Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + Physique, veuillez visiter :
bac-maths-physique.fr/annales-sujets-et-corriges

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL • CORRIGÉ DÉTAILLÉ

Physique-chimie

Session 2025 • Polynésie • Jour 1

Code sujet **25-PYCJ1PO1** 3 heures 30

Proposition de corrigé pédagogique • FormaV

Se repérer dans le corrigé

Exercice 1 — Autour de la glace
18 réponses • sujet p. 2–6

Exercice 2 — Le Mölkky
9 réponses • sujet p. 7–9

Exercice 3 — Performances des bolomètres de Planck
8 réponses • sujet p. 10–12

Les numéros, parties et pages renvoient au sujet original. Chaque réponse rappelle la consigne, explique la démarche et donne le résultat.

Exercice 1

9 points

Autour de la glace

1. Datation au plomb-210 d'une carotte de glace en Arctique

Question Q1.

Sujet p. 2

> À l'aide du diagramme (Z,N) de la figure 1, déterminer le type de désintégration que subit le plomb-210.

Sur le diagramme Z, N, le plomb-210 est placé dans la zone de désintégration β^-. Dans ce type de désintégration, un neutron se transforme en proton avec émission d'un électron : le nombre de masse reste inchangé et le numéro atomique augmente de 1.

RÉPONSE À RETENIR

Le plomb-210 subit une désintégration β^-.

Question Q2.

Sujet p. 2

> À l'aide de la figure 1 et des lois de conservation, établir l'équation modélisant la désintégration radioactive du plomb-210 amenant à la formation du bismuth-210.

Le plomb a pour numéro atomique $Z = 82$. Lors d'une désintégration β^-, le nombre de masse A est conservé et le numéro atomique augmente d'une unité : le noyau fils a donc $A = 210$ et $Z = 83$, ce qui correspond au bismuth. Les nombres de masse et les charges se conservent : $210 = 210 + 0$ et $82 = 83 + (-1)$.

RÉPONSE À RETENIR

$^{210}_{82}\mathrm{Pb} \longrightarrow {}^{210}_{83}\mathrm{Bi} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}.$

Question Q3.

Sujet p. 2, 3

> À l'aide du diagramme (Z,N) de la figure 1, indiquer le noyau formé à l'issue de la désintégration du polonium-210. Justifier que le polonium-210 est le « dernier noyau radioactif » de la chaîne de désintégration du plomb-210.

Le polonium-210 a $Z = 84$. Le diagramme indique une désintégration α, qui émet un noyau d'hélium ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$. Les lois de conservation donnent un noyau fils de nombre de masse $210 - 4 = 206$ et de numéro atomique $84 - 2 = 82$, soit du plomb-206. Ce noyau est représenté comme stable sur le diagramme ; la chaîne radioactive s'arrête donc après la désintégration du polonium-210.

RÉPONSE À RETENIR

Le noyau formé est le plomb-206 : $^{210}_{84}\mathrm{Po} \longrightarrow {}^{206}_{82}\mathrm{Pb} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$. Le plomb-206 étant stable sur le diagramme, le polonium-210 est bien le dernier noyau radioactif de cette chaîne.

Question Q4.

Sujet p. 3

> Donner la relation entre l'activité A(t) d'un échantillon et la dérivée temporelle du nombre de noyaux radioactifs N(t) dans l'échantillon.

L'activité est le nombre de désintégrations par unité de temps. Comme ces désintégrations font diminuer le nombre de noyaux radioactifs, l'activité est l'opposé du taux de variation de $N(t)$.

RÉPONSE À RETENIR

$A(t) = -\dfrac{\mathrm{d}N(t)}{\mathrm{d}t}$. L'activité s'exprime en s^{-1}, soit en becquerels (Bq).

Question Q5.

Sujet p. 3

> Établir l'équation différentielle régissant la population de noyaux radioactifs N(t) sous la forme dN(t)/dt + λ·N(t) = 0.

On utilise les relations de l'énoncé : $A(t) = -\dfrac{\mathrm{d}N(t)}{\mathrm{d}t}$ et $A(t) = \lambda N(t)$. En les égalant, on obtient $-\dfrac{\mathrm{d}N(t)}{\mathrm{d}t} = \lambda N(t)$, puis on regroupe les termes dans le membre de gauche.

RÉPONSE À RETENIR

$\dfrac{\mathrm{d}N(t)}{\mathrm{d}t} + \lambda N(t) = 0.$

Question Q6.

Sujet p. 3

> Vérifier que N(t) = N₀·e^(−λ·t) est solution de l'équation différentielle précédente, avec N_0 le nombre de noyaux radioactifs initialement présents dans l'échantillon.

Pour la fonction proposée, $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$, la dérivée est $\dfrac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} = -\lambda N_0 e^{-\lambda t} = -\lambda N(t)$. Par conséquent, $\dfrac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} + \lambda N(t) = 0$. De plus, $N(0) = N_0 e^{0} = N_0$, conformément à la condition initiale.

