

DEVOIR SURVEILLE DE SCIENCES PHYSIQUES

TS2 & TS4

EXERCICE I (physique): MÉCANISME DE FUSION DE L'HYDROGÈNE DANS UNE ÉTOILE (5 pts)

LES ELEVES AYANT CHOISI L'ENSEIGNEMENT DE SPECIALITE NE TRAITERONT PAS CET EXERCICE MAIS L'EXERCICE IV.

On se propose de commenter un extrait d'article du dossier hors série de la revue « Pour la science » de janvier 2001.

« ...La phase de **fusion** (ou combustion) de l'hydrogène est la plus longue de la vie des étoiles. Si la masse stellaire est comparable ou inférieure à celle du Soleil, la température centrale est inférieure à une **vingtaine de millions de degrés**. Dans ces conditions, la fusion de **deux noyaux d'hydrogène** (ou protons) produit un **noyau de Deutérium** qui capture un autre proton et forme un **noyau d'Hélium 3** ... Finalement, **deux noyaux d'Hélium 3** fusionnent en un **noyau d'Hélium 4** ...L'ensemble de ces réactions constitue la première des chaînes proton - proton ou chaîne p-p, la plus importante dans le cas du Soleil ...».

NB : les 3 parties de l'exercice sont indépendantes et peuvent donc être traitées indépendamment les unes des autres.

A - QUELQUES CONSIDERATIONS DE VOCABULAIRE

A-1 Donner une définition rapide des mots « fusion nucléaire » et « fission nucléaire ».

A-2 En considérant les charges des noyaux en cause dans le mécanisme de fusion, expliquer pourquoi ces réactions ne peuvent se produire qu'à très haute température ($2,1.10^7$ °C). On parle alors de fusion thermonucléaire...

B - ETUDE DE LA CHAÎNE DE REACTIONS

Notations utilisées pour les noyaux concernés :

Hydrogène (ou proton) : ${}^1_1\text{H}$ (ou ${}^1_1\text{p}$) Deutérium : ${}^2_1\text{H}$ Hélium 3 : ${}^3_2\text{He}$ Hélium 4 : ${}^4_2\text{He}$

B-1 Écrire la réaction de fusion de deux noyaux d'hydrogène en un noyau de deutérium et une particule que l'on notera sous la forme ${}^A_Z\text{X}$. Comment s'appelle cette particule ?

B-2 Écrire la réaction de fusion d'un noyau de deutérium et d'un proton en un noyau d'hélium 3.

Cette fusion s'accompagne de l'émission d'un photon. Comment peut-on interpréter cette émission ?

B-3 Écrire la réaction de fusion de deux noyaux d'hélium 3 en un noyau d'hélium 4. Cette fusion s'accompagne de l'émission de deux autres noyaux identiques. Lesquels ?

B-4 Écrire la réaction bilan des trois réactions de fusion précédentes, qui, à partir de noyaux d'hydrogène, permet d'obtenir un noyau d'hélium 4.

C - CONSIDERATIONS ENERGETIQUES. LE SOLEIL "MAIGRIT-IL" ?

On considère désormais la réaction suivante : $4 {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2 {}^0_1\text{e} + 2 \gamma$

On donne les masses des noyaux, en unité de masse atomique :

${}^1_1\text{H}$: 1,0073 u ${}^4_2\text{He}$: 4,0026 u ${}^0_1\text{e}$: 0,0006 u

C-1 Calculer la perte de masse correspondant à cette fusion.

C-2 En déduire une estimation, en MeV, de la valeur de l'énergie libérée par nucléon lors de cette fusion.

On choisira, parmi les estimations suivantes, la réponse correcte :

0,6 MeV 6 MeV 60 MeV

C-3. Le soleil transforme, chaque seconde, 720 millions de tonnes d'hydrogène en hélium 4.

Estimer la perte de masse subie, chaque seconde, par le soleil.

