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 2022 • Centres étrangers • Jour 2

Code sujet **22 PYCJ2G11** 3 heures 30

Proposition de corrigé pédagogique • FormaV

Se repérer dans le corrigé

Exercice 1 — L’acide formique
21 réponses • sujet p. 2–15

Exercice A — Détermination du diamètre de Jupiter
10 réponses • sujet p. 7–15

Exercice B — Mesure de la masse de Jupiter et du Soleil
7 réponses • sujet p. 10–11

Exercice C — Capacité thermique massique du cuivre
10 réponses • sujet p. 12–14

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

Exercice 1

10 points

L'acide formique

A — Un remède contre les piqûres de fourmis

Question 1.

Sujet p. 2

> Recopier la formule semi-développée de l'acide formique et entourer le groupe caractéristique justifiant le terme « acide » dans le nom de cette espèce chimique.

La formule semi-développée de l'acide formique comporte un carbone lié à un hydrogène, à un oxygène par une double liaison et à un groupe hydroxyle.

RÉPONSE À RETENIR

Formule : **H–C(=O)–OH**. Le groupe caractéristique à entourer est le groupe carboxyle **–C(=O)–OH**, noté aussi **–COOH**.

Question 2.

Sujet p. 2

> Justifier que l'acide formique se nomme acide méthanoïque dans la nomenclature officielle.

La molécule contient un seul atome de carbone : le préfixe correspondant est « méth- ». Il s'agit d'un acide carboxylique, dont le nom officiel se termine par « -oïque ».

RÉPONSE À RETENIR

Le nom officiel de l'acide formique est **acide méthanoïque**.

Question 3.

Sujet p. 2

> Écrire l'équation de dissolution du carbonate de sodium dans l'eau.

La dissolution d'un solide ionique sépare ses ions constitutifs. Une unité de carbonate de sodium fournit deux ions sodium et un ion carbonate. L'équation conserve les atomes et les charges.

RÉPONSE À RETENIR

$$\mathrm{Na_2CO_3(s) \rightarrow 2\,Na^+(aq) + CO_3^{2-}(aq)}$$

Question 4.

Sujet p. 2

> Écrire une équation de réaction qui met en évidence le rôle de l'ion carbonate lors de l'utilisation de ce remède. Préciser ce rôle.

L'acide formique cède un proton à l'ion carbonate. L'acide formique devient l'ion formiate et l'ion carbonate devient l'ion hydrogénocarbonate. Les atomes et les charges sont équilibrés.

RÉPONSE À RETENIR

$$\mathrm{HCOOH(aq) + CO_3^{2-}(aq) \rightarrow HCOO^-(aq) + HCO_3^-(aq)}$$

L'ion carbonate joue le rôle de **base** : il capte un proton de l'acide formique et contribue ainsi à neutraliser l'acide.

B — Dosage d'un produit commercial contenant de l'acide formique

Question 5.

Sujet p. 3

Montrer que, si l'indication « 65 % » portée sur l'étiquette est exacte, la concentration en acide formique de la solution commerciale S_0 a pour valeur C_0 = 16,3 mol·L⁻¹.

Considérons $1,00\ \mathrm{L}$ de solution. Sa masse vaut $m_{\text{solution}} = \rho_{\text{solution}} V = d\rho_{\text{eau}} V$, soit $1,15 \times 1,00 \times 10^3 = 1,15 \times 10^3\ \mathrm{g}$. Si la fraction massique d'acide est de 65 %, alors $m_{\text{acide}} = 0,65 \times 1,15 \times 10^3 = 747,5\ \mathrm{g}$. La quantité de matière est $n = m/M$, puis la concentration est $C_0 = n/V$.

RÉPONSE À RETENIR

$$C_0 = \frac{747,5/46,0}{1,00} = 16,25\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$$

À trois chiffres significatifs, $\boxed{C_0 = 16,3\ \mathrm{mol\,L^{-1}}}$.

Question 6.

Sujet p. 3

Citer deux règles de sécurité à respecter lors de l'utilisation de cette solution commerciale.

Le pictogramme indique que le produit est corrosif : il faut éviter les projections et tout contact avec la peau ou les yeux.

RÉPONSE À RETENIR

- Porter des lunettes de protection.
- Porter des gants adaptés et une blouse, et manipuler avec précaution pour éviter les projections.

Question 7.

Sujet p. 3

Écrire la réaction support du dosage.

Lors du titrage, l'ion hydroxyde réagit avec l'acide formique pour former l'ion formiate et de l'eau. L'équation ionique nette conserve les atomes et les charges.

RÉPONSE À RETENIR

$$\mathrm{HCOOH(aq) + HO^-(aq) \rightarrow HCOO^-(aq) + H_2O(l)}$$

Question 8.

Sujet p. 3

Définir l'équivalence et en déduire le volume V_B_0,eq de solution d'hydroxyde de sodium qu'il faudrait verser à

> l'équivalence pour doser un volume V_A = 10 mL de solution commerciale S_0. Commenter la valeur de $V_{B_0,eq}$.

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de l'équation de dosage. Ici, une mole d'ion hydroxyde réagit avec une mole d'acide formique, donc $C_B V_{B0,\text{eq}} = C_0 V_A$.

Avec $V_A = 10\ \text{mL} = 0,010\ \text{L}$, $C_0 = 16,3\ \text{mol}\,\text{L}^{-1}$ et $C_B = 1,00 \times 10^{-1}\ \text{mol}\,\text{L}^{-1}$:

RÉPONSE À RETENIR

$$V_{B0,\text{eq}} = \frac{C_0 V_A}{C_B} = \frac{16,3 \times 0,010}{1,00 \times 10^{-1}} = 1,63\ \text{L}$$

Ce volume est beaucoup trop important pour un titrage usuel. Il faut donc diluer la solution commerciale avant de la doser.

Question 9.