RÉPONSE À RETENIR

$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ vérifie l'équation différentielle et la condition initiale : c'est bien une solution.

Question Q7.

Sujet p. 3

> Démontrer que le temps de demi-vie $t_{1/2}$ est relié à la constante radioactive λ par $t_{1/2}$ = ln(2)/λ. Calculer la constante radioactive λPb du plomb-210.

Par définition, à la demi-vie, $N(t_{1/2}) = N_0/2$. Avec $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$, on obtient $1/2 = e^{-\lambda t_{1/2}}$, donc $\ln 2 = \lambda t_{1/2}$ et $t_{1/2} = \ln(2)/\lambda$.

Pour le plomb-210, $t_{1/2} = 22{,}2$ ans. Ainsi, $\lambda_{\mathrm{Pb}} = \ln(2)/(22{,}2\ \mathrm{ans}) = 3{,}12 \times 10^{-2}\ \mathrm{an}^{-1}$. En utilisant $1\ \mathrm{an} = 365{,}25 \times 24 \times 3600\ \mathrm{s}$, cela vaut environ $9{,}88 \times 10^{-10}\ \mathrm{s}^{-1}$.

RÉPONSE À RETENIR

$t_{1/2} = \dfrac{\ln(2)}{\lambda}$ et $\lambda_{\mathrm{Pb}} = 3{,}12 \times 10^{-2}\ \mathrm{an}^{-1}$, soit environ $9{,}88 \times 10^{-10}\ \mathrm{s}^{-1}$.

Question Q8.

Sujet p. 3

> En 1993, des chercheurs de l'université de Yamagata au Japon ont daté les différentes couches d'une carotte de glace dans l'archipel norvégien de Svalbard. À une profondeur de 30 m, une masse de 1 kg de glace avait une activité A_{30} = 4,72 mBq liée au plomb-210. On supposera que l'activité d'un kilogramme de glace liée au plomb-210 valait A_0 = 110 mBq à sa formation. Déterminer l'année à laquelle la glace présente à 30 m de profondeur s'est formée. En déduire l'épaisseur moyenne de glace accumulée chaque année sur l'archipel durant cette période.

Pour une même masse de glace, l'activité est proportionnelle au nombre de noyaux de plomb-210 et suit donc la loi de décroissance radioactive : $A_{30} = A_0 e^{-\lambda t}$. On isole l'âge :

$$t = \frac{1}{\lambda}\ln\left(\frac{A_0}{A_{30}}\right) = \frac{22{,}2}{\ln 2}\ln\left(\frac{110}{4{,}72}\right) \approx 100{,}8 \text{ ans}.$$

La formation date donc d'environ $100{,}8$ ans avant 1993. L'épaisseur moyenne accumulée par an vaut $30 \text{ m} / 100{,}8 \text{ ans} \approx 0{,}298 \text{ m an}^{-1}$.

RÉPONSE À RETENIR

La glace à 30 m s'est formée vers $1993 - 100{,}8 \approx 1892$. L'épaisseur moyenne accumulée durant cette période est d'environ $0{,}30 \text{ m an}^{-1}$, soit 30 cm par an.

2. Contrôle de la grêle par ensemencement à l'iodure d'argent

Question Q9.

Sujet p. 4

> Nommer le type de représentation utilisé pour la molécule de ligand représentée sur la figure 2.

Les liaisons sont représentées par des segments ; les atomes de carbone aux sommets et les hydrogènes qui leur sont liés ne sont pas explicitement écrits. Il s'agit de la représentation topologique.

RÉPONSE À RETENIR

La molécule est représentée en représentation topologique.

Question Q10.

Sujet p. 4

> Nommer les deux familles fonctionnelles correspondant aux groupes caractéristiques A et B entourés sur la figure 2.

Sur la figure 2, le groupe A entoure un atome de brome directement lié à un cycle aromatique : il appartient à la famille des composés halogénés, plus précisément des halogénoarènes. Le groupe B entoure un groupe $-\text{NH}_2$ lié au cycle : il appartient à la famille des amines, ici une amine primaire.

RÉPONSE À RETENIR

A : composé halogéné (halogénoarène). B : amine primaire.

Question Q11.

Sujet p. 4

> Écrire la constante d'équilibre de la réaction de formation de Ag(ligand)⁺(aq) en fonction des concentrations à l'équilibre des différentes espèces et de la concentration standard c° = 1 mol·L⁻¹.

Pour la réaction $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{ligand}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Ag(ligand)}^+(\text{aq})$, la constante d'équilibre est le quotient des activités des produits par celles des réactifs. Pour chaque espèce dissoute, l'activité s'écrit comme sa concentration divisée par c°.

