OBJECTIF CONCOURS SANTE

ANNEE 2007-2008

**FACULTE DE PHARMACIE**

**DATE : 9 AVRIL 2008**

# CORRECTION DE LA COLLE DE PHYSIQUE N°3

**DUREE : 2 HEURES**

**NOM :............................................**

**PRENOM :.......................................**

**NOTE :........................./ 40**

## Constantes universelles de physique

| Constante | Valeur exacte | Approximation |
|---|---|---|
| Célérité de la lumière dans le vide | $c = 299\,792\,458$ m.s$^{-1}$ | $c = 3.10^{8}$ m.s$^{-1}$ |
| Constante de Plank | $h = 6{,}626176.10^{-34}$ J.s | $h = 6{,}6.10^{-34}$ J.s |
| Charge élémentaire | $e = 1{,}6021892.10^{-19}$ C | $e = 1{,}6.10^{-19}$ C |
| Masse au repos de l'électron | $m_e = 9{,}109534.10^{-31}$ Kg | $m_e = 9{,}11.10^{-31}$ Kg |
| Masse au repos du neutron | $m_n = 1{,}675.10^{-27}$ Kg | $m_n = 1{,}68.10^{-27}$ Kg |
| Masse au repos du proton | $m_p = 1{,}6726485.10^{-27}$ Kg | $m_p = 1{,}67.10^{-27}$ Kg |
| Nombre d'Avogadro | $N_A = 6{,}022045.10^{23}$ mol$^{-1}$ | $N_A = 6{,}023.10^{23}$ mol$^{-1}$ |
| Le Rydberg | $R = 10973732$ m$^{-1}$ | $R = 1{,}097.10^{7}$ m$^{-1}$ |
| Constante des gaz parfaits | $R = 8{,}314$ J.mol$^{-1}$.K$^{-1}$ | $R = 8{,}31$ J.mol$^{-1}$.K$^{-1}$ |
| Constante de Boltzmann | $K_B = \frac{R}{N_A} = 1{,}3805941.10^{-23}$ J.K$^{-1}$ | $K_B = \frac{R}{N_A} = 1{,}38.10^{-23}$ J.K$^{-1}$ |
| Permittivité du vide | $\varepsilon_0 = 8{,}85419.10^{-12}$ F.m$^{-1}$ | $\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi 10^{-7} c^2} = 9.10^{-12}$ F.m$^{-1}$ |
| Perméabilité du vide | $\mu_0 = 1{,}3.10^{-6}$ H.m$^{-1}$ | $\mu_0 = 1{,}3.10^{-6}$ H.m$^{-1}$ |

## I – Dimension de grandeurs (………/ 2 points) :

**Donner les dimensions, en système SI, des grandeurs suivantes (justification demandée) :**

| |
|---|
| 1. Résistivité électrique $\rho$ : $\rho = \frac{U \times S}{l \times i} = \frac{R \times S}{l}$ d'où $[\rho] = M.L^3.T^{-3}.I^{-2}$ |
| 2. Mobilité des porteurs de chagres k ou $\mu$ : $k = \frac{1}{n \times e \times \rho} = \frac{E}{v}$ d'où $[k] = M^{-1}.T^2.I$ |
| 3. Coefficient d'absorption molaire A : $A = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) = \varepsilon_\lambda \times l \times C$ d'où $[A] = 1$ |
| 4. Constante radioactive $\lambda$ : $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ d'où $[\lambda] = T^{-1}$ |

## II – Les semi-conducteurs (………/ 7 points) :

**La résistivité $\rho$ d'un cristal de silicium pur est de 2500 $\Omega.m^{-1}$ à 25°C.**

**Données :** **Mobilité des électrons de conduction $k_n$ = 1350 $cm^2.V^{-1}.s^{-1}$**
**Mobilité des trous positifs $k_p$ = 480 $cm^2.V^{-1}.s^{-1}$**

