TS1 – jeudi 26 novembre 2009 – 50 min

Exercice n° 1 (10 points)

Valeurs de conductivités molaires ioniques à 25 °C :
$\lambda_{H_3O^+} = 35{,}0.10^{-3}$ S.m^2.mol^{-1} ;
$\lambda_{F^-} = 5{,}54.10^{-3}$ S.m^2.mol^{-1} .

On mesure la conductivité σ de trois solutions de fluorure d'hydrogène (appelé aussi acide fluorhydrique) de concentrations en soluté apporté, notée c :

c (mol.L^{-1})	$1{,}0.10^{-2}$	$1{,}0.10^{-3}$	$1{,}0.10^{-4}$
σ (mS.cm^{-1})	$9{,}00.10^{-1}$	$2{,}185.10^{-1}$	$3{,}567.10^{-2}$

1) Écrire l'équation de la réaction du fluorure d'hydrogène HF avec l'eau. **(1 pt)**

2) Déterminer la concentration effective des ions H_3O^+ et F^- des trois solutions. En déduire les concentrations effectives en fluorure d'hydrogène HF. **(5 pts)**

   Faire le raisonnement, établir les expressions littérales et poser les calculs, seulement pour la solution 1. Pour les solutions 2 et 3, donner directement les résultats numériques des concentrations.

3) Montrer que la valeur du quotient de réaction final ne dépend pas de la concentration en soluté apporté de la solution. **(2 pts)**

4) D'une façon générale, citez deux points communs entre la constante d'équilibre et le taux d'avancement final d'une réaction chimique. **(2 pts)**

Exercice n° 2 (10 points)

▶ **Données :**

- masse d'un positon : 0,000 55 u ;
- masse d'un noyau ${}_{1}^{1}H$: 1,007 28 u ;
- masse d'un noyau ${}_{1}^{2}H$: 2,013 5 u ;
- masse d'un noyau ${}_{2}^{3}He$: 3,018 4 u ;
- masse d'un noyau ${}_{2}^{4}He$: 4,001 51 u ;
- masse d'un noyau ${}_{6}^{12}C$: 12,000 00 u ;
- $1\ u = 1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg ;
- célérité de la lumière : $c = 3{,}00 \cdot 10^{8}\ m \cdot s^{-1}$.

Le soleil est une boule de gaz incandescents, essentiellement de l'hydrogène et de l'hélium. Il est le siège de réactions de fusion. Actuellement, sa principale source d'énergie est la fusion de l'hydrogène en hélium, suivant la réaction globale : $4\ {}_{1}^{1}H \rightarrow {}_{2}^{4}He + 2\ {}_{1}^{0}e$

1) Rappeler la signification de l'équation d'Einstein $E = m.c^2$ (ne pas oublier de préciser les unités de chaque grandeur). **(1,5 pt)**

2) Quel est le nom de la particule ${}_{1}^{0}e$? **(0,5 pt)**

3) Calculer l'énergie totale qui est libérée dans le Soleil par la réaction $4\ {}_{1}^{1}H \rightarrow {}_{2}^{4}He + 2\ {}_{1}^{0}e$, lorsqu'un noyau d'hélium est produit à partir de noyaux d'hydrogène. **(4 pts)**

4) L'énergie produite est totalement rayonnée. On mesure une puissance $P = 4{,}0.10^{26}$ W rayonnée . Combien de noyaux d'hélium sont créés chaque seconde ? **(2 pts)**

   Rappel : 1 W = 1 J.s^{-1} (la puissance est égale à l'énergie divisée par le temps)

5) a) Rappeler la définition de l'énergie de liaison d'un noyau. **(1 pt)**

   b) Quel est le lien entre l'énergie de liaison d'un noyau et sa stabilité ? **(1 pt)**

TS1 – jeudi 26 novembre 2009 – 50 min – correction

Exercice n° 1

On détermine la conductivité de solutions d'acide fluorhydrique de diverses concentrations en soluté apporté, notées c.

Les résultats sont les suivants :

c ($mol.L^{-1}$)	$1,0.10^{-2}$	$1,0.10^{-3}$	$1,0.10^{-4}$
σ ($mS.cm^{-1}$)	$9,00.10^{-1}$	$2,185.10^{-1}$	$3,567.10^{-2}$

1) L'équation de la réaction du fluorure d'hydrogène HF avec l'eau est la suivante :

   $HF(aq) + H_2O(l) = F^-(aq) + H_3O^+(aq)$

2) Soient $[HF]_f$, $[F^-]_f$ et $[H_3O^+]_f$ les concentrations en fluorure d'hydrogène, ions F^- et ions hydroniums, à l'équilibre.