RÉPONSE À RETENIR

$$K = \frac{[\mathrm{Ag(ligand)^+}]_{\text{éq}}/c^\circ}{([\mathrm{Ag^+}]_{\text{éq}}/c^\circ)([\mathrm{ligand}]_{\text{éq}}/c^\circ)} = \frac{c^\circ[\mathrm{Ag(ligand)^+}]_{\text{éq}}}{[\mathrm{Ag^+}]_{\text{éq}}[\mathrm{ligand}]_{\text{éq}}}.$$

Question Q12.

Sujet p. 4

Justifier que la réaction de formation de Ag(ligand)⁺(aq) est quasi-totale si le ligand est en très fort excès.

À l'équilibre, $\frac{[\mathrm{Ag(ligand)^+}]}{[\mathrm{Ag^+}]} = K\frac{[\mathrm{ligand}]}{c^\circ}$. Un très fort excès de ligand maintient une concentration élevée de ligand et favorise la formation du complexe. Dans les conditions de la question, la quantité d'ions $\mathrm{Ag^+}$ restant libres devient négligeable : leur réaction est alors considérée comme quasi-totale.

RÉPONSE À RETENIR

Le très fort excès de ligand favorise la formation de $\mathrm{Ag(ligand)^+}$ et permet de considérer que les ions $\mathrm{Ag^+}$ réagissent en quasi-totalité.

Question Q13.

Sujet p. 4, 5

En vous aidant de la figure 3, déterminer la couleur des solutions aqueuses contenant l'espèce chimique Ag(ligand)⁺(aq), qui possède un pic d'absorbance pour une longueur d'onde λmax = 516 nm.

La longueur d'onde $516\ \mathrm{nm}$ se situe entre les repères cyan (500 nm) et vert (530 nm) du cercle chromatique, près de la zone cyan. Une espèce colorée apparaît de la couleur complémentaire de celle qu'elle absorbe ; la couleur opposée au cyan sur la figure est le rouge.

RÉPONSE À RETENIR

Les solutions contenant $\mathrm{Ag(ligand)^+}$ sont rouges.

Question Q14.

Sujet p. 5

On mélange un volume VAg⁺ = 1,0 mL d'une solution de concentration en ions argent [Ag⁺] = 7,4 × 10⁻⁶ mol·L⁻¹ avec un volume VL de solution de ligand à la concentration cL = 1,0 × 10⁻³ mol·L⁻¹. Calculer la quantité de matière en ions argent nAg,i initialement introduite dans la solution.

On applique $n = cV$, avec le volume converti en litres : $V_{\mathrm{Ag^+}} = 1{,}0\ \mathrm{mL} = 1{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{L}$. Donc $n_{\mathrm{Ag,i}} = [\mathrm{Ag^+}]V_{\mathrm{Ag^+}}$.

$n_{\mathrm{Ag,i}} = (7{,}4 \times 10^{-6}\ \mathrm{mol\,L^{-1}})(1{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{L}) = 7{,}4 \times 10^{-9}\ \mathrm{mol}.$

RÉPONSE À RETENIR

$n_{\mathrm{Ag,i}} = 7{,}4 \times 10^{-9}\ \mathrm{mol}.$

Question Q15.

Sujet p. 5, 6

À l'aide de la figure 4, déterminer le volume Vtot,L de solution de ligand versé pour que l'ensemble des ions argent Ag⁺(aq) présents aient réagi en quasi-totalité. Calculer la quantité de matière de ligand nL à introduire.

Sur la figure 4, l'absorbance augmente jusqu'à environ $V_{\mathrm{tot,L}} = 0{,}50\ \mathrm{mL}$, puis atteint un plateau. Le volume correspondant à la quasi-totalité de la réaction est donc d'environ $0{,}50\ \mathrm{mL} = 5{,}0 \times 10^{-4}\ \mathrm{L}$. La quantité de ligand versée vaut $n_L = c_L V_{\mathrm{tot,L}}$.

$n_L = (1{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol L}^{-1})(5{,}0 \times 10^{-4}\ \text{L}) = 5{,}0 \times 10^{-7}\ \text{mol}$.

RÉPONSE À RETENIR

$V_{\text{tot,L}} \approx 0{,}50\ \text{mL}$ et $n_L \approx 5{,}0 \times 10^{-7}\ \text{mol}$.

Question Q16.

Sujet p. 6

Vérifier que le ligand est bien en large excès par rapport aux ions Ag⁺(aq) initialement introduits. Commenter ce résultat.

Les quantités introduites sont $n_L \approx 5{,}0 \times 10^{-7}\ \text{mol}$ et $n_{\text{Ag,i}} = 7{,}4 \times 10^{-9}\ \text{mol}$. Leur rapport vaut $n_L / n_{\text{Ag,i}} \approx (5{,}0 \times 10^{-7})/(7{,}4 \times 10^{-9}) \approx 68$. La réaction étant de proportion stœchiométrique 1:1, le ligand est bien en large excès.

