Baccalauréat Général

Session 2024 – Centres Étrangers Afrique

Épreuve de Physique-Chimie

Sujet de spécialité n° 2

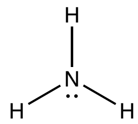
Proposition de corrigé

Ce corrigé est composé de 6 pages.

Exercice 1 — L'ammoniac : un futur carburant pour les transports maritimes

1. Étude de la molécule et de ses propriétés chimiques

Q1. On représente la structure de Lewis de l'ammoniac :



Q2. On remarque donc que l'azote est porteur d'un doublet non liant, et lié à trois atomes d'hydrogène. L'ammoniac pourra donc aisément former des liaisons hydrogène avec les molécules d'eau, ce qui explique sa grande solubilité dans l'eau.

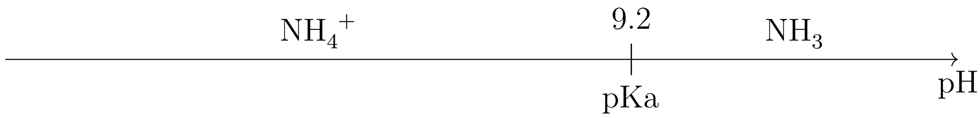
Q3. Selon Brönsted, une base est une espèce chimique susceptible de capter un ou plusieurs protons H^+.

Q4. Dans l'eau, on observe la réaction acide-base :

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4{}^+ + HO^-$$

Q5. Au cours de la réaction, on forme dans le ballon des ions hydroxyde, ce qui va tendre à faire diminuer le pH. Le BBT sera donc bleu en fin de réaction.

Q6. On a le diagramme de prédominance du couple $NH_4{}^+/NH_3$:



À pH $= 11,0$, l'espèce prédominante sera donc l'ammoniac $NH3$.

Q7. Lors du titrage d'une solution d'ammoniac par l'acide chlorhydrique, l'équation support du titrage est la suivante :

$$NH_3 + H_3O^+ \longrightarrow NH_4{}^+ + H_2O$$

Q8. On remarque, sur la courbe simulée, une équivalence pour un pH compris entre 4 et 7. Le rouge de méthyle ayant une zone de virage compatible avec ces valeurs, il est tout à fait adapté pour ce titrage.

Q9. On cherche la concentration en ammoniac de la solution utilisée. À l'équivalence, on a :

$$\frac{n_{NH_3}}{1} = \frac{n_{H_3O^+}}{1}$$

Ou, en concentration :

$$C_B V_B = C_A V_E \implies \boxed{C_B = \frac{C_A V_E}{V_B}}$$

Or, on lit graphiquement $V_E = 10\,\text{mL}$. D'où,

$$C_B = \frac{0,100 \times 10}{20,0} = \underline{0,05\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}}$$

2. Synthèse de l'ammoniac

Q10. La réaction modélisant la synthèse de l'ammoniac par le procédé Haber-Bosch est :

$$N_2 + 3\,H_2 \longrightarrow 2\,NH_3$$

Q11. Dans les conditions données, le réactif limitant est le dihydrogène ($6/3 < 6$), il vient alors $x_f = 0,80/2 = 0,40\,\text{mol}$ et $x_{\text{max}} = 6,0/3 = 2,0\,\text{mol}$. On constate que la réaction n'est pas totale car $x_f < x_{\text{max}}$.

Q12. Les électrons se déplaçant de la borne négative vers la borne positive, leur sens de circulation est donné par la flèche **2**. Au contraire, le sens du courant est donné par la flèche **3**.

Q13. L'électrode A étant riche en électrons, elle sera le siège d'une réduction, et produira du dihydrogène suivant la demi-équation électronique $2\,H^+ + 2\,e^- \longrightarrow H_2$.

L'électrode B, au contraire, présente un déficit en électrons et sera donc le siège d'une oxydation, produisant du dioxygène par la réaction d'équation $2\,H_2O \longrightarrow O_2 + 4\,H^+ + 4\,e^-$.

Q14. En équilibrant les demi-équations pour faire intervenir le même nombre d'électrons, il vient l'équation de la réaction intervenant dans l'électrolyseur :

$$4\,H^+ + 2\,H_2O \longrightarrow 2\,H_2 + O_2 + 4\,H^+$$

On observera donc la formation de deux fois plus de dihydrogène que de dioxygène, ce qui correspond bien aux observations expérimentales.

Q15. On a la quantité de courant :

$$\boxed{Q = i\Delta t} = 0,16 \times 200 = \underline{32\,\text{C}}$$

On a la quantité de matière d'électrons échangés :

$$\boxed{n_{e-} = \frac{Q}{F}} = \frac{32}{6,02 \times 10^{23} \times 1,6 \times 10^{-19}} = \underline{3,3 \times 10^{-4}\,\text{mol}.}$$

Q16. On a, pour la réaction de formation du dihydrogène :

$$Q = n_e\mathcal{F} = 2n\mathcal{F}$$

Il vient alors :

$$Q = 2n\mathcal{F} = i\Delta t \implies n = \frac{i\Delta t}{2\mathcal{F}} = \frac{i\Delta t}{2N_A e}$$

Ou, en volume :

$$\boxed{V = nV_m = \frac{i\Delta t}{2\mathcal{F}}V_m}$$

D'où,

$$V = \frac{32}{2 \times 6,02 \times 10^{23} \times 1,6 \times 10^{-19}} \times 24 = \underline{3,99 \times 10^{-3}\,\text{L} = 3,99\,\text{mL}}$$

Cette valeur correspond bien à la valeur expérimentale.

