

Exercice 01 : Utilisation du peroxyde d'hydrogène dans un bain de bouche

Le peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée), de formule brute H_2O_2 , fut découvert par le chimiste français Louis Jacques Thenard au début du 19^{ème} siècle. Il est utilisé dans de nombreux produits cosmétiques, dans la composition de bain de bouche pour blanchir les dents, ainsi que dans des produits pour éclaircir les cheveux ou pour blanchir les ongles.

En 2018, trois marques de produit pour blanchir les dents ont été retirées des magasins en Europe à cause d'une concentration trop élevée en peroxyde d'hydrogène. Une exposition à une trop grande concentration en peroxyde d'hydrogène peut provoquer d'une part une irritation de la bouche et d'autre part une sensibilité accrue des dents aux variations de température.

Des normes ont donc été établies pour limiter la concentration de peroxyde d'hydrogène dans les produits bucco dentaires vendus dans le commerce. Ces normes dépendent du pays de vente.

Nous allons étudier la composition d'un bain de bouche vendu sur internet qui contient du peroxyde d'hydrogène et ainsi déterminer si ce produit a toute légitimité ou non à être vendu dans le commerce.

Indications sur l'étiquette du bain de bouche étudié :

L'action moussante du peroxyde d'hydrogène vous procurera une bouche très propre.

Ce produit nettoie et rend les dents étincelantes.

Sans parabène, sulfate, phtalate, parfum et conservateur.

Ingrédients : Eau purifiée, peroxyde d'hydrogène, arôme naturel végétal, fluorure de sodium.

Données :

- Formule développée de la molécule de peroxyde d'hydrogène : $H - O - O - H$
- Électronégativité : hydrogène $\chi(H) = 2,2$; oxygène $\chi(O) = 3,2$.
- Numéros atomiques : élément hydrogène H : $Z = 1$; élément oxygène O : $Z = 8$.
- Configuration électronique à l'état fondamental de l'atome d'hydrogène H : $1s^1$ et de l'atome d'oxygène O : $1s^2 2s^2 2p^4$.

Structure et solubilité du peroxyde d'hydrogène

Sur l'étiquette du bain de bouche, nous pouvons remarquer que le peroxyde d'hydrogène se trouve en solution aqueuse.

1. Déterminer les électrons de valence de l'atome d'hydrogène et de l'atome d'oxygène à partir de leur configuration électronique à l'état fondamental.
2. Établir les schémas de Lewis de la molécule d'eau et de la molécule de peroxyde d'hydrogène.
3. Déterminer le caractère polaire de la liaison O-H.
4. Représenter sur un schéma les interactions entre une molécule d'eau et une molécule de peroxyde d'hydrogène. Nommer ces interactions et justifier la miscibilité du peroxyde d'hydrogène dans l'eau.

Détermination de la concentration en peroxyde d'hydrogène

On souhaite déterminer la concentration en peroxyde d'hydrogène de la solution commerciale de bain de bouche vendue sur internet. La solution est incolore. Pour cela nous allons effectuer un titrage avec suivi colorimétrique.

Pour déterminer à la concentration en quantité de matière C_1 en peroxyde d'hydrogène de la solution commerciale de bain de bouche on va étudier la transformation chimique modélisée par la réaction d'oxydoréduction qui prend place entre le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 (aq) et les ions permanganate MnO_4^- (aq).

Il s'agit d'une réaction d'oxydoréduction mettant en jeu les couples $\text{O}_2(\text{g}) / \text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ et MnO_4^- (aq) / $\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$ dont l'équation est la suivante :



Une solution aqueuse contenant des ions permanganate MnO_4^- (aq) est de couleur rose. En revanche, la présence des espèces $\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$ ou H_2O_2 (aq) dans l'eau laissent la solution aqueuse incolore.

5. Écrire les demi-équations électroniques associées aux couples $\text{O}_2(\text{g}) / \text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ et MnO_4^- (aq) / $\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$.
6. Retrouver l'équation de la réaction entre $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ et MnO_4^- (aq), réaction support du titrage.

Dans un erlenmeyer, on verse un volume $V_1 = 5,0$ mL de la solution de bain de bouche de concentration C_1 en quantité de matière de peroxyde d'hydrogène. On y ajoute 50 mL d'eau distillée et 10 mL d'une solution d'acide sulfurique de concentration $1,0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. On verse ensuite, progressivement, une solution de permanganate de potassium de concentration en quantité de matière $C_2 = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. L'équivalence est atteinte pour un volume versé de la solution de permanganate de potassium $V_{2,\text{eq}} = 14,7$ mL.