1. Calculer le nombre de porteurs de charges mobiles en électrons, puis en trous par $cm^3$ à 25°C (1 point).

$$n_p = \frac{1}{\rho \times e \times k_p} = \frac{1}{\frac{2500}{100} \times 1{,}6.10^{-19} \times 480} = 5{,}2.10^{14} \text{ trous.cm}^{-3}$$

$$n_n = \frac{1}{\rho \times e \times k_n} = \frac{1}{\frac{2500}{100} \times 1{,}6.10^{-19} \times 1350} = 1{,}9.10^{14} \text{ trous.cm}^{-3}$$

**En première approximation, la variation de la conductivité intrinsèque avec la température T est exprimée par la loi :**

$$\lambda_{\text{int rinsèque}} = A \times \exp\left(-\frac{\Delta E}{2K_B T}\right)$$

- ✓ **A est une constante.**
- ✓ **$\Delta E$ est l'énergie nécessaire à la création d'une paire de porteurs mobiles**
- ✓ **$K_B$ est la constante de Boltzmann**

2. Sachant que $\Delta E$=1,106 eV, quelle doit être la température du cristal pour que la conductivité soit multiplié par 100 ? On exprimera le résultat en K, puis en °C (1 point).

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \exp\left[-\frac{\Delta E}{2K_B} \times \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)\right]$$

$$\ln(100) = -\frac{1{,}106 \times 1{,}6.10^{-19}}{2 \times 1{,}38.10^{-23}}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{298}\right)$$

$$T_2 = 379 \text{ K} = 106 \text{ °C}$$

**Dans un cristal de Silicium, on introduit du phosphore à raison de 5 atomes de Phosphore (Z = 15) pour $10^8$ atomes de Silicium (Z = 14).**

3. A-t-on fabriqué un semi-conducteur intrinsèque ou un semi-conducteur extrinsèque ? Justifier votre réponse (1 point) :

Il s'agit d'un semi-conducteur extrinsèque puisqu'il a été dopé : on a modifié le réseau cristallin.

4. Quel type de semi-conducteur obtient-on ? Pourquoi ? (1 point) :

Le phosphore est pentavalent (5 électrons dans sa bande de valence) : il possède donc 1 électron célibataire de plus que le silicium. Il sera donc de type N (négatif).

5. En admettant que chaque électron excédentaire du Phosphore devient un électron de conduction, quelle est à 25 °C la conductivité électrique du silicium ainsi dopé (on négligera l'apport des atomes de Silicium par rapport aux atomes de Phosphore) (1 point).

**Données :** **$\rho(Si) = 2,32\ g.cm^{-3}$** **$M(Si) = 28,09\ g.mol^{-1}$**

On calcule dans un premier temps le nombre d'atomes de Silicium par unité de volume :

$$N = \frac{N_A \times \rho}{M \times 10^{-3}} = \frac{6,023.10^{23} \times 2,32}{28,09} = 4,97.10^{22}\ \text{atomes de Si/cm}^3 = 4,97.10^{28}\ \text{atomes de Si/m}^3$$

On en déduit le nombre d'atomes de Phosphore par unité de volume :

$$n' = \frac{5 \times N}{10^8} = 2,49.10^{21}\ \text{atomes de P/m}^3$$

On détermine ainsi la conductivité électrique du phosphore dans le Silicium :

$$\gamma_P = n' \times e \times k_p = 2,49.10^{21} \times 1,6.10^{-19} \times 1350.10^{-4} = 53,8\ S.m^{-1}$$

6. En déduire la valeur de la résistivité du silicium ainsi dopé (on négligera toujours l'apport des atomes de Silicium par rapport aux atomes de Phosphore) (1 point).

$$\rho = \frac{1}{\gamma_P} = \frac{1}{53,8} = 1,86\ \Omega.m$$

7. En ne négligeant plus l'apport des atomes de Silicium, calculer la conductivité électrique total du Silicium ainsi dopé. L'approximation réalisée lors de la question 5 est-elle justifiée ? (1 point).

$$\gamma = \gamma_P + \gamma_n = 53,8 + \frac{1}{2500} = 53,8004\ S.m^{-1}$$

L'écart relatif entre les 2 valeurs est négligeable :

$$\varepsilon = \frac{\gamma_n}{\gamma} \times 100 = \frac{1/2500}{53,8004} \times 100 = 0,0007\ \%$$

L'approximation est tout à fait justifiée.