On choisira, parmi les estimations suivantes, la réponse correcte :

4 500 tonnes

45 000 tonnes

450 000 tonnes

4 500 000 tonnes

Données :

1 MeV correspond à $1,6 \cdot 10^{-13} \text{J}$.

1 u correspond à une énergie de 935 MeV ($\approx 1000 \text{ MeV}$)

EXERCICE II (physique): **LES APPLICATIONS TECHNOLOGIQUES DE LA RADIOACTIVITÉ (8 points)**

"Au cours du XX^e siècle, d'énormes progrès ont été réalisés en médecine grâce à la radioactivité. La technique consiste à introduire dans l'organisme des substances radioactives appelées traceurs pour diagnostiquer (identifier la maladie) et soigner. Par exemple, on sait que les phosphonates entrent dans le métabolisme¹ osseux; si on injecte du phosphonate radiomarqué au "technétium 99", celui-ci se comporte comme un traceur. Il participe au métabolisme de la même façon que le phosphonate naturel auquel il est mélangé et se répartit sur le squelette. Le rayonnement gamma émis traverse les tissus et peut donc être détecté à l'extérieur de l'organisme par une gamma caméra. Cette caméra permet d'obtenir des informations sous forme d'une image appelée la scintigraphie. Celle-ci pourra apporter des renseignements fonctionnels comme, par exemple, le degré de consolidation d'une fracture.

D'autres traceurs sont utilisés; citons: l' "iode 131"; le "carbone 11"; l' "azote 13"; l' "oxygène 15". Ils sont choisis parce que leur activité décroît rapidement.

La radioactivité est utilisée dans le traitement des tumeurs et des cancers: c'est la radiothérapie. Le principe consiste à bombarder une tumeur avec le rayonnement β^- émis par le "cobalt 60".

Dans certains cas, il faut une source radioactive plus ionisante: on utilise un rayonnement de type alpha, plus massif que les autres.

La découverte de la radioactivité a donné aux sciences, à la médecine et à l'industrie un élan qui, après un siècle, ne s'est pas ralenti."

¹ Le métabolisme représente l'ensemble des transformations physiques et chimiques dans les tissus vivants.

D'après des textes d'un site internet

1. QUESTIONS PREALABLES

1.1. Par quels nombres caractérise-t-on le noyau d'un atome?

1.2. Le "carbone 11" et le "carbone 12" sont deux isotopes. Qu'est-ce qui différencie les isotopes d'un même élément chimique?

1.3. L'"oxygène 15" est radioactif β^+ . Ecrire l'équation de la désintégration correspondante. On supposera que le noyau fils n'est pas émis dans un état excité.

Extrait de la classification périodique:

${}_6\text{C}$	${}_7\text{N}$	${}_8\text{O}$	${}_9\text{F}$	${}_{10}\text{Ne}$	${}_{11}\text{Na}$
----------------	----------------	----------------	----------------	--------------------	--------------------

2. A PROPOS DU TEXTE

2.1. Dans le texte on parle de traceurs, quelle propriété commune présentent-ils?

2.2. Le texte donne une particularité des radioéléments utilisables en scintigraphie, laquelle?

2.3. Quelques types de rayonnement

2.3.1. Dans le texte, il est question de radioactivité β^- et alpha; donner le nom et le symbole A_ZX de chacune de ces particules.

2.3.2. Justifier à partir de la question précédente la phrase "un rayonnement de type alpha plus massif que les autres".

3. SCINTIGRAPHIE

On injecte à un patient un échantillon d' "iode 131" de temps de demi-vie égal à 8 jours environ.

3.1. Donner la définition du temps de demi-vie.

3.2. En vous aidant du tableau ci-dessous, justifier le choix de l' "iode 131" en scintigraphie.

	Activité A_0 en Bq au moment de l' injection	Activité A_{400} en Bq 400 jours après l' injection.
Traceur de demi-vie égale à 8 jours (Iode 131)	2×10^5	6×10^{-3}
Traceur de demi-vie égale à 80 jours	2×10^5	6 255

4. Radiothérapie

Le cobalt ${}^{60}_{27}\text{Co}$ est émetteur β^- de constante radioactive $\lambda = 4 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$.