7. Légèrer le montage du titrage sur le **document réponse en annexe** en indiquant le nom du matériel de laboratoire.

8. Indiquer le nom du réactif limitant avant l'équivalence et celui du réactif limitant après l'équivalence.

9. Indiquer et justifier le changement de couleur de la solution lors de l'équivalence.

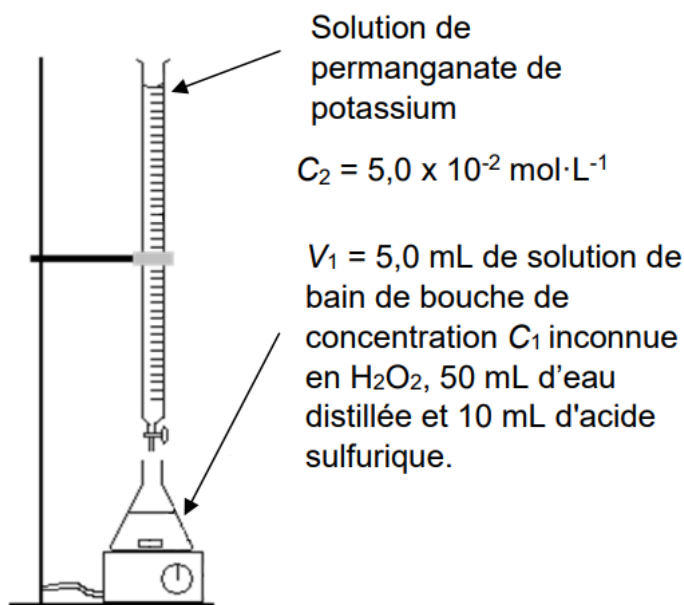


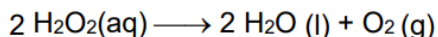
Schéma du montage du titrage

10. Démontrer que la relation à l'équivalence entre les volumes et les concentrations des solutions est : $2 C_1 \times V_1 = 5 C_2 \times V_{2,eq}$.

11. Calculer la valeur de la concentration C_1 en peroxyde d'hydrogène de la solution commerciale de bain de bouche.

Titre en volume de la solution commerciale

Le peroxyde d'hydrogène peut se dismuter (se décomposer) ; cette transformation peut être modélisée par l'équation de la réaction suivante :



C'est pourquoi les concentrations commerciales de peroxyde d'hydrogène sont généralement reliées à une grandeur appelée titre en volume.

En effet, par convention, le titre en volume correspond au volume en litre de dioxygène gazeux que peut dégager un litre de solution aqueuse de peroxyde d'hydrogène lors de sa dismutation. On rappelle que dans les conditions normales de température et de pression le volume molaire du dioxygène $\text{O}_2(\text{g})$ est de $V_m = 22,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Des normes ont été établies pour limiter la concentration de peroxyde d'hydrogène dans les produits vendus dans le commerce. Ces normes dépendent du pays de vente.

Titre maximal autorisé dans les produits cosmétiques (exprimé en volume) :

Type de produit	Titre maximal dans les préparations vendues dans le commerce en Europe	Titre maximal dans les préparations vendues dans le commerce aux États-Unis
Produits pour les cheveux	40 volumes	42 volumes
Produits pour la peau	13,3 volumes	10 volumes
Produits pour durcir les ongles	6,6 volumes	Non renseigné
Produits bucco-dentaires	0,3 volume	15,4 volumes

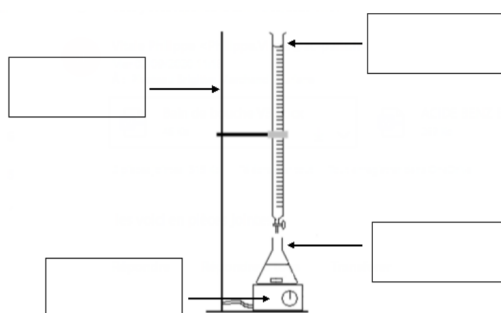
www.cir-safety.org

12. Montrer qu'un litre de solution commerciale de bain de bouche de concentration en peroxyde d'hydrogène $C_1 = 3,7 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ produit, lors de sa dismutation, une quantité de dioxygène O_2 environ égale à $1,9 \times 10^{-1} \text{ mol}$.