Q17. Dans l'usine de Pilbara, la production annuelle estimée est de $m = 640$ tonnes de dihydrogène, ce qui correspond à $n = \frac{640\times10^6}{2} = 3,2 \times 10^8\,\text{mol}$. L'avancement final de la réaction étant $x_f = 2\frac{n}{3}$ et le rendement de 20% seulement, il vient :

$$n_{NH_3} = 0,2 \times \frac{2n}{3}$$

Ou, en masse :

$$m(NH_3) = n_{NH_3} \times M(NH_3) = 0,2 \times \frac{2nM(NH_3)}{3}$$

D'où,

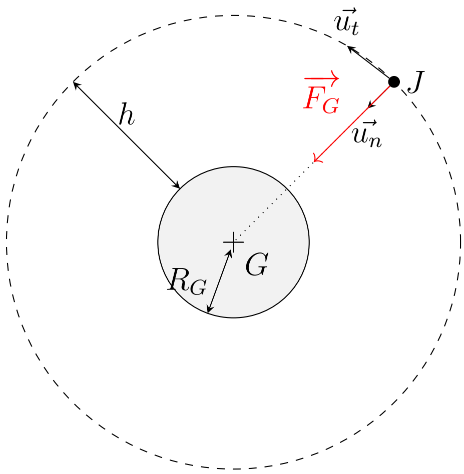
$$m(NH_3) = 0,2 \times \frac{2 \times 3,2 \times 10^8 \times 17}{3} = \underline{725,3 \times 10^6\,\text{g} = 725,3\,\text{tonnes}}$$

Ce qui reste très largement en-deçà des besoins mondiaux en ammoniac.

Exercice 2 — À la découverte des lunes glacées de Jupiter

1. Orbites de la sonde JUICE autour de Ganymède

Q1. On schématise l'orbite circulaire de la sonde autour de Ganymède, et on y représente les différents éléments utiles à l'étude de son mouvement :



Q2. On remarque alors que la force d'attraction gravitationnelle de Ganymède sur la sonde s'exprime :

$$\boxed{\overrightarrow{F_G} = F_G\overrightarrow{u_n} = G\frac{mM_G}{(R_G+h)^2}\overrightarrow{u_n}} \qquad (1)$$

Q3. On étudie le mouvement de la sonde de masse m considérée constante, dans le référentiel Ganymède-centrique supposé galiléen. La force d'attraction gravitationnelle étant la seule s'appliquant sur le système, la loi de quantité de mouvement s'exprime :

$$\sum \overrightarrow{F} = \boxed{F_G\vec{u_n} = m\vec{a}} \qquad (2)$$

On remarque donc que $\vec{a}\cdot\vec{u_t} = 0$ (car $\vec{a} = a\vec{u_n}$), le mouvement est donc circulaire uniforme.

Q4. Le mouvement étant circulaire uniforme, on sait que :

$$a = \frac{v^2}{R_G+h}$$

Alors en injectant (2) projetée sur le vecteur normal et exprimée avec (1), il vient :

$$G\frac{M_G}{(R_G+h)^2} = \frac{v^2}{R_G+h} \implies v^2 = \frac{GM_G}{R_G+h}$$

Cette grandeur étant nécessairement positive, on a finalement bien :

$$\boxed{v = \sqrt{\frac{GM_G}{R_G+h}}} \qquad (3)$$

Q5. La sonde parcourant alors, en une orbite, une distance $D = 2\pi(R_G + h)$, il vient :

$$T = \frac{D}{v} = \frac{2\pi(R_G+h)}{\sqrt{\frac{GM_G}{R_G+h}}} = 2\pi(R_G+h) \times \sqrt{\frac{R_G+h}{GM_G}} \implies \boxed{T = 2\pi\sqrt{\frac{(R_G+h)^3}{GM_G}}}$$

D'où,

$$T_{500} = 2\pi \times \sqrt{\frac{(2,63 \times 10^6 + 500 \times 10^3)^3}{6,67 \times 10^{-11} \times 1,82 \times 10^{23}}} = \underline{1,99 \times 10^3\,\mathrm{s} = 2,77\,\mathrm{h}}$$

Q6. La troisième loi de Kepler (loi des périodes) prévoit que la grandeur $\frac{T^2}{r^3}$ est constante. On a alors :

$$\frac{T_{500}^2}{(R_G+h)^3} = \frac{T_{5000}^2}{(R_G+h')^3} \implies \boxed{T_{5000}^2 = \frac{T_{500}^2(R_G+h')^3}{(R_G+h)^3}}$$

D'où,

$$T_{5000}^2 = \frac{(1,99 \times 10^3)^2 \times (2,63 \times 10^6 + 5000 \times 10^3)^3}{(2,63 \times 10^6 + 500 \times 10^3)^3} = 1,44 \times 10^9\,\mathrm{s}^2$$

Alors finalement :

$$\underline{T_{5000} = \sqrt{1,44 \times 10^9} = 3,8 \times 10^4\,\mathrm{s} = 10,5\,\mathrm{h}}$$

Q7. La sonde doit rester 90 jours à l'altitude de 5000 km, puis 102 jours à 500 km.