## III – Courant dans les solutions électrolytiques (………/ 6 points) :

**On dissout 24 g d'acide acétique (de masse molaire 60 g.mol$^{-1}$) de formule $CH_3COOH$ dans 500 mL d'eau. L'acide acétique est un acide faible. On émet l'hypothèse que cet acide faible est dissocié à α=6%.**

**Données :** $k^-(CH_3COO^-) = 4.10^{-8}$ m².s$^{-1}$.V$^{-1}$ $K^+(H^+) = 34.10^{-8}$ m².s$^{-1}$.V$^{-1}$

**Cette solution est placée dans une cuve parallélépipédique, de surface S = 10 cm² et de longueur 20 cm, dans laquelle deux électrodes, situées aux extrémités de la cuve, sont mises sous une tension de 100 V.**

1. Calculer la vitesse des cations et des anions (1 point).

$$v(H^+) = k^+ \times E = k^+ \times \frac{U}{l} = 34.10^{-8} \times \frac{100}{0,2} = 170 \ \mu m.s^{-1}$$

$$v(CH_3COOH) = k^- \times E = k^- \times \frac{U}{l} = 4.10^{-8} \times \frac{100}{0,2} = 20 \ \mu m.s^{-1}$$

2. Déterminer le nombre de porteurs de charges mobiles (pcm) par unité de volume (1 point).

$$n = \alpha \times \frac{m/M}{V} \times N_A = 0,06 \times \frac{24/60}{0,5.10^{-3}} \times 6,02.10^{23} = 2,88.10^{25} \ pcm.m^{-3}$$

3. En déduire la valeur du vecteur densité de courant j (1 point).

$$j = n \times e \times (k^+ + k^-) \times \frac{U}{l} = 2,88.10^{25} \times 1,6.10^{-19} \times (34.10^{-8} + 4.10^{-8}) \times \frac{100}{0,2} = 875,5 \ A.m^{-2}$$

4. Calculer la conductivité de la solution $\gamma$ (1 point).

$$\gamma = n \times e \times (k^+ + k^-) = 2,88.10^{25} \times 1,6.10^{-19} \times (34.10^{-8} + 4.10^{-8}) = 1,76 \ S.m^{-1}$$

5. En déduire la résistivité de la solution $\rho$ (1 point).

$$\rho = \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{1,76} = 0,57 \ \Omega.m$$

6. Calculer la valeur du courant électrique i (1 point).

$$i = j \times S = 875,5 \times 10.10^{-4} = 875,5 \ mA$$

## IV – Rayons X (………/ 6 points) :

**Un tube de rayons X à anode de molybdène fonctionne sous une tension de 45 kV**

1. Quelle est la longueur d'onde minimale $\lambda_0$ (en nm) des rayonnements émis ? Est-ce bien un rayonnement X, sachant que qu'un rayon X a une longueur d'onde entre 0,001 nm et 10 nm ? (1 point)

$$\lambda_0 = \frac{h\nu}{U \times e} = \frac{6{,}6.10^{-34} \times 3.10^{8}}{45000 \times 1{,}6.10^{-19}} = 2{,}75.10^{-11}\ \text{m} = 0{,}0275\ \text{nm}$$

Il s'agit bien d'un rayonnement X car la longueur d'onde est comprise entre 0,001 nm et 10 nm.

