien solution. La constante A se détermine par la condition initiale : à $t = 0$, le condensateur est chargé sous U_0, donc $u_C(0) = A = U_0$.

RÉPONSE

$u_C(t) = A\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$ est solution, avec $A = U_0 = 5{,}0\mathrm{V}$.

Q7. Courbe correspondant à une rotation de $14\mathrm{s}$

MÉTHODE

La durée de rotation est l'intervalle de temps pendant lequel u_C passe de $4{,}0\mathrm{V}$ à $1{,}0\mathrm{V}$. Pour une décharge exponentielle, on relie cette durée à τ, ce qui permet de repérer la bonne courbe.

Soient t_1 et t_2 les instants où $u_C = 4{,}0\mathrm{V}$ et $u_C = 1{,}0\mathrm{V}$. Avec $u_C(t) = U_0\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$:

$$t_1 = \tau\ln\frac{U_0}{4{,}0}, \qquad t_2 = \tau\ln\frac{U_0}{1{,}0},$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \tau\ln\frac{4{,}0}{1{,}0} = \tau\ln 4.$$

La condition $\Delta t = 14\mathrm{s}$ impose :

$$\tau = \frac{14}{\ln 4} \approx 10\mathrm{s}.$$

On cherche donc, parmi les trois courbes, celle dont la constante de temps vaut environ $10\mathrm{s}$: c'est la courbe *intermédiaire* (ni la plus rapide, ni la plus lente).

RÉPONSE

La courbe correspondant à la bonne durée de commande est la courbe R_3 (constante de temps $\approx 10\mathrm{s}$).

L'identification s'appuie sur la lecture de la figure 4 : courbe la plus rapide $\to R_2$ (petite R), la plus lente $\to R_1$ (grande R), intermédiaire $\to R_3$.

Q8. Constante de temps τ lue sur la courbe choisie

MÉTHODE

Sur une décharge, τ est l'abscisse du point pour lequel $u_C = 0{,}37\,U_0$ (soit U_0/e). On peut aussi vérifier que u_C passe de $4{,}0$ à $1{,}0\mathrm{V}$ en $14\mathrm{s}$, ce qui redonne $\tau = 14/\ln 4$.

Pour la courbe choisie, $0{,}37\,U_0 = 0{,}37 \times 5{,}0 \approx 1{,}8\mathrm{V}$ est atteint pour $t \approx 10\mathrm{s}$.

RÉPONSE

$\tau \approx 10\text{s}$.

Q9. Valeur de la résistance R à choisir

De $\tau = RC$ on tire $R = \dfrac{\tau}{C}$:

$$R = \frac{\tau}{C} = \frac{10}{47 \times 10^{-6}} \approx 2{,}1 \times 10^5\Omega.$$

RÉPONSE

$R \approx 2{,}1 \times 10^5\Omega \approx 0{,}21\text{M}\Omega$.

Partie 3 — Cellules à éclairer

RAPPEL DE COURS

Données : $\lambda = 650\text{nm}$, $D = 30\text{cm} = 0{,}30\text{m}$ (distance fentes–cellules), $\ell = 2{,}0\text{cm}$ (du centre de la 1^{re} au centre de la 5^{e} cellule), interfrange $i = \dfrac{\lambda D}{b}$.

Q10. Phénomène physique responsable de l'alternance

Les deux fentes proches et éclairées par la même source laser se comportent comme deux sources synchrones : leurs ondes lumineuses se superposent et donnent, selon les points, des interférences constructives (zones lumineuses) ou destructives (zones sombres).

RÉPONSE

Il s'agit du phénomène d'**interférences lumineuses** (interférences à deux ondes, dispositif des fentes d'Young).

Q11. Définition de l'interfrange i

RÉPONSE

L'interfrange i est la distance séparant les milieux de **deux franges brillantes consécutives** (ou, de manière équivalente, de deux franges sombres consécutives).

Q12. Écartement b des fentes pour délivrer la clé

MÉTHODE

La clé est délivrée lorsque les centres des cinq cellules reçoivent de la lumière, c'est-à-dire coïncident chacun avec une frange brillante. Entre la 1^{re} et la 5^{e} cellule, on compte alors 4 interfranges, donc $\ell = 4\,i$. On en déduit i, puis $b = \dfrac{\lambda D}{i}$.