Sur sa première orbite, elle effectuera $n' = \frac{24}{10,5} = 2,29$ orbites par jour, donc $N' = 90 \times 2,29 = 206,1$ orbites à cette altitude en 90 jours.

Ensuite, sur l'orbite suivante, elle effectuera $n = \frac{24}{2,77} = 8,7$ orbites par jour, donc $N = 102 \times 8,7 = 887,4$ orbites au total sur la durée de 102 jours.

On peut donc estimer que la sonde fera, au total, $\sum N = 887,4 + 206,1 = \underline{1093,5}$ orbites lors de ces deux phases.

Si on considère aussi les 30 premiers et 30 derniers jours, on peut considérer bien volontiers que le magazine *Science&Vie* donne une estimation sous-évaluée, mais néanmoins du bon ordre de grandeur, du nombre d'orbites de la sonde.

2. Communication avec la Terre

Q8. Les ondes radio, qui peuvent se propager dans le vide entre Ganymède et la Terre, sont nécessairement des ondes électromagnétiques.

Q9. On a, pour une onde électromagnétique en propagation rectiligne aller-retour entre Jupiter et la Terre :

$$\boxed{\Delta t \leq \frac{D_{J\to T}}{c}} = \frac{2 \times 9,3 \times 10^{11}}{3,0 \times 10^8} = \underline{6200\,\mathrm{s} = 1\,\mathrm{h}43\,\mathrm{min}}$$

Ce qui est très proche de la valeur annoncée.

Exercice 3 — Couverture de survie ou couverture en laine ?

Q1. Les transferts thermiques peuvent se faire par conduction, conducto-convection, et rayonnement. N'étant pas en contact physique direct avec une source de chaleur, les satellites ont avant tout besoin d'être protégés des transferts par rayonnement (venant du soleil).

Q2. Par analyse dimensionnelle, on a :

$$[\mathrm{u}] = [\mathrm{W}]\theta^{-1}L^{-2} \quad ; \quad [\lambda] = [\mathrm{W}]\theta^{-1}L^{-1} \quad ; \quad [\mathrm{e}] = L$$

Il vient alors très logiquement, à un facteur adimensionnel supposé unitaire près :

$$\boxed{\lambda = ue}$$

Q3. Il vient donc, de cette relation, $\lambda_1 = 408 \times 38 \times 10^{-6} = \underline{1,5 \times 10^{-2}\,\mathrm{W} \cdot \mathrm{K}^{-1} \cdot \mathrm{m}^{-1}}$ pour la couverture de survie, et $\lambda_2 = 38 \times 0,50 \times 10^{-3} = \underline{1,9 \times 10^{-2}\,\mathrm{W} \cdot \mathrm{K}^{-1} \cdot \mathrm{m}^{-1}}$ pour la couverture en laine. Ces valeurs sont très proches, on comprend donc que la couverture de survie n'est pas meilleure qu'une couverture en laine pour réduire les transferts par conduction.

Q4. La lampe étudiée émet le plus de rayonnement dans l'infrarouge, elle est donc appropriée pour étudier le rayonnement humain à travers les couvertures

Q5. Le système est incompressible, donc par définition même,

$$\boxed{\Delta U = C_v \Delta T = mc\Delta t}$$

Mais on peut également le vérifier par analyse dimensionnelle évidente.

Q6. On a le flux thermique en fonction de la chaleur Q :

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

Or, on sait que $\Delta U = W + Q$. Le système étant isolé, on a un échange nul avec le milieu extérieur donc $W = 0$, et il vient alors :

$$\phi = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{mc\Delta T}{\Delta t} \implies \boxed{\phi = mc\frac{\Delta T}{\Delta t}}$$

Q7. On a alors, en exploitant les courbes expérimentales :

$$\phi_1 = 72,4 \times 10^{-3} \times 2008 \times 4,43 \times 10^{-3} = \underline{6,4 \times 10^{-1}\,\mathrm{J} \cdot \mathrm{s}^{-1}}$$

pour la couverture de survie, et

$$\phi_2 = 72,4 \times 10^{-3} \times 2008 \times 12,5 \times 10^{-3} = \underline{1,8\,\mathrm{J} \cdot \mathrm{s}^{-1}}$$

pour la couverture en laine.

La couverture de survie est donc presque trois fois plus efficace que la couverture en laine pour réduire la perte de chaleur par rayonnement du corps humain.

* *
*

Proposé par T. Prévost (thomas.prevost@protonmail.com),
pour le site https://www.sujetdebac.fr/
Compilé le 16 juin 2024.