13. Déterminer le titre en volume de la solution de bain de bouche. Conclure sur la possibilité de vendre ce bain de bouche en Europe et aux États-Unis.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Document réponse : Partie B - Question 7



Exercice 02 : La physique au service du diagnostic médical

Dans l'antiquité, pour établir un diagnostic médical, seuls l'interrogatoire et un examen externe clinique étaient pratiqués. L'examen clinique du patient malade par le praticien était fondé sur les cinq sens de ce dernier. Aucun examen chimique, physique et biologique n'était, à cette époque, envisagé.

À notre époque, la médecine possède aussi un arsenal de moyens techniques permettant de « voir » à l'intérieur du corps du patient. Échographie, radiographie, scanner ou imagerie par résonance magnétique sont devenus des outils d'investigation médicale incontournables, qui reposent sur des principes de physique. Depuis le début de l'épidémie de la COVID 19, le scanner des poumons (examen à rayons X) est indiqué comme l'examen de choix afin d'évaluer la gravité des patients atteints, et, si nécessaire, affecter le malade au service de réanimation.

L'objectif de cet exercice est d'étudier la production des rayons X.

Document 1 : Découverte des rayons X

Les rayons X sont découverts en 1895 par le physicien allemand Wilhelm Röntgen qui reçoit alors le premier prix Nobel de physique en 1901. Ces rayons sont des ondes électromagnétiques, comme le visible, mais leur longueur d'onde est plus petite. Les énergies des photons X sont comprises approximativement entre 120 eV et 120 keV.

Document 2 : Production de rayons X

Les rayons X sont produits dans des tubes à rayons X également appelés tubes de Coolidge (figure 1).

Le principe est le suivant :

- **Des électrons émis par une cathode** (un filament, le plus souvent en tungstène, chauffé par le passage d'un courant électrique) soumis à une tension électrique élevée (de 10 à 150 kV) qui les accélère en direction d'une cible constituée d'une anode en métal (en tungstène également). L'énergie des électrons est transférée à la cible lors de l'impact.
- **Les rayons X sont émis par la cible** selon deux mécanismes :
 - le freinage des électrons par les atomes de la cible crée un rayonnement continu (rayonnement de freinage ou Bremsstrahlung) dont une partie dans le domaine des rayons X ;
 - les électrons accélérés peuvent acquérir une énergie cinétique suffisante pour perturber les couches électroniques internes des atomes de la cible, qui vont alors émettre des rayons X.

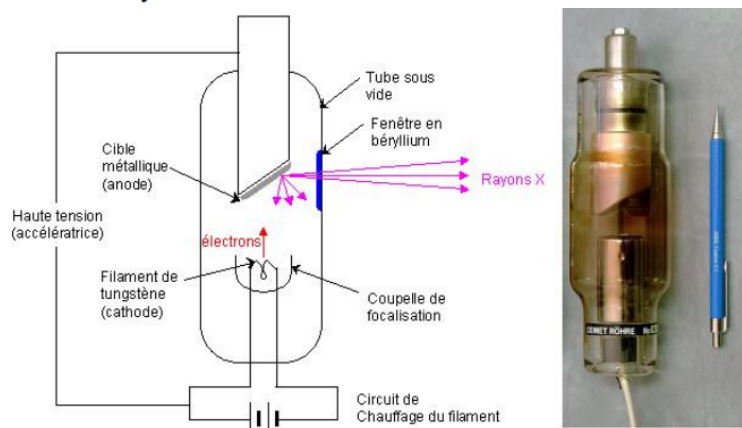


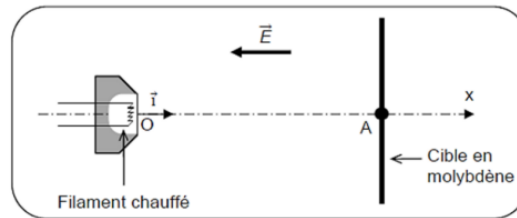
Figure 1 : Tube à rayons X

William David Coolidge, physicien américain, invente le tube qui porte son nom en 1913. Les tubes actuels sont des améliorations du modèle original de Coolidge.

D'après le site <http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr>

1. Le processus d'accélération des électrons

La figure 2 ci-dessous reprend de manière simplifiée le principe du tube de Coolidge.



Dans le dispositif du tube de Coolidge, des électrons émis par un filament chauffé par effet Joule, sont accélérés fortement sous l'effet d'un champ électrique uniforme \vec{E} . Ce champ est créé par une tension électrique U élevée.