   Nous avons

   $$\sigma = \lambda_{F^-} \times [F^-]_f + \lambda_{H_3O^+} \times [H_3O^+]_f$$

   D'après l'équation

   $HF(aq) + H_2O(l) = F^-(aq) + H_3O^+(aq)$,

   les concentrations $[F^-]_f$ et $[H_3O^+]_f$ sont égales, car pour chaque mole d'ions F^- créée, une mole d'ions H_3O^+ est créée aussi. Il vient :

   $$\sigma = \lambda_{F^-} \times [H_3O^+]_f + \lambda_{H_3O^+} \times [H_3O^+]_f$$
   $$= (\lambda_{F^-} + \lambda_{H_3O^+}) \times [H_3O^+]_f$$

   C'est-à-dire $[H_3O^+]_f = [F^-]_f = \dfrac{\sigma}{\lambda_{F^-} + \lambda_{H_3O^+}}$

   Comme nous avons $c = [HF]_f + [F^-]_f$, nous en déduisons :

   $$[HF]_f = c - [F^-]_f = c - \frac{\sigma}{\lambda_{F^-} + \lambda_{H_3O^+}}$$

   Solution 1 :

   $$[H_3O^+]_f = [F^-]_f = \frac{9{,}00.10^{-2}}{5{,}54.10^{-3} + 35{,}0.10^{-3}}$$
   $$= 2{,}22\ mol.m^{-3} = 2{,}22.10^{-3}\ mol.L^{-1}$$

   $$[HF]_f = 1{,}0.10^{-2} - \frac{9{,}00.10^{-2}}{5{,}54.10^{-3} + 35{,}0.10^{-3}} \times 10^{-3}$$
   $$= 7{,}8.10^{-3}\ mol.L^{-1}$$

   Solution 2 :

   $$[H_3O^+]_f = [F^-]_f = \frac{2{,}185.10^{-2}}{5{,}54.10^{-3} + 35{,}0.10^{-3}}$$
   $$= 5{,}39.10^{-1}\ mol.m^{-3} = 5{,}39.10^{-4}\ mol.L^{-1}$$

   $$[HF]_f = 1{,}0.10^{-3} - \frac{2{,}185.10^{-2}}{5{,}54.10^{-3} + 35{,}0.10^{-3}} \times 10^{-3}$$
   $$= 4{,}6.10^{-4}\ mol.L^{-1}$$

   Solution 3 :

   $$[H_3O^+]_f = [F^-]_f = \frac{3{,}567.10^{-3}}{5{,}54.10^{-3} + 35{,}0.10^{-3}}$$
   $$= 8{,}80.10^{-2}\ mol.m^{-3} = 8{,}80.10^{-5}\ mol.L^{-1}$$

   $$[HF]_f = 1{,}0.10^{-4} - \frac{3{,}567.10^{-3}}{5{,}54.10^{-3} + 35{,}0.10^{-3}} \times 10^{-3}$$
   $$= 1{,}2.10^{-5}\ mol.L^{-1}$$

3) Calculons le quotient de réaction final

   $$Q_{r,f} = \frac{[F^-]_f \times [H_3O^+]_f}{[HF]_f}.$$

   Solution 1 :

   $$Q_{r,f} = \frac{\left(\dfrac{9{,}00.10^{-2}}{5{,}54.10^{-3} + 35{,}0.10^{-3}} \times 10^{-3}\right)^2}{1{,}0.10^{-2} - \dfrac{9{,}00.10^{-2}}{5{,}54.10^{-3} + 35{,}0.10^{-3}} \times 10^{-3}}$$
   $$= 6{,}3.10^{-4}$$

   Solution 2 :

   $$Q_{r,f} = \frac{\left(\dfrac{2{,}185.10^{-2}}{5{,}54.10^{-3} + 35{,}0.10^{-3}} \times 10^{-3}\right)^2}{1{,}0.10^{-3} - \dfrac{2{,}185.10^{-2}}{5{,}54.10^{-3} + 35{,}0.10^{-3}} \times 10^{-3}}$$
   $$= 6{,}3.10^{-4}$$