RÉPONSE À RETENIR

Le ligand est en large excès : sa quantité est environ 68 fois celle des ions argent. Cet excès favorise leur réaction quasi-totale avec le ligand.

Question Q17.

Sujet p. 6

En supposant la réaction totale et en utilisant la loi de Beer-Lambert, montrer que l'absorbance de la solution de l'espèce chimique Ag(ligand)⁺(aq) est proportionnelle à la concentration en quantité de matière en ions argent initialement en solution cAg,i. On pourra éventuellement s'aider d'un tableau d'avancement.

La réaction est de proportion stœchiométrique 1:1. Si elle est totale, la quantité de complexe formée est égale à la quantité initiale d'ions argent : $n_{\text{Ag(ligand)}^+} = n_{\text{Ag,i}}$. Or $n_{\text{Ag,i}} = c_{\text{Ag,i}} V_{\text{Ag}^+}$. Pour un volume total de solution fixé, $[\text{Ag(ligand)}^+] = c_{\text{Ag,i}} V_{\text{Ag}^+} / V_{\text{sol}}$. La loi de Beer-Lambert donne $A = \varepsilon \ell [\text{Ag(ligand)}^+]$.

Dans le protocole considéré, les volumes sont fixés ; le rapport $V_{\text{Ag}^+}/V_{\text{sol}}$, ainsi que ε et ℓ, sont donc constants.

RÉPONSE À RETENIR

$A = \varepsilon \ell \dfrac{V_{\text{Ag}^+}}{V_{\text{sol}}} c_{\text{Ag,i}}$. Le facteur devant $c_{\text{Ag,i}}$ est constant : l'absorbance est proportionnelle à la concentration initiale en ions argent.

Question Q18.

Sujet p. 6

Les chercheurs de l'université de Al-Qadisiyah ont indiqué que, pour des concentrations en masse d'ions argent comprises entre cm,min = 9 × 10⁻³ µg·mL⁻¹ et cm,max = 1,5 µg·mL⁻¹, l'absorbance A de la solution de l'espèce chimique Ag(ligand)⁺(aq) est reliée à la concentration en quantité de matière c (en mol·L⁻¹) en ions argent par : A = 6,5 × 10⁴ × c. Avec la masse molaire atomique de l'argent M(Ag) = 108 g·mol⁻¹ et la valeur limite de mesure du spectrophotomètre à λ = 516 nm, Amax = 0,9, vérifier que la valeur maximale de la concentration en masse en ions argent cm,max indiquée par les chercheurs est cohérente avec une limite expérimentale de la loi de Beer-Lambert.

À la limite expérimentale $A_{\max} = 0{,}9$, la relation $A = 6{,}5 \times 10^4 c$ donne $c = 0{,}9/(6{,}5 \times 10^4) = 1{,}38 \times 10^{-5}\ \text{mol L}^{-1}$. La concentration massique correspondante vaut $c_m = cM(\text{Ag})$, soit $1{,}38 \times 10^{-5} \times 108 = 1{,}49 \times 10^{-3}\ \text{g L}^{-1}$. Comme $1\ \text{g L}^{-1} = 10^3\ \mu\text{g mL}^{-1}$, on obtient $c_m = 1{,}49\ \mu\text{g mL}^{-1}$.

RÉPONSE À RETENIR

La limite $A_{\max} = 0{,}9$ correspond à $c_m \approx 1{,}49\ \mu\text{g}\,\text{mL}^{-1}$, soit environ $1{,}5\ \mu\text{g}\,\text{mL}^{-1}$. La valeur maximale annoncée est cohérente avec la limite expérimentale.

Exercice 2

6 points

Le Mölkky

Question Q1.

Sujet p. 7

> Énoncer la deuxième loi de Newton et l'utiliser pour établir les expressions des coordonnées notées ax(t) et ay(t) du vecteur accélération a⃗(t) du point G selon les axes (Ox) et (Oy).

Dans le référentiel terrestre supposé galiléen, la deuxième loi de Newton s'écrit $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a}$. Après le lancer, la seule force exercée sur le bâton est son poids $\vec{P} = m\vec{g}$, vertical vers le bas. L'axe Oy étant orienté vers le haut, $\vec{g} = -g\vec{j}$, d'où $m\vec{a} = -mg\vec{j}$. La projection sur Ox donne $ma_x = 0$ et celle sur Oy donne $ma_y = -mg$.

RÉPONSE À RETENIR

$\boxed{a_x(t) = 0 \quad \text{et} \quad a_y(t) = -g}$. Avec $g = 9{,}8\ \mathrm{m\,s^{-2}}$, cela donne $a_x = 0\ \mathrm{m\,s^{-2}}$ et $a_y = -9{,}8\ \mathrm{m\,s^{-2}}$.