2. Quelle doit être l'épaisseur $X_{1/2}$ d'un écran en fer pour atténuer de 50% le flux de rayons X à la longueur d'onde $\lambda_0$ ? (1 point)

**Données :** **Coefficient d'atténuation massique du Fer $\mu_m$(Fe) = 1,90 cm$^2$.g$^{-1}$**
**Masse volumique du Fer $\rho_{Fe}$ = 7,87 kg.dm$^{-3}$**

Attention à l'unité de la masse volumique du fer :

$$\mu = \rho \times \mu_m = 1{,}9 \times 7{,}87 = 14{,}95\ \text{cm}^{-1}$$

$$X_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{\ln 2}{14{,}95} = 4{,}63.10^{-2}\ \text{cm}$$

**Une feuille de béryllium ($\rho_{Be}$ = 1,85 g.cm$^{-3}$) de même épaisseur $X_{1/2}$, absorbe 1,2% du rayonnement à la même longueur d'onde $\lambda_0$.**

3. Quel est le coefficient d'atténuation linéaire (en cm$^{-1}$) du béryllium à cette longueur d'onde ? (1 point)

$$\phi = \phi_0 \exp\left(-\mu X_{1/2}\right) \Leftrightarrow \mu = \frac{-\ln\left(\frac{\phi}{\phi_0}\right)}{X_{1/2}} \Leftrightarrow \mu = \frac{-\ln\left(\frac{98{,}8}{100}\right)}{4{,}63.10^{-2}} = 0{,}26\ \text{cm}^{-1}$$

4. Quel est son coefficient d'atténuation massique (en cm$^2$.g$^{-1}$) (1 point) ?

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0{,}26}{1{,}85} = 0{,}14\ \text{cm}^2.\text{g}^{-1}$$

**Le coefficient d'atténuation massique varie selon la relation $\mu_m$ = K.Z$^4$.$\lambda^3$ où Z représente le numéro atomique et K une constante.**

5. Calculer l'épaisseur de demi-atténuation du fer à la longueur d'onde $\lambda$ =0,3 nm (1 point).

$$\mu_m\left(\lambda = 0{,}3\ \text{nm}\right) = K.Z^4.\lambda^3 = \frac{\mu_m\left(\lambda_0\right)}{{\lambda_0}^3} \times \lambda^3 = 182\ \text{cm}^2.\text{g}^{-1}$$

$$\mu\left(\lambda = 0{,}3\ \text{nm}\right) = \mu_m\left(\lambda = 0{,}3\ \text{nm}\right) \times \rho = 182 \times 1{,}85 = 336\ \text{cm}^{-1}$$

$$X_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{\ln 2}{336} = 2{,}06.10^{-3}\ \text{cm}$$

6. Donner la dimension de la constante K (1 point).

$[K] = L^{-1}.M^{-1}$

## V – Radioactivité du Sodium 22 (………/ 5 points) :

**Le sodium 22 est radioactif $\beta^+$ ou CE. La proportion de noyaux de $^{22}Na$ qui se désintègrent à la suite d'une capture électronique est de 9,74%.**

**Les noyaux se désintégrant par émission $\beta^+$ suivent deux possibilités : 90,2 % passent par un état excité et 0,06% se désintègrent en passant directement à l'état stable.**

**Données :**

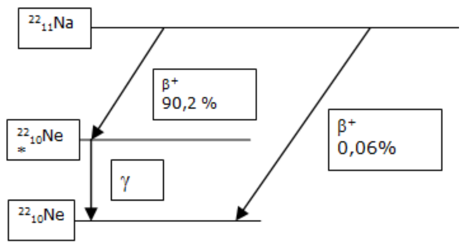
| | |
|---|---|
| **Z(Na) = 11** | **m($^{22}$Na) = 21,994434 u** |
| **Z(Ne) = 10** | **m($^{22}$Ne) = 21,991383 u** |
| **Z(Mg) = 12** | **m($^{22}$Mg) = 21,996231 u** |
| | **m(e$^-$) = 511 keV.** |