Sujet p. 3

> Montrer qu'une dilution au 100e de la solution S_0 permet de réaliser le dosage de V_A = 10,0 mL de cette solution diluée, notée S_1, avec un volume à l'équivalence $V_{B_1,eq}$ compris entre 15 mL et 20 mL.

Après une dilution au centième, la concentration de la solution diluée est $C_1 = C_0/100 = 0,163\ \text{mol}\,\text{L}^{-1}$. Dans un prélèvement de $V_A = 10,0\ \text{mL} = 0,0100\ \text{L}$, la quantité d'acide vaut $n = C_1 V_A$. La réaction ayant une proportion stœchiométrique 1:1, à l'équivalence $C_B V_{B1,\text{eq}} = n$.

RÉPONSE À RETENIR

$$V_{B1,\text{eq}} = \frac{C_1 V_A}{C_B} = \frac{0,163 \times 0,0100}{0,100} = 0,0163\ \text{L} = 16,3\ \text{mL}$$

Le volume attendu est compris entre 15 mL et 20 mL : la dilution au centième convient.

Question 10.

Sujet p. 4

> Faire un schéma annoté du dispositif utilisé pour réaliser ce titrage pH-métrique.

On verse progressivement la solution titrante d'hydroxyde de sodium depuis une burette graduée dans un bécher contenant le prélèvement de solution diluée à doser. Une électrode reliée au pH-mètre mesure le pH ; une agitation homogénéise le mélange.

Montage d’un titrage pH-métrique

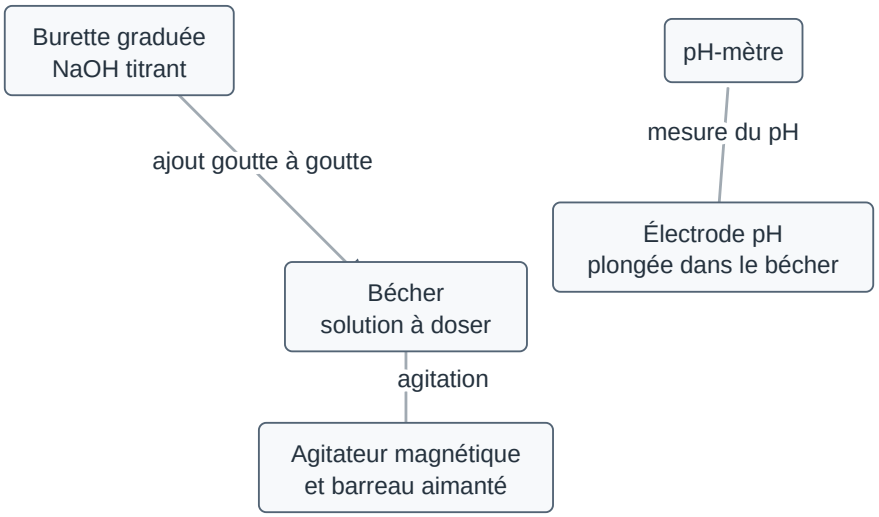


Schéma de principe, non à l’échelle.

RÉPONSE À RETENIR

Le dispositif comprend une burette graduée contenant la solution titrante de NaOH, un bécher contenant la solution acide à doser, une électrode reliée au pH-mètre et un agitateur magnétique avec barreau aimanté.

Question 11.

Sujet p. 4, 15

À l’aide de la courbe pH = f(V_B), déterminer si la solution d’acide formique S_0 est bien une solution à 65 %. Commenter l’écart éventuel avec cette valeur.

Sur la courbe de l’annexe, le volume à l’équivalence se lit au milieu du saut de pH. On relève environ $V_{B,\text{eq}} \simeq 16,0\ \text{mL}$. À l’équivalence, la réaction étant de proportion 1:1, $C_1 V_A = C_B V_{B,\text{eq}}$, puis $C_0 = 100 C_1$. On déduit le pourcentage massique en comparant la masse d’acide contenue dans un litre à la masse de ce litre de solution commerciale.

RÉPONSE À RETENIR

Avec $V_A = 10,0\ \text{mL}$ et $C_B = 0,100\ \text{mol L}^{-1}$:

$$C_1 = \frac{C_B V_{B,\text{eq}}}{V_A} \simeq \frac{0,100 \times 16,0}{10,0} = 0,160\ \text{mol L}^{-1}, \qquad C_0 \simeq 16,0\ \text{mol L}^{-1}.$$

Un litre contient donc environ $16,0 \times 46,0 = 736\ \text{g}$ d’acide, pour une masse totale de solution de $1,15 \times 10^3\ \text{g}$. La fraction massique est $736/1150 \simeq 0,640$, soit environ **64 %**. Cette valeur est proche de 65 % ; l’écart d’environ un point de pourcentage peut s’expliquer par l’incertitude de lecture du volume à l’équivalence sur le graphique. La solution est compatible avec l’indication de l’étiquette.

C — Synthèse d’un dérivé de l’acide formique utilisé dans l’industrie alimentaire : le formiate d’éthyle

Question 12.

Sujet p. 4, 5

> Indiquer le rôle d’un catalyseur comme l’acide sulfurique dans cette synthèse.

Un catalyseur accélère une transformation chimique sans être consommé dans le bilan réactionnel.

RÉPONSE À RETENIR

L’acide sulfurique joue le rôle de **catalyseur** : il accélère la synthèse du formiate d’éthyle sans être consommé.

Question 13.

Sujet p. 4, 5

> Donner une raison pour laquelle il est nécessaire de chauffer lors de cette synthèse.

Le chauffage augmente la vitesse de réaction ; dans le montage de distillation, il permet aussi de porter le mélange à ébullition et de vaporiser le produit formé, qui pourra être recueilli après condensation.

RÉPONSE À RETENIR

Il est nécessaire de chauffer pour accélérer la synthèse et permettre la distillation du formiate d’éthyle formé.