Interfrange requise :

$$i = \frac{\ell}{4} = \frac{2{,}0 \times 10^{-2}}{4} = 5{,}0 \times 10^{-3}\text{m}.$$

Écartement des fentes :

$$b = \frac{\lambda\,D}{i} = \frac{650 \times 10^{-9} \times 0{,}30}{5{,}0 \times 10^{-3}} = 3{,}9 \times 10^{-5}\text{m}.$$

RÉPONSE

Il faut régler l'écartement des fentes à $b \approx 3{,}9 \times 10^{-5}\text{m} \approx 39\mu\text{m}$.

Exercice 2 — Datation

(4 pts)

RAPPEL DE COURS

Demi-vie du rubidium 87 : $t_{1/2} = 4{,}88 \times 10^{10}\,\text{ans}$. Le rubidium 87 se désintègre spontanément en strontium 87 (stable). Loi de décroissance : $N = N_0\,\mathrm{e}^{-\lambda t}$.

Q1. Paire de noyaux isotopes

MÉTHODE

Deux noyaux sont isotopes s'ils ont le *même numéro atomique* Z (même nombre de protons) mais des nombres de masse A différents.

- $({}^{86}_{37}\mathrm{Rb}\,;\,{}^{86}_{38}\mathrm{Sr})$: $Z = 37 \neq Z = 38 \rightarrow$ ce ne sont pas des isotopes.
- $({}^{86}_{38}\mathrm{Sr}\,;\,{}^{87}_{38}\mathrm{Sr})$: $Z = 38$ pour les deux, $A = 86$ et $87 \rightarrow$ isotopes.

RÉPONSE

La paire de noyaux isotopes est $\left({}^{86}_{38}\mathrm{Sr}\,;\,{}^{87}_{38}\mathrm{Sr}\right)$.

Q2. Équation de la désintégration du rubidium 87

MÉTHODE

On respecte les lois de conservation de Soddy : conservation du nombre de masse A et du nombre de charge Z.

RÉPONSE

$$ {}^{87}_{37}\mathrm{Rb} \longrightarrow {}^{87}_{38}\mathrm{Sr} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}. $$

Q3. Particule émise et type de radioactivité

La particule émise est un électron ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$; le numéro atomique augmente d'une unité ($Z : 37 \rightarrow 38$).

RÉPONSE

La particule émise est un **électron** ; il s'agit d'une radioactivité β^-.

Q4. Définition du temps de demi-vie $t_{1/2}$

RÉPONSE

Le temps de demi-vie $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initialement présents dans l'échantillon se sont désintégrés (le nombre de noyaux passe de N_0 à $N_0/2$).

Q5. Relation $\lambda = \dfrac{\ln 2}{t_{1/2}}$

À l'instant $t = t_{1/2}$, par définition $N = \dfrac{N_0}{2}$. On reporte dans la relation 1 :

$$ \frac{N_0}{2} = N_0\,\mathrm{e}^{-\lambda t_{1/2}} \iff \frac{1}{2} = \mathrm{e}^{-\lambda t_{1/2}}. $$

On compose par $\ln$:

$$ \ln\frac{1}{2} = -\lambda\,t_{1/2} \iff -\ln 2 = -\lambda\,t_{1/2}. $$

RÉPONSE

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}.$$

Q6. Âge t_R de la roche lunaire

MÉTHODE

On identifie l'équation de la droite expérimentale ($y = 0{,}0650\,x + 0{,}6990$) à la relation théorique. La pente de la droite vaut $\left(\mathrm{e}^{\lambda t_R} - 1\right)$; on en tire t_R après avoir calculé λ avec la relation de la question 5.