Question Q2.

Sujet p. 7

> Établir les expressions des coordonnées horizontale vx(t) et verticale vy(t) du vecteur vitesse v⃗(t) du point G.

Les composantes de l'accélération sont les dérivées temporelles des composantes de la vitesse : $\mathrm{d}v_x/\mathrm{d}t = 0$ et $\mathrm{d}v_y/\mathrm{d}t = -g$. À l'instant initial, la décomposition de la vitesse $\vec{v}_0$ sur les axes donne $v_x(0) = v_0\cos(\alpha)$ et $v_y(0) = v_0\sin(\alpha)$. En intégrant et en appliquant ces conditions initiales, on obtient les expressions demandées.

RÉPONSE À RETENIR

$\boxed{v_x(t) = v_0\cos(\alpha)}$ et $\boxed{v_y(t) = v_0\sin(\alpha) - gt}$.

Question Q3.

Sujet p. 7

> À partir des expressions des coordonnées de la vitesse vx(t) et vy(t), et de la figure 1, établir que les équations horaires du mouvement x(t) et y(t) du point G sont : x(t) = v₀·cos(α)·t et y(t) = −(1/2)·g·t² + v₀·sin(α)·t + h.

Les coordonnées de la vitesse vérifient $v_x = \mathrm{d}x/\mathrm{d}t$ et $v_y = \mathrm{d}y/\mathrm{d}t$. À $t = 0$, la figure 1 indique que $x(0) = 0$ et $y(0) = h$. On intègre donc les composantes de la vitesse entre 0 et t :

$x(t) = \int_0^t v_0\cos(\alpha)\,\mathrm{d}t'$ et $y(t) = h + \int_0^t \left(v_0\sin(\alpha) - gt'\right)\mathrm{d}t'$.

RÉPONSE À RETENIR

Les équations horaires sont $\boxed{x(t) = v_0\cos(\alpha)\,t}$ et $\boxed{y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0\sin(\alpha)\,t + h}$.

Question Q4.

Sujet p. 7, 8

> À l'aide des données — vitesse initiale v₀ = 4,9 m·s⁻¹, hauteur h = 0,70 m, angle α = 30° et intensité du champ de pesanteur g = 9,8 m·s⁻² — et des équations horaires du mouvement, montrer que l'expression de l'équation de la trajectoire y(x), x et y étant exprimés en mètres, s'écrit sous la forme : y(x) = −0,27 x² + 0,58 x + 0,70.

De $x(t) = v_0\cos(\alpha)t$, on déduit $t = x/(v_0\cos(\alpha))$. En remplaçant cette expression dans $y(t)$, on obtient :

$$y(x) = -\frac{g}{2v_0^2\cos^2(\alpha)}x^2 + \tan(\alpha)x + h.$$

Avec les valeurs fournies, le coefficient de x^2 vaut $-9{,}8/[2(4{,}9)^2\cos^2(30^\circ)] \simeq -0{,}272$, et celui de x vaut $\tan(30^\circ) \simeq 0{,}577$. L'arrondi à deux décimales donne les coefficients de l'équation demandée. Les coordonnées sont exprimées en mètres.

RÉPONSE À RETENIR

$\boxed{y(x) = -0{,}27x^2 + 0{,}58x + 0{,}70}$, avec x et y en mètres.

Question Q5.

Sujet p. 8

Un joueur ayant déjà marqué 41 points s'apprête à lancer le bâton de Mölkky. Pour gagner, il doit atteindre exactement le score de 50 points. La configuration est représentée sur la photographie de la figure 2 : quille 9, valant 9 points, à xq9 = 3,0 m ; quille 1, valant 1 point, à xq1 = 4,0 m ; quille 5, valant 5 points, à xq5 = 5,0 m. Dans l'étude, la taille des quilles est considérée comme négligeable au regard des distances mises en jeu et chaque quille est assimilée à un point posé au sol ; on suppose qu'il n'y a pas de rebond du bâton. Vérifier que la partie est remportée par le joueur si le lancer est réalisé dans les conditions précisées dans les données précédentes.

On compare le lieu d'impact du bâton aux positions des quilles. Avec l'équation arrondie de la question précédente, à $x = 3{,}0\ \mathrm{m}$, on obtient $y(3{,}0) = -0{,}27 \times 3{,}0^2 + 0{,}58 \times 3{,}0 + 0{,}70 = 0{,}01\ \mathrm{m}$. Cette hauteur, de l'ordre du centimètre, est négligeable à la précision des données : le lancer est donc prévu pour atteindre la position de la quille 9. Le score serait alors $41 + 9 = 50$.

Il faut toutefois tenir compte des arrondis : avec les valeurs non arrondies des données, le calcul du point d'impact donne environ $x = 2{,}98\ \mathrm{m}$, tandis que la position indiquée pour la quille est $3{,}0\ \mathrm{m}$. La conclusion de victoire est celle attendue à la précision des données du sujet ; avec des points strictement exacts et une quille de taille nulle, les valeurs arrondies ne suffisent pas à garantir une collision exacte.