   Solution 3 :

   $$Q_{r,f} = \frac{\left(\dfrac{3{,}567.10^{-3}}{5{,}54.10^{-3} + 35{,}0.10^{-3}} \times 10^{-3}\right)^2}{1{,}0.10^{-4} - \dfrac{3{,}567.10^{-3}}{5{,}54.10^{-3} + 35{,}0.10^{-3}} \times 10^{-3}}$$
   $$= 6{,}4.10^{-4}$$

   Les valeurs sont quasiment identiques. La valeur du quotient de réaction final ne semble donc pas dépendre de la concentration en soluté apporté de la solution

4) Voici deux points communs entre la constante d'équilibre et le taux d'avancement final d'une réaction chimique :
   - Plus ils sont grands, plus l'avancement final est grand et se rapproche de l'avancement maximal.
   - Ils dépendent tous deux de la température.

Exercice n° 2

1) Einstein a découvert qu'une masse m (en kg) pouvait être convertie en une énergie E (en J), suivant la relation $E = m.c^2$.Cette formule illustre donc le principe d'équivalence entre masse et énergie.

2) La particule ${}^{0}_{1}e$ est un positon (ou positron).

3)

Pour calculer l'énergie totale libérée lors de la formation d'un noyau d'hélium 4, nous devons évaluer la variation de masse Δm du système :

$$\Delta m = 2\,m({}^{0}_{1}\text{e}) + m({}^{4}_{2}\text{He}) - 4\,m({}^{1}_{1}\text{H})\,,$$

soit, avec :

$m({}^{0}_{1}\text{e}) = 0{,}000\ 55\ \text{u}$, $m({}^{4}_{2}\text{He}) = 4{,}001\ 51\ \text{u}$ et $m({}^{1}_{1}\text{H}) = 1{,}007\ 28\ \text{u}$,

nous obtenons :

$$\Delta m = -\,2{,}651 \cdot 10^{-2}\ \text{u}\,.$$

Cette perte de masse $(\Delta m < 0)$ est à l'origine de l'énergie libérée par la réaction de fusion compte tenu de l'équivalence masse-énergie postulée par Einstein, selon : $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$.

Donc, numériquement, avec :

$$\text{u} = 1{,}66 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} \quad \text{et} \quad c = 3{,}00 \cdot 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}\,,$$

nous obtenons :

$$\Delta E = -\,3{,}96 \cdot 10^{-12}\ \text{J}\,.$$

La valeur obtenue est négative ce qui traduit le fait que l'énergie est libérée par le système.

Finalement, l'énergie libérée $E_{\text{libérée}}$ lors de la formation d'un noyau d'hélium vaut :

$$\boxed{E_{\text{libérée}} = |\Delta E| = 3{,}96 \cdot 10^{-12}\ \text{J} > 0}$$

4)

Sachant que la puissance rayonnée est $P = 4{,}0 \cdot 10^{26}\ \text{W}$, nous calculons l'énergie produite E_{P} pendant un intervalle de temps $\Delta t = 1\ \text{s}$:

$$E_{\text{P}} = P\Delta t\text{, soit } E_{\text{P}} = 4{,}0 \cdot 10^{26}\ \text{J}\,.$$

Cette énergie produite chaque seconde est due à la réaction de fusion de l'hydrogène qui libère une énergie $E_{\text{libérée}}$ à chaque fois qu'un noyau d'hélium 4 est créé. Nous en déduisons alors le nombre $N({}^{4}_{2}\text{He})$ de noyaux formés chaque seconde :

$$N({}^{4}_{2}\text{He}) = \frac{E_{\text{P}}}{E_{\text{libérée}}}$$

soit avec $E_{\text{libérée}} = 3{,}96 \cdot 10^{-12}\ \text{J}$, nous obtenons :

$$\boxed{N({}^{4}_{2}\text{He}) = 1{,}0 \cdot 10^{38}\ \text{noyaux}}$$

5) a) L'énergie de liaison d'un noyau est l'énergie à fournir pour « casser » ce noyau et obtenir ses nucléons complètement séparés.

b) Plus l'énergie de liaison d'un noyau est grande, plus il est stable. Cependant, pour comparer la stabilité des noyaux entre eux, on préfèrera utiliser l'énergie de liaison ***par nucléon*** de ces noyaux.