Par identification de la pente :

$$\mathrm{e}^{\lambda t_R} - 1 = 0{,}0650 \iff \mathrm{e}^{\lambda t_R} = 1{,}0650 \iff \lambda\, t_R = \ln(1{,}0650).$$

Constante radioactive :

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0{,}693}{4{,}88 \times 10^{10}} = 1{,}42 \times 10^{-11}\mathrm{ans}^{-1}.$$

Âge de la roche :

$$t_R = \frac{\ln(1{,}0650)}{\lambda} = \frac{0{,}0630}{1{,}42 \times 10^{-11}} \approx 4{,}4 \times 10^{9}\mathrm{ans}.$$

RÉPONSE

$t_R \approx 4{,}4 \times 10^9\mathrm{ans}$, soit environ $4{,}4$ milliards d'années. **Commentaire** : cet âge est cohérent avec l'âge estimé de la Lune et du système solaire ($\approx 4{,}5$ milliards d'années) ; les roches lunaires comptent parmi les plus anciennes accessibles.

Exercice 3 — Phytoremédiation

(5 pts)

RAPPEL DE COURS

$M(\mathrm{Cu}) = 63{,}5\mathrm{g}\cdot\mathrm{mol}^{-1}$; teneur limite $m_t = 150\mathrm{mg}$ par kg de terre ; masse extraite par cycle $m_e = 90\mathrm{mg}$ par kg de terre. Titrage du diiode par le thiosulfate : $c_2 = 2{,}0\times10^{-2}\mathrm{mol}\cdot\mathrm{L}^{-1}$, $V_E = 15{,}0\mathrm{mL}$, $V_1 = 50{,}0\mathrm{mL}$.

Q1. Définition de l'équivalence d'un titrage

RÉPONSE

L'équivalence est l'état du système pour lequel les réactifs (espèce titrée et espèce titrante) ont été introduits dans les **proportions stœchiométriques** de la réaction support du titrage ; ils sont alors tous deux entièrement consommés (changement de réactif limitant).

Q2. Oxydant et réducteur du titrage

MÉTHODE

L'oxydant capte des électrons (il est réduit) ; le réducteur cède des électrons (il est oxydé). On suit l'évolution des nombres d'oxydation.

Dans la réaction $\mathrm{I_2(aq)} + 2\,\mathrm{S_2O_3}^{2-}\mathrm{(aq)} \longrightarrow 2\,\mathrm{I^-(aq)} + \mathrm{S_4O_6}^{2-}\mathrm{(aq)}$:

- le diiode est réduit : $\mathrm{I_2} + 2\,\mathrm{e^-} \longrightarrow 2\,\mathrm{I^-}$ (l'iode passe du n.o. 0 au n.o. $-\mathrm{I}$) ;
- l'ion thiosulfate est oxydé : $2\,\mathrm{S_2O_3}^{2-} \longrightarrow \mathrm{S_4O_6}^{2-} + 2\,\mathrm{e^-}$ (le soufre voit son n.o. augmenter).

RÉPONSE

$\mathrm{I_2}$ est l'**oxydant** (il est réduit en $\mathrm{I^-}$) ; $\mathrm{S_2O_3}^{2-}$ est le **réducteur** (il est oxydé en $\mathrm{S_4O_6}^{2-}$).

Q3. Relation à l'équivalence

D'après la stœchiométrie (1 diiode pour 2 ions thiosulfate), à l'équivalence les réactifs sont introduits en proportions stœchiométriques :

$$\frac{n_1(\mathrm{I_2})}{1} = \frac{n_E(\mathrm{S_2O_3}^{2-})}{2}.$$

RÉPONSE

$$n_1(\mathrm{I_2}) = \frac{n_E(\mathrm{S_2O_3}^{2-})}{2} \qquad \text{avec} \qquad n_E(\mathrm{S_2O_3}^{2-}) = c_2\,V_E.$$

Q4. Relation entre $n_1(\mathrm{I_2})$ et $n_0(\mathrm{Cu}^{2+})$

MÉTHODE

On dresse le tableau d'avancement de la réaction $2\,\mathrm{Cu}^{2+} + 4\,\mathrm{I^-} \longrightarrow 2\,\mathrm{CuI} + \mathrm{I_2}$. Les ions iodure étant en excès, Cu^{2+} est le réactif limitant.