RÉPONSE À RETENIR

À la précision des données, le bâton atteint la position de la quille 9 : le joueur marque 9 points et obtient $41 + 9 = 50$ points. La partie est remportée dans cette interprétation. La conclusion dépend de la précision des positions fournies : le point d'impact calculé avec les données non arrondies est à environ $2{,}98\ \mathrm{m}$, et non exactement à $3{,}0\ \mathrm{m}$.

Question Q6.

Sujet p. 9

À partir de la figure 3, déterminer la masse m du bâton de Mölkky. Justifier la réponse.

La ligne 18 du programme calcule $E_c = 0{,}5 \times 0{,}4\,(v_x^2 + v_y^2)$. Or l'expression de l'énergie cinétique est $E_c = \frac{1}{2}m(v_x^2 + v_y^2)$. L'identification des coefficients donne donc $m = 0{,}4\ \mathrm{kg}$. Les vitesses étant en $\mathrm{m\,s^{-1}}$, l'expression donne bien une énergie en joules.

RÉPONSE À RETENIR

La masse du bâton est $\boxed{m = 0{,}40\ \mathrm{kg}}$.

Question Q7.

Sujet p. 9

Écrire et compléter, sur votre copie, la ligne 22 du programme de la figure 3 qui permet de calculer l'énergie

mécanique Em du bâton de Mölkky.

L'énergie mécanique est la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle de pesanteur : $E_m = E_c + E_p$. Dans le programme, ces deux valeurs sont calculées et stockées dans les variables Ec et Ep.

RÉPONSE À RETENIR

La ligne 22 est :

```
Em = Ec + Ep
```

Question Q8.

Sujet p. 9

Attribuer chaque courbe de la figure 4 à l'énergie représentée. Justifier la réponse.

L'énergie potentielle de pesanteur vaut $E_p = mgy$. Elle augmente pendant la montée, atteint un maximum au sommet, puis diminue jusqu'à zéro lorsque le bâton atteint le sol : cela correspond à la courbe A, bleue, qui part d'environ $2{,}8\ \mathrm{J}$. L'énergie cinétique vaut $E_c = \frac{1}{2}m(v_x^2 + v_y^2)$: elle diminue jusqu'au sommet, où la vitesse verticale s'annule, puis augmente pendant la descente. Cela correspond à la courbe B, rouge. Enfin, sans frottements dans le modèle, la somme $E_c + E_p$ reste constante : la courbe C, verte, est l'énergie mécanique.

RÉPONSE À RETENIR

Courbe A : énergie potentielle de pesanteur E_p. Courbe B : énergie cinétique E_c. Courbe C : énergie mécanique E_m, constante et voisine de $7{,}5\ \mathrm{J}$.

Question Q9.

Sujet p. 7, 8, 9

Déterminer la « durée de vol » du bâton de Mölkky (durée de chute) et en déduire que la partie décrite précédemment est remportée par le joueur, en considérant les équations horaires du mouvement établies dans la question Q3.

La durée de vol est le temps positif auquel le centre de masse atteint le sol, donc la solution positive de $y(t) = 0$. Avec les données, l'équation est $-4{,}9t^2 + 2{,}45t + 0{,}70 = 0$. La racine positive vaut :

$$t = \frac{2{,}45 + \sqrt{(2{,}45)^2 + 4 \times 4{,}9 \times 0{,}70}}{9{,}8} \simeq 0{,}703\ \mathrm{s}.$$

La racine négative ne correspond pas à un instant postérieur au lancer. L'abscisse du point d'impact est alors $x = v_0 \cos(30^\circ) t \simeq 4{,}9 \cos(30^\circ) \times 0{,}703 \simeq 2{,}98\ \mathrm{m}$, soit $3{,}0\ \mathrm{m}$ à la précision de la position de la quille indiquée dans le sujet.

RÉPONSE À RETENIR

La durée de vol est $\boxed{t_{\mathrm{vol}} \simeq 0{,}70\ \mathrm{s}}$. Le point d'impact est à environ $2{,}98\ \mathrm{m}$, ce qui s'arrondit à $3{,}0\ \mathrm{m}$, position de la quille 9 à la précision fournie. Le joueur obtient donc les 9 points nécessaires pour atteindre 50 points selon cette précision. Dans le modèle strict de quilles ponctuelles et de positions exactes, l'écart entre $2{,}98\ \mathrm{m}$ et $3{,}0\ \mathrm{m}$ empêche de garantir une collision exacte à partir des seules données arrondies.

Exercice 3

5 points

Performances des bolomètres de Planck

Question Q1.