4.1. Écrire l' équation de désintégration du "cobalt 60". On supposera que le noyau fils est produit dans un état excité.

Données:

Extrait de la classification périodique:

${}_{25}\text{Mn}$	${}_{26}\text{Fe}$	${}_{27}\text{Co}$	${}_{28}\text{Ni}$	${}_{29}\text{Cu}$
--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Constante d' Avogadro: $6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Masse molaire atomique du cobalt 60 : $60 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

4.2. Un centre hospitalier reçoit un échantillon de "cobalt 60".

4.2.1. Déterminer le nombre N_0 de noyaux contenus dans l' échantillon de $1 \mu\text{g}$ à l' instade sa réception dans l' établissement hospitalier.

4.2.2. Rappeler l' expression liant ΔN , Δt , λ et N dans laquelle N représente le nombre de noyaux encore présents dans l' échantillon à l' instant de date t .

4.2.3. Donner l' expression de ΔN en fonction de Δt , λ , N_0 et t .

Le technicien du laboratoire est chargé de contrôler cette source, tous les ans. A l' aide d' un compteur, il détermine le nombre de désintégrations ΔN obtenues pendant une courte durée notée $\Delta t = 1 \text{ s}$.

Ce nombre est appelé activité A définie par $\frac{|\Delta N|}{\Delta t}$. L' activité peut se mettre sous la forme $A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$.

4.2.4. Que vaut littéralement A_0 ?

4.2.5. On trace à l' aide d' un logiciel approprié le graphe du logarithme de l' activité en fonction du temps: $\ln A = f(t)$ (Courbe 1 de l'annexe tronc commun)

Rappel: $\ln(ab) = \ln a + \ln b$

Exprimer $\ln A$ en fonction de t , λ et A_0 , activité initiale de l' échantillon à l' instant de sa réception.

4.2.6. Montrer que la forme de la courbe ci-dessus constitue une vérification expérimentale de l'expression trouvée précédemment.

4.2.7. Déterminer graphiquement la valeur de la constante de désintégration radioactive λ en an^{-1} .

4.2.8. Donner la relation entre $t_{1/2}$ et λ .

4.2.9. Calculer $t_{1/2}$ en années. Dans les tables on trouve $t_{1/2} = 1,68 \times 10^8$ s pour le "cobalt 60". Commenter.

EXERCICE III (chimie) : DÉTERMINATION D'UNE CONSTANTE D'ÉQUILIBRE PAR DEUX MÉTHODES (7 points)

1. LA TRANSFORMATION CHIMIQUE ÉTUDIÉE

L'acide éthanoïque $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$, également appelé acide acétique, réagit de façon limitée avec l'eau selon l'équation chimique : $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} = \text{CH}_3\text{CO}_2^-_{(aq)} + \text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}$

1.1. Donner la définition d'un acide

1.2. Dans l'équation ci-dessus, identifier puis écrire les deux couples acide/base mis en jeu.

1.3. Exprimer la constante d'équilibre K associée à l'équation de cet équilibre chimique.

2. ÉTUDE pH-MÉTRIQUE

Une solution d'acide éthanoïque, de concentration molaire initiale $c_i = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ et de volume $V_i = 100 \text{ mL}$ a un pH de 3,70 à 25°C .

2.1. Déterminer la quantité de matière initiale d'acide éthanoïque n_i .

2.2. Compléter le tableau d'avancement joint en annexe tronç commun (à rendre avec la copie) en fonction de n_i , x_{max} ou x_f . Exprimer puis calculer l'avancement maximal théorique noté x_{max} . Justifier la réponse.

2.3. Dédurre, de la mesure du pH , la concentration molaire finale en ions oxonium de la solution d'acide éthanoïque.

Exprimer puis calculer l'avancement final expérimental de la réaction noté x_f

2.4. Donner l'expression littérale du taux d'avancement final de la réaction. Vérifier, en posant l'opération, que τ_i est égal à $7,4 \cdot 10^{-2}$.

La transformation étudiée est-elle totale ? Justifier la réponse.