	$2\,\mathrm{Cu}^{2+}$	$4\,\mathrm{I^-}$	$2\,\mathrm{CuI}$	$\mathrm{I_2}$
État initial ($x=0$)	n_0	excès	0	0
En cours (x)	$n_0 - 2x$	excès	$2x$	x
État final ($x_{\max}$)	$n_0 - 2x_{\max} = 0$	excès	$2x_{\max}$	$x_{\max}$

L'ion Cu^{2+} étant limitant, $n_0 - 2x_{\max} = 0$, soit $x_{\max} = \dfrac{n_0}{2}$. Or le diiode formé vaut $n_1(\mathrm{I_2}) = x_{\max}$.

RÉPONSE

$$n_1(\mathrm{I_2}) = \frac{n_0(\mathrm{Cu^{2+}})}{2} \qquad \text{soit} \qquad n_0(\mathrm{Cu^{2+}}) = 2\,n_1(\mathrm{I_2}).$$

Q5. Quantité d'ions cuivre dans le volume V_1

En combinant les relations des questions 3 et 4 :

$$n_0(\mathrm{Cu^{2+}}) = 2\,n_1(\mathrm{I_2}) = 2 \times \frac{n_E(\mathrm{S_2O_3}^{2-})}{2} = c_2\,V_E.$$

Application numérique :

$$n_0(\mathrm{Cu^{2+}}) = 2{,}0 \times 10^{-2} \times 15{,}0 \times 10^{-3} = 3{,}0 \times 10^{-4}\mathrm{mol}.$$

RÉPONSE

$n_0(\mathrm{Cu^{2+}}) = 3{,}0 \times 10^{-4}\mathrm{mol}$ dans le volume V_1.

Q6. Masse de cuivre présente dans $1\mathrm{kg}$ de terre

MÉTHODE

Le prélèvement $V_1 = 50{,}0\mathrm{mL}$ provient de la solution S_0 de volume total $1\mathrm{L}$, obtenue à partir de $1\mathrm{kg}$ de terre. On ramène donc la quantité de cuivre au litre entier, puis on convertit en masse.

Quantité d'ions cuivre dans le litre de S_0 (donc dans $1\mathrm{kg}$ de terre) :

$$n(\mathrm{Cu^{2+}}) = n_0(\mathrm{Cu^{2+}}) \times \frac{V_{\text{tot}}}{V_1} = 3{,}0 \times 10^{-4} \times \frac{1000}{50{,}0} = 6{,}0 \times 10^{-3}\mathrm{mol}.$$

Masse de cuivre correspondante :

$$m(\mathrm{Cu^{2+}}) = n(\mathrm{Cu^{2+}}) \times M(\mathrm{Cu}) = 6{,}0 \times 10^{-3} \times 63{,}5 = 0{,}381\mathrm{g}.$$

RÉPONSE

$m(\mathrm{Cu^{2+}}) \approx 0{,}38\mathrm{g} = 3{,}8 \times 10^{2}\mathrm{mg}$ pour $1\mathrm{kg}$ de terre, soit une teneur initiale d'environ $381\mathrm{mg}\cdot\mathrm{kg}^{-1}$.

Q7. Nombre minimal de cycles de culture $N_{\min}$

MÉTHODE

La teneur initiale est $\approx 381\mathrm{mg}\cdot\mathrm{kg}^{-1}$; chaque cycle en retire $m_e = 90\mathrm{mg}\cdot\mathrm{kg}^{-1}$. On cherche le plus petit entier N tel que la teneur restante soit inférieure ou égale à la teneur limite $m_t = 150\mathrm{mg}\cdot\mathrm{kg}^{-1}$.

On résout l'inéquation :

$$381 - 90\,N \leqslant 150 \iff 90\,N \geqslant 231 \iff N \geqslant 2{,}6.$$

Comme N est entier, $N \geqslant 3$. Vérification : après 2 cycles, il reste $381 - 180 = 201\mathrm{mg}\cdot\mathrm{kg}^{-1} > 150$; après 3 cycles, $381 - 270 = 111\mathrm{mg}\cdot\mathrm{kg}^{-1} \leqslant 150$.

RÉPONSE

Le viticulteur doit réaliser au minimum $N_{\min} = \mathbf{3}$ cycles de culture pour atteindre la teneur limite acceptable en cuivre.

Corrigé réalisé par Pierre Carrée – pierre-carree.fr –Document à usage pédagogique uniquement