Sujet p. 10

> Calculer la longueur d'onde λ_0 correspondant à la fréquence f_0 = 217 GHz et nommer le domaine du spectre auquel appartient l'onde électromagnétique associée au CMB.

Dans le vide, la longueur d'onde et la fréquence sont liées par $\lambda_0 = \dfrac{c}{f_0}$. On convertit la fréquence en unités SI : $f_0 = 217 \times 10^9$ Hz. Ainsi, $\lambda_0 = \dfrac{3{,}00 \times 10^8}{217 \times 10^9} = 1{,}38 \times 10^{-3}\ \text{m} = 1{,}38\ \text{mm}$. D'après le tableau, une longueur d'onde comprise entre 1 et $300\ \text{mm}$ appartient au domaine des micro-ondes.

RÉPONSE À RETENIR

$\lambda_0 \simeq 1{,}38\ \text{mm}$: l'onde associée au CMB appartient au domaine des micro-ondes.

Question Q2.

Sujet p. 10

> Montrer que la puissance PCMB reçue par le bolomètre de la part du CMB au travers du filtre vaut PCMB = 7,82 × 10⁻¹⁴ W. La puissance reçue par une surface S soumise au rayonnement d'un corps à la température TCMB est donnée par PCN = σ·TCN⁴·S, avec σ = 5,67 × 10⁻⁸ W·m⁻²·K⁻⁴ ; la surface sensible vaut SCMB = 9,93 × 10⁻⁸ m² et le filtre sélectionne 25,2 % de la puissance reçue. La température caractéristique du CMB est TCMB = 2,725 K.

Sans filtre, la puissance reçue est donnée par la loi de Stefan-Boltzmann : $P_{\text{CN}} = \sigma T_{\text{CMB}}^4 S_{\text{CMB}}$. Le filtre ne transmet que $25{,}2\ \%$ de cette puissance. Donc $P_{\text{CMB}} = 0{,}252\, \sigma T_{\text{CMB}}^4 S_{\text{CMB}}$.

En remplaçant par les données en unités SI : $P_{\text{CMB}} = 0{,}252 \times 5{,}67 \times 10^{-8} \times (2{,}725)^4 \times 9{,}93 \times 10^{-8}\ \text{W} \simeq 7{,}82 \times 10^{-14}\ \text{W}$.

RÉPONSE À RETENIR

La puissance reçue au travers du filtre vaut $P_{\text{CMB}} = 7{,}82 \times 10^{-14}\ \text{W}$.

Question Q3.

Sujet p. 11

> Exprimer la puissance PT reçue par la partie sensible du bolomètre de la part du thermostat en fonction des grandeurs associées au bolomètre qui sont T, TT et Rcontact. Justifier le signe de la valeur de cette grandeur. On donne la puissance reçue par un système à la température Tsyst en contact avec un thermostat à la température T_0, par l'intermédiaire d'une résistance thermique Rth : Psyst = −(Tsyst − T_0)/Rth.

On applique la relation fournie à la partie sensible, à la température T, en contact avec le thermostat à la température T_T, par l'intermédiaire de la résistance thermique R_{contact} : $P_T = -\dfrac{T - T_T}{R_{\text{contact}}} = \dfrac{T_T - T}{R_{\text{contact}}}$.

Lorsque la partie sensible est plus chaude que le thermostat, $T > T_T$, donc $P_T < 0$. Le signe négatif indique que, selon la convention des puissances reçues par la partie sensible, l'échange avec le thermostat correspond à une perte d'énergie pour cette partie sensible.

RÉPONSE À RETENIR

$P_T = -\dfrac{T - T_T}{R_{\text{contact}}} = \dfrac{T_T - T}{R_{\text{contact}}}$. Pour $T > T_T$, cette puissance reçue est négative : la partie sensible cède de l'énergie au thermostat plus froid.

Question Q4.

Sujet p. 11

Exprimer le transfert thermique Qtot échangé par la partie sensible du bolomètre avec l'ensemble des sources extérieures pendant une durée Δt en fonction de PCMB, T, TT, Δt et Rcontact. On admettra que, pendant la durée Δt, la puissance reçue de la part du thermostat reste constante.

La puissance totale reçue par la partie sensible est la somme de la puissance du rayonnement, P_{CMB}, et de celle échangée avec le thermostat, P_T. Sur une durée Δt, si ces puissances sont constantes pendant cette durée, le transfert thermique total reçu est $Q_{\text{tot}} = (P_{\text{CMB}} + P_T)\Delta t$.

En remplaçant P_T par son expression, on obtient $Q_{\text{tot}} = \left(P_{\text{CMB}} - \dfrac{T - T_T}{R_{\text{contact}}}\right)\Delta t$. L'unité est le joule, puisque $\mathrm{W} \cdot \mathrm{s} = \mathrm{J}$.

RÉPONSE À RETENIR

$Q_{\text{tot}} = \left(P_{\text{CMB}} - \dfrac{T - T_T}{R_{\text{contact}}}\right)\Delta t$.