Question 14.

Sujet p. 4, 5

> Montrer que les quantités initiales de réactifs sont égales à : n_i(acide formique) = 0,53 mol et n_i(éthanol) = 0,35 mol.

On calcule les masses à partir de $m = \rho V$, en utilisant les volumes en millilitres, puis les quantités de matière avec $n = m/M$.

Pour l’acide formique : $m = 1,22 \times 20 = 24,4\ \text{g}$, donc $n = 24,4/46 = 0,530\ \text{mol}$. Pour l’éthanol : $m = 0,81 \times 20 = 16,2\ \text{g}$, donc $n = 16,2/46 = 0,352\ \text{mol}$.

RÉPONSE À RETENIR

Les quantités initiales sont donc $\boxed{n_i(\text{acide formique}) = 0,53\ \text{mol}}$ et $\boxed{n_i(\text{éthanol}) = 0,35\ \text{mol}}$.

Question 15.

Sujet p. 5

> Expliquer l’intérêt d’utiliser un réactif en excès pour la synthèse du formiate d’éthyle.

La synthèse est limitée par un équilibre entre réactifs et produits. Mettre un réactif en excès favorise le sens qui le consomme et peut ainsi augmenter la quantité de produit formée.

RÉPONSE À RETENIR

Utiliser un réactif en excès peut favoriser la formation du formiate d’éthyle et améliorer le rendement. Ici, l’acide formique est en excès par rapport à l’éthanol.

Question 16.

Sujet p. 5

> Indiquer la quantité de matière maximale de formiate d'éthyle formée si on suppose que la réaction est totale.

L'équation de synthèse équilibrée est $\mathrm{HCOOH + C_2H_5OH \rightleftharpoons HCOOC_2H_5 + H_2O}$: les réactifs et l'ester sont dans les proportions 1:1. Comme $n_i(\text{éthanol}) = 0,35\ \text{mol}$ est inférieur à $n_i(\text{acide formique}) = 0,53\ \text{mol}$, l'éthanol est le réactif limitant. Si la réaction est totale, la quantité maximale d'ester est égale à la quantité initiale du réactif limitant.

RÉPONSE À RETENIR

$$n_{\max}(\text{formiate d'éthyle}) = 0,35\ \text{mol}.$$

Question 17.

Sujet p. 5

> Expérimentalement, on obtient un distillat de masse m = 22,5 g. On suppose que le distillat est composé uniquement d'ester. En déduire la quantité de matière d'ester obtenue.

Sous l'hypothèse que le distillat est uniquement constitué d'ester, sa quantité de matière vaut $n = m/M$. La masse molaire du formiate d'éthyle est $M = 74\ \text{g mol}^{-1}$.

RÉPONSE À RETENIR

$$n(\text{ester}) = \frac{22,5}{74} = 0,304\ \text{mol}$$

La quantité d'ester obtenue est donc **0,304 mol**.

Question 18.

Sujet p. 5

> Exprimer puis calculer le rendement r de cette synthèse.

Le rendement est le rapport entre la quantité de produit effectivement obtenue et la quantité maximale théorique, multiplié par 100. Sous l'hypothèse faite à la question 17, $n_{\text{obtenue}} = 0,304\ \text{mol}$ et $n_{\max} = 0,35\ \text{mol}$.

RÉPONSE À RETENIR

$$r = \frac{n_{\text{obtenue}}}{n_{\max}} \times 100 = \frac{0,304}{0,35} \times 100 \simeq 86,9\ \%$$

Sous l'hypothèse que le distillat est uniquement constitué d'ester, le rendement est d'environ **87 %**.

Question 19.

Sujet p. 4, 5

> Justifier l'intérêt du montage utilisé pour favoriser le rendement de la synthèse.

Le montage est une distillation : le mélange est chauffé, les vapeurs passent dans un réfrigérant où elles se liquéfient, puis le distillat est recueilli. Le formiate d'éthyle a une température d'ébullition de $54,5\ ^\circ\text{C}$, inférieure à celles de l'éthanol et de l'acide formique. Sa séparation du milieu réactionnel au fur et à mesure de sa formation favorise le sens de formation des produits dans cette réaction d'équilibre.

RÉPONSE À RETENIR

Le montage permet de recueillir le formiate d'éthyle formé et de le retirer du milieu réactionnel. Ce retrait déplace l'équilibre vers la formation des produits et favorise ainsi le rendement de la synthèse.

Question 20.

Sujet p. 4, 5

On mesure le volume du distillat. On trouve V = 25,1 mL. Déterminer la masse volumique du distillat et émettre une hypothèse sur sa pureté.

La masse volumique se calcule par $\rho = m/V$. La masse du distillat est $22,5\ \mathrm{g}$ et son volume est $25,1\ \mathrm{mL}$. On compare la valeur obtenue à celle du formiate d'éthyle pur, donnée égale à $0,92\ \mathrm{g\,mL^{-1}}$.

RÉPONSE À RETENIR

$$\rho_{\text{distillat}} = \frac{22,5}{25,1} = 0,896\ \mathrm{g\,mL^{-1}} \simeq 0,90\ \mathrm{g\,mL^{-1}}.$$

Cette valeur est légèrement inférieure à celle du formiate d'éthyle pur ($0,92\ \mathrm{g\,mL^{-1}}$). On peut donc émettre l'hypothèse que le distillat n'est pas pur, sous réserve des incertitudes de mesure.

Question 21.

Sujet p. 6

À partir de l'analyse du spectre IR, dire si l'hypothèse émise à la question 20 est confirmée ou infirmée et préciser si la valeur du rendement obtenue à la question 18 doit être revue.