2.5.1. Exprimer puis calculer la concentration molaire finale en ions éthanoate $\text{CH}_3\text{CO}_2^-_{(aq)}$.

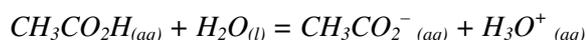
2.5.2. Exprimer la concentration molaire finale effective de l'acide éthanoïque $[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}]_f$. Calculer sa valeur.

2.6. Vérifier, en posant l'opération, que la valeur de la constante d'équilibre K associée à l'équation de cet équilibre chimique est égale à $1,6 \cdot 10^{-5}$.

3. ÉTUDE CONDUCTIMÉTRIQUE

On mesure ensuite, à 25°C , la conductivité d'une solution d'acide éthanoïque de concentration $c_i = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$. Le conductimètre indique : $\sigma = 5,00 \cdot 10^{-2} \text{ S.m}^{-1}$.

On rappelle l'équation de la réaction entre l'acide éthanoïque et l'eau :



3.1. On néglige toute autre réaction chimique. Citer les espèces ioniques majoritaires présentes dans cette solution.

Donner la relation liant leur concentration molaire.

3.2. Donner l'expression littérale de la conductivité σ de la solution en fonction des concentrations molaires finales en ions oxonium et en ions éthanoate.

3.3. Donner l' expression littérale permettant d' obtenir les concentrations molaires finales ioniques en fonction de $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+}$, $\lambda_{\text{CH}_3\text{CO}_2^-}$.

Déterminer la valeur de la concentration molaire finale en ions oxonium et éthanoate en mol.m^{-3} , puis en mol.L^{-1} .

Données: $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 35,9.10^{-3} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1}$ $\lambda_{\text{CH}_3\text{CO}_2^-} = 4,10.10^{-3} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1}$.

3.4. L' expérimentateur affirme que dans le cas présent, la solution d' acide éthanoïque est suffisamment concentrée pour pouvoir faire les approximations suivantes:

Approximation 1: la concentration molaire finale en ions éthanoate est négligeable devant la concentration initiale en acide éthanoïque. Ceci se traduit par l' inégalité:

$$[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_f < \frac{c_2}{50}$$

Approximation 2: la concentration molaire finale en acide éthanoïque est quasiment égale à la concentration molaire initiale en acide éthanoïque: $[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}]_f \approx c_2$

3.4.1. Comparer les valeurs de c_2 et $[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_f$ (calculée à la question 3.3.). L' approximation n°1 est-elle justifiée?

3.4.2. En supposant que l' approximation n°2 soit vérifiée, que peut-on dire de la dissociation de l' acide? En déduire si la transformation chimique est totale, limitée ou très limitée. Justifier la réponse.

3.4.3. En tenant compte de l' approximation n°2, vérifier, en posant l' opération, que la valeur de la constante d' équilibre K_2 associée à l' équation de cet équilibre chimique est égale à $1,56.10^{-5}$.

3.4.4. Le taux d' avancement final pour la solution considérée est donné par l' expression:

$$\tau_2 = \frac{[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_f}{c_2}$$

Vérifier, en posant l' opération, que le taux d' avancement final de la réaction est égal à $1,25.10^{-2}$.

4. CONCLUSION: COMPARAISON DES RÉSULTATS OBTENUS

On vient d' étudier deux solutions d' acide éthanoïque de concentrations initiales différentes.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous.

	Concentration molaire initiale d' acide éthanoïque	Constante d' équilibre	Taux d' avancement final
Étude pHmétrique	$c_1 = 2,7.10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$	$K_1 = 1,6.10^{-5}$	$\tau_1 = 7,40.10^{-2}$
Étude conductimétrique	$c_2 = 1,0.10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$	$K_2 \approx 1,6.10^{-5}$	$\tau_2 = 1,25.10^{-2}$

4.1. La constante d' équilibre K dépend-elle de la concentration initiale en acide éthanoïque? Justifier la réponse à partir du tableau.

4.2. Le taux d' avancement final d' une transformation chimique limitée dépend-il de l' état initial du système chimique? Justifier la réponse à partir du tableau.