Données :

- charge électrique élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- charge électrique d'un électron : $q = -e$;
- masse de l'électron : $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$;
- entre le filament et la cible, séparés d'une distance $OA = L$, règne un champ électrique supposé uniforme \vec{E} dont la norme est donnée par la relation : $E = \frac{U}{L}$;
- $U = 100 \text{ kV}$;
- la valeur de la vitesse de la lumière c dans le vide est supposée connue du candidat.

Le système étudié est un électron. L'électron est émis au point O avec une vitesse nulle à $t = 0 \text{ s}$. Il arrive au point A avec une vitesse V_A . On considère qu'il n'est soumis qu'à la force électrique \vec{F}_e . On propose d'évaluer la vitesse atteinte par les électrons lorsqu'ils arrivent sur la cible en molybdène.

1.1 Donner l'expression vectorielle de la force électrique \vec{F}_e subie par un électron. Comparer la direction et le sens de la force électrique \vec{F}_e à ceux du champ électrique \vec{E} . Dessiner le vecteur \vec{F}_e sur l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

1.2 Donner l'expression du travail de la force électrique, en fonction de e et U , au cours du déplacement OA. Puis calculer la valeur de ce travail.

1.3.1 Montrer que l'expression de la vitesse de l'électron lorsqu'il arrive au point A est :

$$V_A = \sqrt{\frac{2e.U}{m_e}}$$

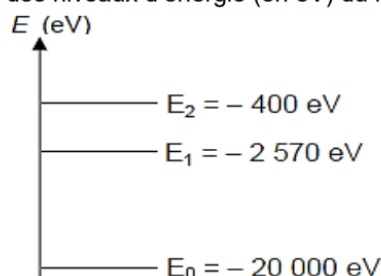
1.3.2 Calculer la vitesse V_A de l'électron dans le cas où la tension électrique U appliquée entre le filament et la cible vaut 100 kV. Commenter le résultat obtenu.

2. L'émission de rayons X

Si l'électron libérée par le filament a une énergie suffisante lorsqu'il arrive à la cible en molybdène (métal de symbole Mo), certains atomes de molybdène de cette plaque sont alors excités puis regagnent leur état fondamental tout en libérant un photon associé à un rayonnement X.

Données :

- constante de Planck : $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$;
- $1 \text{ pm} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ m}$;
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$;
- la valeur de la vitesse de la lumière c dans le vide est supposée connue du candidat ;
- le noyau de l'atome de rhodium a pour symbole : ${}_{42}^{96}\text{Mo}$;
- diagramme simplifié des niveaux d'énergie (en eV) du molybdène :



2.1. Spectre électromagnétique

2.1.1 Les rayons X font partie des ondes électromagnétiques. En vous aidant du document 1 et des données, montrer que la fréquence maximale ν des rayons X produits dans le tube vaut environ $3 \cdot 10^{19}$ Hz.

2.1.2 En déduire la longueur d'onde λ correspondant à ces rayons X, en pm.

2.1.3.a Compléter l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, en attribuant à chaque domaine le type de rayonnement correspondant : visible, ultra-violet, infrarouge, rayonnement X et rayonnement gamma.

2.1.3.b Associer à chaque domaine d'application (« radiographie », « optique visible », « télécommande » et « wifi ») un domaine spectral.

2.2. Transition énergétique de l'atome de molybdène et émission de rayon X

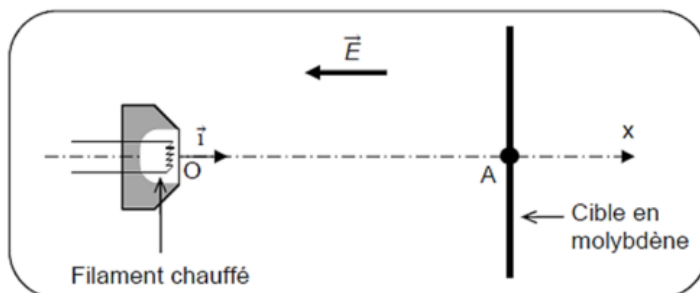
2.2.1. Donner la composition du noyau de l'atome de molybdène.

2.2.2. Reproduire sur votre copie le diagramme simplifié des niveaux d'énergie du molybdène et y représenter par des flèches toutes les transitions énergétiques au sein de l'atome pouvant s'accompagner de l'émission d'un photon associé à un rayonnement.

2.2.3. L'énergie d'un photon libéré lors d'une de ces transitions est $E_\beta = 2,78 \cdot 10^{-15}$ J. Identifier cette transition parmi celles proposées précédemment. Justifier.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Question 1.1 de la partie B



Question 2.1.3.a de la partie B

Spectre électromagnétique (échelle non respectée et limites approximatives)

