

Devoir Surveillé n° 3

L'atome d'hydrogène

Durée : 3h00

A. Modèle de Bohr de l'atome d'hydrogène

« Le modèle de Bohr est une théorie physique semi-classique, établie sur le modèle planétaire de Rutherford, cherchant à comprendre la constitution d'un atome. Cette théorie a été élaborée par Niels Bohr en 1913, il a reçu le prix Nobel en 1922.

D'après ce modèle, les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène ne dépendent que du **nombre quantique principal n** et sont donnés par la relation : $E_n = \frac{-13.6}{n^2}$ (en eV). »

- 1) Rappeler succinctement en quoi consiste le modèle de Bohr d'un atome.
- 2) A quel domaine appartient n ?
- 3) Comment nomme-t-on le niveau de plus basse énergie E_1 ?
- 4) Calculer les valeurs des 4 premiers niveaux d'énergie. Les représenter, sans échelle, sur un diagramme.
- 5) Etablir l'expression littérale de la longueur d'onde des radiations émises lorsque l'atome d'hydrogène passe de l'état excité d'énergie E_n à un autre état d'énergie E_m inférieur (n et m sont 2 valeurs différents du nombre quantique principal telles que $n > m$).
- 6) Un atome d'hydrogène, initialement dans son état de plus basse énergie, absorbe un photon de fréquence $\nu = 2,92 \times 10^{15}$ Hz.
 - a) Déterminer, en eV, la valeur ΔE de la variation d'énergie correspondante.
 - b) En déduire la valeur du nombre n qui caractérise le niveau dans lequel se trouve l'atome après l'absorption du photon.
 - c) Cet atome va ensuite se désexciter, spontanément, en deux étapes.
 - Sur le diagramme de la question 2, représenter par des flèches les différentes transitions.
 - Calculer les longueurs d'onde dans le vide des photons correspondants.
 - Décrire sommairement l'aspect du spectre d'émission obtenu.
- 7) L'atome d'hydrogène, dans son état de plus basse énergie, reçoit un photon d'énergie de 5 eV. Que se passe-t-il ? Justifier.
- 8) Ionisation de l'atome d'hydrogène.
 - a) Que signifie «état ionisé » ? Dans cet état, donner la formule de l'espèce chimique obtenue.
 - b) Quelle énergie minimale faut-il fournir à l'atome d'hydrogène pour le ioniser ?
 - c) Déterminer la longueur d'onde maximale du photon que doit absorber un atome d'hydrogène se trouvant initialement au niveau d'énergie E_1 pour être ionisé.
 - d) L'atome d'hydrogène, dans son état E_1 , absorbe 1 photon de longueur d'onde $\lambda = 85$ nm. Montrer que l'électron est arraché. Calculer son énergie cinétique.

Données :

Constante de Planck : $h = 6,62 \times 10^{-34}$ J.s

Célérité de la lumière : $c = 3,00 \times 10^8$ m.s⁻¹

1,0 eV = $1,6 \times 10^{-19}$ J

Cette théorie ne s'est révélée satisfaisante que pour l'atome d'hydrogène et les atomes hydrogénoïdes (atomes ne possédant qu'un seul électron).

Même modifiée par Sommerfeld pour tenir compte des orbites elliptiques, elle ne survivra pas à la révolution de la mécanique quantique en 1926.

B. Le modèle quantique

« Le modèle quantique introduit 4 nombres quantiques (n, l, m_l, m_s) permettant de décrire l'état d'un électron au sein d'un atome. »

- 1) Nommer et décrire succinctement ces nombres quantiques.
- 2) On propose les quadruplets (n, l, m_l, m_s) suivant. Lesquels peuvent décrire un électron appartenant à un atome quelconque ? Justifier.
 $(2, 1, 2, -1/2)$ $(3, 3, 0, 1/2)$ $(2, 1, -1, 1/2)$ $(3, 2, 0, 3/2)$
- 3) Nommer et énoncer la règle permettant de classer les niveaux d'énergies d'un atome quelconque.
- 4) On étudie une sous-couche de type nf . Quelle est la valeur minimale de n ? Combien d'électron peut-on mettre dans une telle sous-couche ? Justifier.
- 5) Donner la configuration électronique de l'hydrogène.
- 6) Comment appelle-t-on les autres éléments appartenant à la colonne de l'hydrogène ? Donner un exemple. Quelle type de couche de valence possèdent-ils ? En déduire le type d'ion que ces éléments peuvent former.
- 7) Le cuivre ${}_{29}\text{Cu}$ possède une couche de valence du type $4s^1 3d^{10}$.
 - a) Expliquer en quoi le cuivre constitue une « exception ». Comment peut-on le justifier ?
 - b) Quelle est sa place dans la classification périodique ?
 - c) Le cuivre possède 2 isotopes naturels : ${}^{63}\text{Cu}$ et ${}^{65}\text{Cu}$. Donner la composition de chaque isotope. Donner leurs proportions respectives. Masse molaire du cuivre : $63,55 \text{ g. mol}^{-1}$

C. Stockage métallique de l'hydrogène

« L'hydrogène permet d'alimenter des piles à combustible dihydrogène-dioxygène qui produisent de l'électricité au moyen d'une réaction électrochimique avec l'air, sans émission de gaz à effet de serre. L'hydrogène pourrait être utilisé pour faire fonctionner un moteur thermique, avec une pollution réduite.