Le spectre comporte une bande forte et fine dans la zone caractéristique de la liaison C=O, compatible avec un ester. Il présente également une absorption large dans la zone 3200–$3700\ \mathrm{cm^{-1}}$, caractéristique d'une liaison O–H d'alcool d'après les données. Un ester pur ne possède pas de liaison O–H. Le distillat contient donc vraisemblablement une espèce portant un groupe O–H, et toute sa masse ne peut pas être attribuée à l'ester.

RÉPONSE À RETENIR

L'hypothèse d'un distillat pur est **infirmée** : le spectre indique la présence d'une liaison O–H en plus de la liaison C=O de l'ester. Le rendement calculé à la question 18 doit être **revu à la baisse**, car toute la masse du distillat n'est pas celle de l'ester. Le spectre ne permet pas de déterminer quantitativement le rendement corrigé.

Exercice A

5 points

Détermination du diamètre de Jupiter

Estimation du diamètre apparent de Jupiter α_J par comparaison avec la Lune

Question 1.

Sujet p. 7, 8

> Rappeler la définition du grossissement G de la lunette en fonction de α et α′.

Le grossissement angulaire d'une lunette est le rapport entre l'angle sous lequel l'objet est observé à travers la lunette et l'angle sous lequel il est observé à l'œil nu. Avec les angles considérés en valeur positive :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha}.$$

RÉPONSE À RETENIR

$\boxed{G = \alpha'/\alpha}$, où α est l'angle à l'œil nu et α' l'angle à travers la lunette.

Question 2.

Sujet p. 7, 8

> En reprenant le premier paragraphe du DOCUMENT, montrer que α_J = 2α_L/G, α_J étant le diamètre apparent de Jupiter, G le grossissement de la lunette et α_L le diamètre apparent de la Lune à l'œil nu.

Le document indique que Jupiter paraît deux fois plus gros à travers la lunette que la Lune à l'œil nu. L'angle apparent de Jupiter à travers la lunette vaut donc $\alpha'_J = 2\alpha_L$. Par définition du grossissement, $G = \alpha'_J/\alpha_J$. On isole alors α_J :

$$\alpha_J = \frac{\alpha'_J}{G} = \frac{2\alpha_L}{G}.$$

RÉPONSE À RETENIR

$\boxed{\alpha_J = 2\alpha_L/G}$.

Question 3.

Sujet p. 7, 8

> Huygens connaissait la valeur du diamètre apparent de la Lune à l'œil nu : α_L = 0,5° = 8,7 × 10⁻³ rad. Montrer que l'on retrouve la valeur du diamètre apparent de Jupiter trouvée dans un premier temps par Huygens.

On utilise la relation précédente avec $\alpha_L = 8{,}7 \times 10^{-3}\ \text{rad}$ et le grossissement estimé par Huygens, $G = 164$:

$$\alpha_J = \frac{2 \times 8{,}7 \times 10^{-3}}{164} = 1{,}06 \times 10^{-4}\ \text{rad}.$$

Cette estimation est de l'ordre de $10^{-4}\ \text{rad}$, comme celle rapportée dans le document.

RÉPONSE À RETENIR

On retrouve bien la première estimation de Huygens : $\boxed{\alpha_J \approx 10^{-4}\ \text{rad}}$.

Modélisation de la lunette astronomique de Huygens

Question 4.

Sujet p. 8, 15

> Indiquer où se forme l'image intermédiaire A_1B_1 de l'objet AB formée par l'objectif. Justifier que l'ensemble des deux lentilles constitue effectivement un système afocal.

Les rayons issus de A, situé sur l'axe et à l'infini, arrivent parallèlement à l'axe optique. L'objectif convergent les fait converger en son foyer image : $A_1 = F_1'$. Les rayons issus de B, également à l'infini, convergent dans le même plan focal image, en B_1. Sur la figure, B_1 est sous l'axe optique.

Le foyer image F_1' de l'objectif coïncide avec le foyer objet F_2 de l'oculaire. L'image intermédiaire se trouve donc dans le plan focal objet de l'oculaire. Celui-ci transforme les faisceaux issus des points de cette image en faisceaux parallèles : l'image finale est à l'infini. L'ensemble constitue bien un système afocal.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> L'image intermédiaire se forme dans le plan focal image de l'objectif, avec $A_1 = F_1' = F_2$. Cette coïncidence place l'image intermédiaire dans le plan focal objet de l'oculaire et rend la lunette afocale.

Question 5.

Sujet p. 8, 15

> Sur la figure donnée en annexe, construire l'image intermédiaire A_1B_1 de l'objet AB, situé « à l'infini », à travers la lentille L_1.

Le point A, dont les rayons incidents sont parallèles à l'axe, a pour image $A_1 = F_1'$. Pour construire B_1, on prolonge après l'objectif les deux rayons incidents parallèles issus de B : ils se coupent dans le plan focal image de l'objectif. Le point de rencontre est B_1, sous l'axe optique sur la figure. Le segment A_1B_1 est l'image intermédiaire.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Sur l'annexe, placer A_1 en F_1', puis B_1 sous l'axe, dans le plan focal image de l'objectif, à l'intersection des rayons réfractés issus de B.

Question 6.

Sujet p. 8, 9, 15

> Représenter le faisceau émergent issu de B, situé « à l'infini », délimité par les deux rayons incidents déjà tracés, et traversant l'ensemble de la lunette afocale.

Les rayons délimitant le faisceau issu de B convergent après l'objectif vers B_1. Comme B_1 est dans le plan focal objet de l'oculaire, les rayons émergents de l'oculaire sont parallèles entre eux. Il faut donc prolonger les deux rayons jusqu'à B_1, puis tracer après l'oculaire un faisceau parallèle. Puisque B_1 est sous l'axe, ce faisceau émergent est incliné vers le haut par rapport à l'axe optique.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le faisceau converge en B_1 après l'objectif, puis ressort de l'oculaire sous forme d'un faisceau parallèle, incliné vers le haut par rapport à l'axe optique.