Question Q5.

Sujet p. 11

Énoncer le premier principe de la thermodynamique en précisant le nom de chaque grandeur ainsi que leur unité.

Pour un système fermé, avec la convention selon laquelle les transferts reçus par le système sont positifs, le premier principe de la thermodynamique s'écrit $\Delta U = Q + W$. ΔU désigne la variation de l'énergie interne du système, Q le transfert thermique reçu et W le travail reçu. Chacune de ces grandeurs s'exprime en joules (J).

RÉPONSE À RETENIR

$\Delta U = Q + W$, où ΔU est la variation d'énergie interne, Q le transfert thermique reçu et W le travail reçu ; ces grandeurs s'expriment en joules (J).

Question Q6.

Sujet p. 12

Par une analyse dimensionnelle, montrer que la quantité τ = Rcontact·Cbolo est homogène à un temps, appelé temps caractéristique. Calculer sa valeur.

La résistance thermique s'exprime en $\mathrm{K} \cdot \mathrm{W}^{-1}$ et la capacité thermique en $\mathrm{J} \cdot \mathrm{K}^{-1}$. Ainsi, $[\tau] = [R_{\text{contact}}][C_{\text{bolo}}] = \mathrm{K} \cdot \mathrm{W}^{-1} \times \mathrm{J} \cdot \mathrm{K}^{-1} = \mathrm{J} \cdot \mathrm{W}^{-1}$. Or $1\ \mathrm{W} = 1\ \mathrm{J} \cdot \mathrm{s}^{-1}$, donc $\mathrm{J} \cdot \mathrm{W}^{-1} = \mathrm{s}$: τ est homogène à un temps.

Numériquement, $\tau = (3{,}75 \times 10^{9}) \times (0{,}40 \times 10^{-12})\ \mathrm{s} = 1{,}50 \times 10^{-3}\ \mathrm{s}$.

RÉPONSE À RETENIR

$\tau = R_{\text{contact}} C_{\text{bolo}} = 1{,}50 \times 10^{-3}\ \mathrm{s} = 1{,}50\ \mathrm{ms}$, et cette grandeur est bien homogène à un temps.

Question Q7.

Sujet p. 12

> Sachant que la fonction T(t) = TT + T_1·(1 − e^(−t/τ)) est la solution de l'équation différentielle satisfaisant à la condition initiale T(0) = TT, donner l'expression de T_1 ainsi que sa valeur.

L'équation différentielle fournie est $\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}t} + \frac{T}{R_{\text{contact}}C_{\text{bolo}}} = \frac{P_{\text{CMB}}}{C_{\text{bolo}}} + \frac{T_T}{R_{\text{contact}}C_{\text{bolo}}}$. À l'état stabilisé, $\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}t} = 0$. La température finale T_{eq} vérifie alors $T_{\text{eq}} = T_T + P_{\text{CMB}}R_{\text{contact}}$.

Dans $T(t) = T_T + T_1(1 - e^{-t/\tau})$, la température tend vers $T_T + T_1$ lorsque t devient grand. On identifie donc $T_1 = P_{\text{CMB}}R_{\text{contact}}$. Numériquement, $T_1 = 7{,}82 \times 10^{-14} \times 3{,}75 \times 10^{9}\ \text{K} = 2{,}93 \times 10^{-4}\ \text{K}$.

RÉPONSE À RETENIR

$T_1 = P_{\text{CMB}}R_{\text{contact}} = 2{,}93 \times 10^{-4}\ \text{K}$.

Question Q8.

Sujet p. 12

> On admet que le bolomètre réalise une mesure de puissance fiable dès que sa température se stabilise, au bout d'une durée égale à 5τ. Afin d'étudier le CMB, le ciel est divisé en petites zones et le satellite Planck balaie chaque zone pendant une durée Δtscan = 14 ms. Montrer que le bolomètre du satellite Planck peut obtenir une mesure fiable du CMB.

La durée nécessaire à la stabilisation est 5τ. Avec $\tau = 1{,}50\ \text{ms}$, on trouve $5\tau = 7{,}50\ \text{ms}$. Le temps de balayage d'une zone vaut $\Delta t_{\text{scan}} = 14\ \text{ms}$, donc $\Delta t_{\text{scan}} > 5\tau$.

RÉPONSE À RETENIR

Oui. Le temps de stabilisation vaut $7{,}50\ \text{ms}$, inférieur aux $14\ \text{ms}$ de balayage de chaque zone. Le bolomètre peut donc obtenir une mesure fiable du CMB pendant le balayage.

Sujet : https://www.sujetdebac.fr/annales-pdf/2025/spe-physique-chimie-2025-polynesie-1-sujet-officiel.pdf
© FormaV EI • Proposition de correction, distincte d'un corrigé officiel.

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.