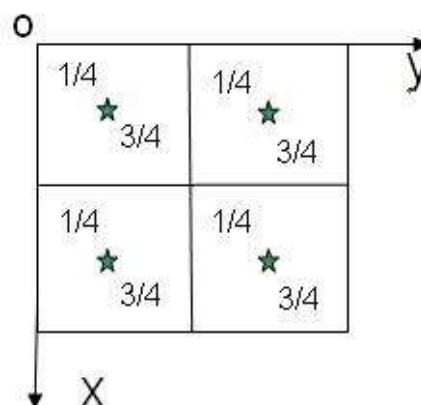
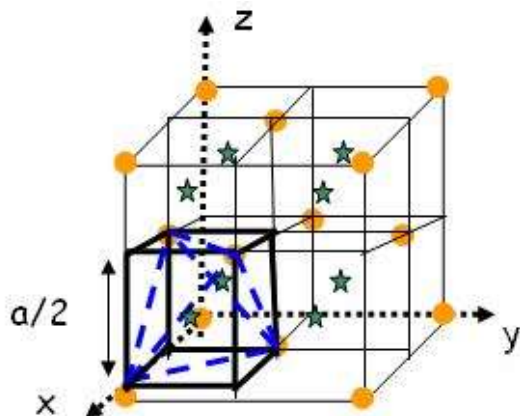
La synthèse, le stockage et l'approvisionnement en dihydrogène sont une partie du défi à relever car sur Terre, l'hydrogène n'existe en grande quantité que combiné à l'oxygène (H_2O , c'est-à-dire l'eau), au soufre (sulfure d'hydrogène, H_2S) et au carbone.

Actuellement produit à partir d'hydrocarbures, l'hydrogène pourrait être produit à partir du nucléaire ou des énergies renouvelables. Néanmoins, le développement d'une véritable « économie de l'hydrogène » repose sur la mise au point d'un mode de stockage efficace et sûr.

Les solutions actuelles (gaz à très haute pression ou liquide cryogénique) posent des problèmes de sécurité, d'encombrement (densité volumique très faible) et de coût énergétique. Grâce à sa petite taille, on peut stocker l'hydrogène dans « des éponges métalliques », sous forme d'un hydrure métallique. On peut par exemple utiliser un cristal d'hydrure de titane. »

- 1) Donner la formule de Lewis de la molécule d'eau. Pourquoi la molécule de sulfure d'hydrogène H_2S présente une structure de Lewis de même type ? $Z(\text{O}) = 8, Z(\text{S}) = 16$
- 2) Donner la structure de Lewis des gaz à effets de serre suivants : $\text{CH}_4, \text{CF}_4, \text{CO}_2, \text{O}_3, \text{N}_2\text{O}$ (1 atome d'azote est central). $Z(\text{C}) = 6, Z(\text{N}) = 7, Z(\text{F}) = 9$.
- 3) Le numéro atomique du titane est 22. Établir sa configuration électronique.
- 4) Donner sa place dans la classification périodique. Justifier.
- 5) L'élément Hafnium Hf se situe dans la même colonne que l'élément titane mais dans la 6^{ème} période. En déduire son numéro atomique et sa configuration électronique.

- 6) Au-dessus de 880°C environ, le titane métallique cristallise dans le système cubique centré, noté $\text{Ti } \beta$.
- Représenter la maille de la structure du titane beta $\text{Ti } \beta$.
 - Combien cette maille comporte-t-elle, en propre, d'atomes de Titane ?
 - Quels sont les atomes en contact ? Donner la condition de tangence.
 - Quelle est la coordinence d'une telle structure.
 - Calculer la compacité de cette structure.
 - Le rayon de l'atome de titane dans la structure $\text{Ti } \beta$ est estimé à $R = 144\text{pm}$. Calculer la masse volumique du titane cristallisé dans la structure $\text{Ti } \beta$ en $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
 - Pourquoi le titane est-il aussi très utilisé en aéronautique ?
- 7) Dans l'hydrure de titane, les ions titane occupent les nœuds d'un réseau CFC alors que les ions hydrure H^{-} viennent se loger dans les sites tétraédriques (au centre de chaque huitième de cube).



- Dénombrer le nombre d'atomes de chaque espèce à l'intérieur de la maille.
- En déduire la formule de l'hydrure TiH_n ainsi que la charge de l'ion titane.
- Le rayon atomique de l'ion titane est $r_{\text{Ti}} = 0.140 \text{ nm}$, en déduire l'arête a de la maille.
- Quel est le rayon du site tétraédrique ? Le rayon atomique de l'hydrogène est $r_{\text{H}} = 0.025 \text{ nm}$. L'hydrogène déforme-t-il le cristal ?
- Il faut environ 600g d'hydrogène pour rouler sur 100 km . Quel volume d'éponge faut-il prévoir ?

$$M(\text{Ti}) = 48 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$\text{Nombre d'Avogadro : } N_{\text{a}} = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$M(\text{H}) = 1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$