Question 7.

Sujet p. 9, 15

> Le faisceau émergent (en sortie de l'oculaire) est incliné d'un angle α′ par rapport à l'axe optique. Par des considérations géométriques, déterminer l'expression du grossissement G en fonction des distances focales f′₁ et f′₂.

Notons $h = A_1B_1$ la hauteur de l'image intermédiaire. Pour les petits angles, la géométrie dans le plan focal de l'objectif donne $|\alpha| \simeq h/f_1'$. Dans le plan focal objet de l'oculaire, elle donne $|\alpha'| \simeq h/f_2'$. Le rapport des angles vaut donc :

$$G = \left|\frac{\alpha'}{\alpha}\right| \simeq \frac{h/f_2'}{h/f_1'} = \frac{f_1'}{f_2'}.$$

Le signe dépend de la convention choisie pour les angles algébriques ; le grossissement demandé usuellement comme valeur positive est le rapport des valeurs absolues.

RÉPONSE À RETENIR

$\boxed{G = f_1'/f_2'}$ pour le grossissement exprimé en valeur positive.

Application à la lunette de Huygens

Question 8.

Sujet p. 7, 9

> Les caractéristiques de la lunette de Huygens sont : distance focale de l'objectif f′₁ = 10,35 m et distance focale de l'oculaire f′₂ = 63 mm. Expliquer le calcul effectué par Huygens, dans le deuxième paragraphe du DOCUMENT, pour obtenir la valeur de l'angle α_J à partir de la taille de l'image intermédiaire, mesurée à 2 millimètres.

Pour un objet à l'infini, l'image intermédiaire donnée par l'objectif est dans son plan focal image. Sa taille mesurée est $A_1B_1 = 2\ \text{mm} = 2{,}0 \times 10^{-3}\ \text{m}$, et la distance focale de l'objectif vaut $f_1' = 10{,}35\ \text{m}$. La géométrie donne $\tan\alpha_J = A_1B_1/f_1'$. L'angle étant petit, $\tan\alpha_J \simeq \alpha_J$ en radians :

$$\alpha_J \simeq \frac{2{,}0 \times 10^{-3}}{10{,}35} = 1{,}93 \times 10^{-4}\ \text{rad}.$$

RÉPONSE À RETENIR

La mesure de l'image intermédiaire conduit à $\boxed{\alpha_J \simeq 1{,}9 \times 10^{-4}\ \text{rad}}$, soit environ $2 \times 10^{-4}\ \text{rad}$, comme indiqué dans le document.

Question 9.

Sujet p. 7, 9

> Calculer le grossissement de la lunette de Huygens et expliquer pour quelle raison la première détermination de α_J, présentée dans le premier paragraphe du DOCUMENT, était nécessairement moins précise que celle présentée dans le second paragraphe.

On applique $G = f_1'/f_2'$, en exprimant les distances focales dans la même unité : $f_1' = 10{,}35\ \text{m}$ et $f_2' = 63\ \text{mm} = 0{,}063\ \text{m}$. Ainsi :

$$G = \frac{10{,}35}{0{,}063} = 164{,}3 \simeq 164.$$

La première détermination repose sur une comparaison visuelle (« deux fois plus gros ») et sur une estimation du grossissement, donc sur des évaluations approximatives. La seconde exploite une mesure de l'image intermédiaire et la distance focale connue de l'objectif ; elle est donc plus précise.

RÉPONSE À RETENIR

Le grossissement vaut $\boxed{G \simeq 164}$. La mesure de l'image intermédiaire donne une détermination de α_J plus précise que la comparaison visuelle approximative.

Diamètre de Jupiter

Question 10.

Sujet p. 7, 9

> La distance moyenne Terre-Jupiter vaut d = 7,80 × 10⁸ km. Calculer la valeur D du diamètre de Jupiter.

Pour un petit angle exprimé en radians, $\tan \alpha_J \simeq \alpha_J$, et la géométrie donne $\alpha_J \simeq D/d$, donc $D \simeq d\alpha_J$. La page 9 indique $d = 7{,}80 \times 10^8\ \mathrm{km}$. En utilisant l'angle calculé à partir de l'image intermédiaire :

$$D \simeq (7{,}80 \times 10^8)(1{,}93 \times 10^{-4})\ \mathrm{km} = 1{,}51 \times 10^5\ \mathrm{km}.$$

Avec l'angle arrondi du document, $2 \times 10^{-4}\ \mathrm{rad}$, on obtient $1{,}56 \times 10^5\ \mathrm{km}$, cohérent compte tenu de l'arrondi de l'angle.

RÉPONSE À RETENIR

Le diamètre de Jupiter calculé à partir de la mesure de l'image intermédiaire est $\boxed{D \simeq 1{,}51 \times 10^5\ \mathrm{km}}$, soit environ $1{,}6 \times 10^5\ \mathrm{km}$ avec l'arrondi du document.

Exercice B

5 points

Mesure de la masse de Jupiter et du Soleil

Exploitation des résultats expérimentaux

Question 1.

Sujet p. 10

> À partir des résultats expérimentaux (figure 1), préciser la relation qui existe entre T² et a³ pour les quatre satellites de Jupiter. Donner le nom de la loi correspondante (établie en 1618).

Sur la figure 1, les mesures des quatre satellites sont alignées sur une droite passant par l'origine. Cela montre que lorsque a^3 augmente, T^2 augmente proportionnellement : le quotient T^2/a^3 est constant pour les satellites de Jupiter.

Cette relation est la troisième loi de Kepler, établie en 1618.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Pour les quatre satellites de Jupiter, T^2 est proportionnel à a^3. Il s'agit de la troisième loi de Kepler.

Modélisation du mouvement d'un satellite de Jupiter

Question 2.