4.3. Un élève propose les deux affirmations suivantes. Préciser si elles sont justes ou fausses, une justification est attendue.

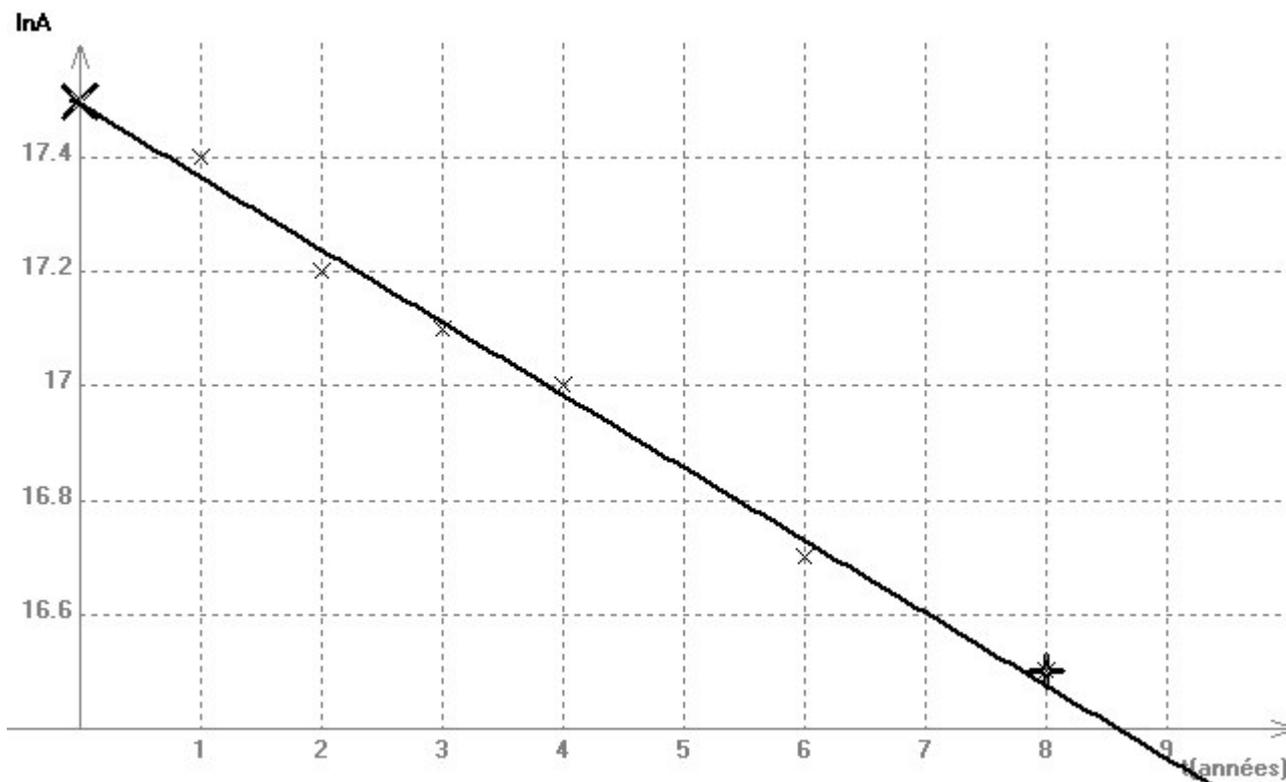
Affirmation 1: Plus l' acide est dissocié et plus le taux d' avancement final est grand.

Affirmation 2: Plus la solution d' acide éthanoïque est diluée, moins l' acide est dissocié.

ANNEXE tronc commun

A rendre avec la copie !

Courbe 1



Tableau

(mol)	Avancement	$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(aq)}$	$+$	$\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	$=$	$\text{CH}_3\text{CO}_2^-_{(aq)}$	$+$	$\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}$
État initial	$x = 0$			en excès				
État final théorique	$x = x_{max}$			en excès				
État final expérimental ou état d'équilibre	$x = x_f$			en excès				