Sujet p. 11

> Sur un schéma, reprendre les éléments donnés sur la figure 2 et représenter sans souci d'échelle le vecteur vitesse v⃗_S du satellite et la force de gravitation F⃗_J/S exercée par Jupiter sur le satellite.

Dans le mouvement circulaire, le vecteur vitesse est tangent à la trajectoire. Le vecteur unitaire normal $\vec{n}$ représenté sur la figure est orienté vers le centre de courbure, ici le centre J de Jupiter. La force gravitationnelle étant attractive, elle est dirigée elle aussi de S vers J, dans le même sens que $\vec{n}$.

Satellite de Jupiter : vitesse et force gravitationnelle

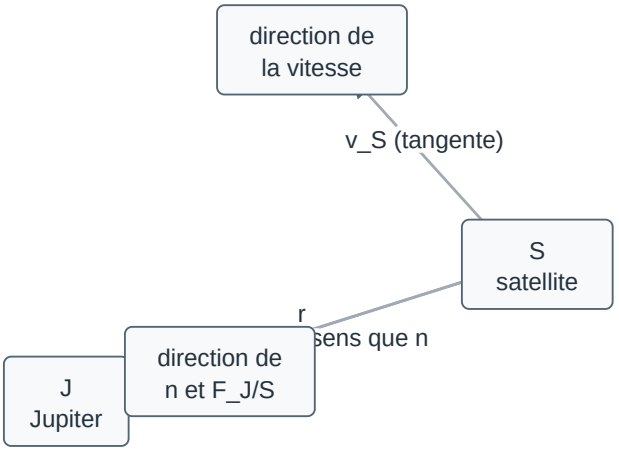


Schéma qualitatif : la vitesse est tangentielle et la force gravitationnelle est dirigée vers Jupiter.

RÉPONSE À RETENIR

Au point S, tracer $\vec{v}_S$ tangent à la trajectoire dans le sens du mouvement, puis $\vec{F}_{J/S}$ dirigée de S vers J. La force est perpendiculaire à la vitesse et de même direction et de même sens que $\vec{n}$.

Question 3.

Sujet p. 11

Donner l'expression de la force de gravitation F⃗_J/S exercée par Jupiter sur le satellite en fonction de M_J, m, G, r et n⃗.

Sur la figure 2, $\vec{n}$ est le vecteur unitaire normal dirigé vers le centre de courbure, donc de S vers J. La force gravitationnelle est attractive et a pour norme GM_Jm/r^2 ; elle est donc dirigée dans le même sens que $\vec{n}$.

RÉPONSE À RETENIR

Avec la convention de la figure, la force s'écrit :

$$\vec{F}_{J/S} = \frac{GM_Jm}{r^2}\,\vec{n}.$$

Question 4.

Sujet p. 11

Appliquer la deuxième loi de Newton et en déduire l'expression de la vitesse v_S du satellite en fonction de G, M_J et r.

Le référentiel joviocentrique est supposé galiléen et la seule force exercée sur le satellite est la gravitation de Jupiter. La deuxième loi de Newton donne $m\vec{a} = \vec{F}_{J/S}$. Pour un mouvement circulaire, l'accélération est dirigée vers le centre de la trajectoire, dans le sens de $\vec{n}$, et sa norme vaut v_S^2/r. On égalise les normes de l'accélération et de la force par unité de masse, puis on isole la vitesse.

RÉPONSE À RETENIR

$$m\frac{v_S^2}{r} = \frac{GM_J m}{r^2} \quad \Longrightarrow \quad v_S^2 = \frac{GM_J}{r}.$$

La vitesse du satellite vaut donc $v_S = \sqrt{\dfrac{GM_J}{r}}$.

Question 5.

Sujet p. 11

En déduire que, dans le cadre de l'approximation du mouvement circulaire, le quotient T²/a³ est égal à 4π²/(G M_J).

Dans l'approximation circulaire, le demi-grand axe a est égal au rayon r. La distance parcourue en un tour est $2\pi r$, d'où $T = 2\pi r / v_S$. En élevant au carré et en utilisant $v_S^2 = GM_J/r$, on obtient :

RÉPONSE À RETENIR

$$T^2 = \frac{4\pi^2 r^2}{v_S^2} = \frac{4\pi^2 r^2}{GM_J/r} = \frac{4\pi^2}{GM_J} r^3.$$

Comme $a = r$, cela donne bien $\dfrac{T^2}{a^3} = \dfrac{4\pi^2}{GM_J}$.

Question 6.

Sujet p. 10, 11

À l'aide des résultats expérimentaux, calculer la valeur de la masse M_J de Jupiter. Commenter un éventuel écart à la valeur tabulée : 1,898 6 × 10²⁷ kg. Aide éventuelle : 1 j²·km⁻³ = 7,46 s²·m⁻³.

La pente de la droite de la figure 1 est d'environ 420 dans les unités indiquées sur les axes : $420\ \mathrm{j}^2/(10^{19}\ \mathrm{km}^3)$. Pour convertir cette pente en unités SI, on utilise $1\ \mathrm{j}^2 = 7{,}46 \times 10^{9}\ \mathrm{s}^2$ et $10^{19}\ \mathrm{km}^3 = 10^{28}\ \mathrm{m}^3$. Ainsi :

$$\frac{T^2}{a^3} \approx \frac{420 \times 7{,}46 \times 10^{9}}{10^{28}} = 3{,}13 \times 10^{-16}\ \mathrm{s}^2\,\mathrm{m}^{-3}.$$

D'après la relation de la question 5, $M_J = 4\pi^2/[G(T^2/a^3)]$. En prenant $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \mathrm{m}^3\,\mathrm{kg}^{-1}\,\mathrm{s}^{-2}$:

$$M_J \approx \frac{4\pi^2}{(6{,}67 \times 10^{-11})(3{,}13 \times 10^{-16})} = 1{,}89 \times 10^{27}\ \mathrm{kg}.$$

La pente étant lue graphiquement, le résultat est approché. L'écart par rapport à la valeur tabulée est compatible avec cette lecture et avec l'approximation du mouvement circulaire.

RÉPONSE À RETENIR

La masse estimée de Jupiter est $M_J \approx 1{,}89 \times 10^{27}\ \mathrm{kg}$. Elle est proche de la valeur tabulée $1{,}8986 \times 10^{27}\ \mathrm{kg}$; l'écart relatif est d'environ $0{,}5\,\%$, ce qui est compatible avec les incertitudes de lecture du graphique et les approximations du modèle.

Question 7.

Sujet p. 11

> La relation établie à la question 5 pour le système composé de Jupiter et de ses satellites est universelle et est applicable à d'autres systèmes constitués de satellites en orbite autour d'un astre central. Déterminer la masse du Soleil. Donnée : la distance entre la Terre et le Soleil est de 150 millions de kilomètres.

On applique la relation de la question 5 à la Terre en orbite autour du Soleil, en assimilant son orbite à un cercle : $M_{\text{Soleil}} = 4\pi^2 a^3/(GT^2)$. La distance donnée vaut $a = 150$ millions de kilomètres, soit $1{,}50 \times 10^{11}\ \text{m}$. L'énoncé ne donne pas la période terrestre ; on prend sa valeur usuelle, une année, soit $T \approx 365{,}25 \times 86400 = 3{,}156 \times 10^{7}\ \text{s}$.

$$M_{\text{Soleil}} \approx \frac{4\pi^2 (1{,}50 \times 10^{11})^3}{(6{,}67 \times 10^{-11})(3{,}156 \times 10^{7})^2} = 1{,}99 \times 10^{30}\ \text{kg}.$$

RÉPONSE À RETENIR

En prenant pour la période de révolution terrestre une année de $365{,}25$ jours, on obtient $\boxed{M_{\text{Soleil}} \approx 1{,}99 \times 10^{30}\ \text{kg}}$.

Exercice C

5 points

Capacité thermique massique du cuivre

Temps de mise à température de l'échantillon de cuivre

Question 1.

Sujet p. 12, 13

> Prévoir le sens du transfert thermique Q qui a lieu entre le système et le thermostat.

Les données indiquent que l'échantillon est initialement à $\theta_a = 20{,}5\,^\circ\mathrm{C}$, tandis que le thermostat est à $\theta_{\mathrm{th}} = 100{,}0\,^\circ\mathrm{C}$. Le transfert thermique spontané s'effectue du corps le plus chaud vers le corps le plus froid.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le transfert thermique Q s'effectue du thermostat vers l'échantillon de cuivre, qui reçoit de l'énergie thermique et se réchauffe.

Question 2.

Sujet p. 12, 13

> Écrire le premier principe pour le système et en déduire une relation entre le transfert thermique Q, la masse du système m, la capacité thermique massique du cuivre c et la variation de température Δθ du système soumis au transfert thermique.

Pour le système « échantillon de cuivre », le premier principe s'écrit $\Delta U = W + Q$, où W et Q sont respectivement le travail et le transfert thermique reçus par le système. On néglige ici tout travail mécanique reçu : $W = 0$, donc $Q = \Delta U$. La variation d'énergie interne donnée dans le sujet vaut $\Delta U = mc\Delta\theta$, avec $\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le transfert thermique reçu par l'échantillon vérifie $Q = mc\Delta\theta$. Comme sa température augmente, $\Delta\theta > 0$ et donc $Q > 0$.

Question 3.

Sujet p. 12, 13

> Donner la relation liant le transfert thermique Q et le flux thermique Φ pendant la durée très courte Δt. On suppose que Φ est constant pendant la durée Δt.

Le flux thermique Φ, exprimé en watts, est le transfert thermique par unité de temps. S'il est constant pendant la durée Δt, le transfert reçu pendant cette durée est le produit du flux par le temps.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $Q = \Phi\,\Delta t$, avec Q en joules si Φ est en watts et Δt en secondes.

Question 4.

Sujet p. 12, 13

> En déduire une relation entre h, S, θ_th, θ(t), m, c, Δθ et Δt.

On combine $Q = mc\Delta\theta$, obtenu à la question 2, et $Q = \Phi\Delta t$, obtenu à la question 3. On remplace ensuite le flux par la loi de Newton fournie dans le sujet : $\Phi = hS\big(\theta_{\mathrm{th}} - \theta(t)\big)$.

RÉPONSE À RETENIR

On obtient $mc\Delta\theta = hS\big(\theta_{\text{th}} - \theta(t)\big)\Delta t$.

Question 5.

Sujet p. 12, 13

Déduire de ce qui précède l'équation différentielle donnant l'évolution de la température θ(t) du système en fonction du temps. La mettre sous la forme dθ(t)/dt + (1/τ)θ(t) = θ_th/τ, avec τ un temps caractéristique tel que τ = mc/(hS).

Sur une durée très courte Δt, la variation de température est $\Delta\theta = \theta(t+\Delta t) - \theta(t)$. En divisant la relation de la question 4 par $mc\Delta t$, puis en faisant tendre Δt vers zéro, on obtient $\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} = \frac{hS}{mc}(\theta_{\text{th}} - \theta)$. Avec $\tau = \frac{mc}{hS}$, il suffit de réorganiser cette équation.

RÉPONSE À RETENIR

$$\frac{\mathrm{d}\theta(t)}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{\tau}\theta(t) = \frac{\theta_{\text{th}}}{\tau}, \qquad \tau = \frac{mc}{hS}.$$

Question 6.

Sujet p. 13

La solution de l'équation différentielle précédente est de la forme θ(t) = A × e⁻ᵗ/τ + B, où A et B sont deux constantes. Déterminer l'expression des constantes A et B en fonction de θ_a et θ_th. Détailler le raisonnement.

Dans $\theta(t) = Ae^{-t/\tau} + B$, le terme exponentiel tend vers zéro lorsque t tend vers l'infini. La température tend alors vers celle du thermostat, donc $B = \theta_{\text{th}}$. À l'instant initial $t = 0$, $\theta(0) = \theta_a$, donc $\theta_a = A + B$ et $A = \theta_a - \theta_{\text{th}}$.

RÉPONSE À RETENIR

$A = \theta_a - \theta_{\text{th}}$ et $B = \theta_{\text{th}}$. Ainsi, $\theta(t) = \theta_{\text{th}} + (\theta_a - \theta_{\text{th}})e^{-t/\tau}$.

Question 7.

Sujet p. 13

Montrer que l'application numérique conduit à l'expression suivante, avec t en s : θ(t) = 100 − 79,5 × e⁻ᵗ/⁷⁸⁴ (°C).

On convertit les données en unités SI : $m = 44{,}8\,\text{g} = 0{,}0448\,\text{kg}$ et $S = 22\,\text{cm}^2 = 2{,}2\times10^{-3}\,\text{m}^2$. Le temps caractéristique vaut alors :

$$\tau = \frac{mc}{hS} = \frac{0{,}0448\times385}{10\times2{,}2\times10^{-3}}\,\text{s} \simeq 784\,\text{s}.$$

De plus, $\theta_a - \theta_{\text{th}} = 20{,}5 - 100{,}0 = -79{,}5\,^\circ\text{C}$. On remplace ces valeurs dans l'expression établie à la question 6.

RÉPONSE À RETENIR

Avec t exprimé en secondes, $\theta(t) = 100 - 79{,}5\,e^{-t/784} \quad (^\circ\text{C})$.

Question 8.

Sujet p. 13

Déterminer la date t₁ à partir de laquelle la température du système sera supérieure à 99 °C.

On résout $\theta(t) > 99\,^\circ\text{C}$ à l'aide de l'expression de la question 7 :

$100 - 79{,}5e^{-t/784} > 99$, donc $e^{-t/784} < \frac{1}{79{,}5}$. En prenant le logarithme, on obtient $-t/784 < -\ln(79{,}5)$, soit $t > 784\ln(79{,}5)$.

Numériquement, $784\ln(79{,}5) \simeq 3{,}43 \times 10^3\,\mathrm{s}$, soit environ $57{,}2\,\mathrm{min}$.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> La température dépasse $99\,^\circ\mathrm{C}$ pour $t > 784\ln(79{,}5) \simeq 3{,}43 \times 10^3\,\mathrm{s}$, soit après environ $57\,\mathrm{min}$. À l'instant seuil, elle est égale à $99\,^\circ\mathrm{C}$; elle est strictement supérieure ensuite.

Principe de la détermination de la capacité thermique massique

Question 9.

Sujet p. 13, 14

> Sachant que, dans le calorimètre, l'ensemble {échantillon de cuivre, eau} est isolé, montrer que c = [m_e c_eau (θ_f − θ_e)]/[m(θ_th − θ_f)].

L'ensemble {échantillon de cuivre, eau} est isolé, et le calorimètre ne participe pas aux échanges. La somme des transferts thermiques reçus par l'eau et le cuivre est donc nulle : $Q_{\mathrm{eau}} + Q_{\mathrm{Cu}} = 0$. L'eau se réchauffe de θ_e à θ_f, tandis que le cuivre se refroidit de θ_{th} à θ_f. Ainsi :

$m_e c_{\mathrm{eau}}(\theta_f - \theta_e) + mc(\theta_f - \theta_{\mathrm{th}}) = 0$.

En isolant c, on obtient la relation demandée.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $$c = \frac{m_e c_{\mathrm{eau}}(\theta_f - \theta_e)}{m(\theta_{\mathrm{th}} - \theta_f)}.$$

Question 10.

Sujet p. 14

> Faire l'application numérique. Proposer une explication à un éventuel écart avec la valeur tabulée.

On applique la relation de la question 9 avec les masses exprimées en kilogrammes. Les différences de température ont la même valeur numérique en degrés Celsius et en kelvins :

$m_e = 0{,}100\,\mathrm{kg}$, $m = 0{,}0448\,\mathrm{kg}$, $\theta_f - \theta_e = 23{,}1 - 20{,}5 = 2{,}6\,\mathrm{K}$ et $\theta_{\mathrm{th}} - \theta_f = 100{,}0 - 23{,}1 = 76{,}9\,\mathrm{K}$.

$$c = \frac{0{,}100 \times 4180 \times 2{,}6}{0{,}0448 \times 76{,}9}\,\mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}} \simeq 315\,\mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}}.$$

Cette valeur est inférieure à la valeur tabulée de $385\,\mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}}$. L'écart relatif par rapport à la valeur tabulée est d'environ $\frac{385-315}{385} \times 100\,\% = 18\,\%$. Le modèle suppose notamment que le calorimètre n'absorbe aucune énergie et que l'ensemble est parfaitement isolé. En pratique, le calorimètre ou l'environnement peuvent participer aux échanges thermiques ; la température réelle du cuivre au moment de son immersion peut également différer de $100\,^\circ\mathrm{C}$. Ces effets, ainsi que les incertitudes de mesure, peuvent expliquer l'écart.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> La capacité thermique massique expérimentale obtenue est $c \simeq 315\,\mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}}$, contre $385\,\mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}}$ pour la valeur tabulée. L'écart est d'environ $18\,\%$ de la valeur tabulée et peut notamment s'expliquer par les échanges thermiques réels avec le calorimètre et l'extérieur, négligés dans le modèle, ainsi que par les incertitudes sur les températures et les masses.

Sujet : https://www.sujetdebac.fr/annales-pdf/2022/spe-physique-chimie-2022-centres-etranger-2-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.