1. Ecrire les réactions de désintégration CE et $\beta^+$ (1 point).

CE : ${}^{22}_{11}Na + {}^{0}_{-1}e^- \rightarrow {}^{22}_{10}Ne + {}^{0}_{0}\upsilon_{e-}$

$\beta^+$ : ${}^{22}_{11}Na \rightarrow {}^{22}_{10}Ne + {}^{0}_{1}e^+ + {}^{0}_{0}\upsilon_{e-}$

2. Représenter le schéma de désintégration par émission $\beta^+$ (1 point).




3. Calculer l'énergie libérée par la transformation d'un atome de $^{22}$Na en un atome fils qui se trouve à l'état fondamental (1 point).

L'énergie libérée lors d'une désintégration $\beta^+$ est de :

$$Q_{\beta+} = (M_X - M_Y - 2m_{e^-})c^2 = (21{,}994434 - 21{,}991383) \times 931{,}5 - 2 \times 0{,}511 = 1{,}82 \text{ MeV}$$

4. Les photons $\gamma$ issus de la désintégration ont une énergie de 0,965 MeV. Quelle est l'énergie maximale des positons (1 point) ?

$$E_{positons} = Q_{\beta+} - E_\gamma = 1{,}82 - 0{,}965 = 0{,}857 \text{ MeV}$$

5. En déduire la vitesse maximale des positons en supposant qu'ils se comportent comme des électrons relativistes (1 point).

$$E_{positons} = (\gamma - 1)E_0 \Rightarrow \gamma = \frac{E_{positons}}{E_0} + 1 = \frac{0{,}857}{0{,}511} + 1 = 2{,}68$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Leftrightarrow v = \sqrt{\frac{1}{\gamma^2} + 1} \times c = \sqrt{1 - \frac{1}{2{,}68^2}} \times 3.10^8 = 2{,}78.10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

## VI – Electron d'une couche 3D (………/ 6 points) :

1. Exprimer l'expression de la norme du moment cinétique orbital L (1 point) :

$L = \frac{h}{2\pi}\sqrt{l(l+1)}$ avec l le nombre quantique secondaire (ou azimutal ou orbital).

2. Indiquer les valeurs possibles des 4 nombres quantiques pour cet électron de la couche 3D (explications nécessaires) (2 points) :

Le nombre quantique principal n définit la couche électronique et donc le niveau d'énergie : n=1.
Le nombre quantique secondaire l définit la sous-couche électronique. Sa valeur est un entier entre 0 et n-1 : l = 2 car c'est un électron D.
Le nombre quantique tertiaire (ou magnétique) m définit l'orientation de l'orbital atomique. Sa valeur est comprise entre –l et +l : l = [-2 , -1, 0, 1, 2].
Le nombre quantique de spin s quantifie le moment cinétique intrinsèque de l'électron (mouvement de rotation sur lui-même) : s = [-0,5 ; +0,5].

3. En déduire la valeur de L et donner son unité SI (1 point) :

$L = \frac{h}{2\pi}\sqrt{l(l+1)} = 2{,}584.10^{-34}\ J.s$

4. Un champ magnétique B est orienté selon l'axe Oz. Quelles sont les valeurs permises de l'angle θ entre l'axe Oz et L. Donner ces valeurs en degrés (1 point).

$L_Z = m \times \frac{h}{2\pi} = L \times \cos\theta \Leftrightarrow \cos\theta = \frac{m \times h}{2\pi \times L}$
θ = [144,7° ; 114,1° ; 90,0° ; 65,9° ; 35,3° ]

5. Pour quelles valeurs de m, l'énergie magnétique est-elle nulle ? (1 point).

$E_m = \gamma \times L \times B \times \cos\theta = 0 \Rightarrow \theta = 90°$
L'énergie magnétique s'annule pour m = 0.

## VII – Réseau par réflexion (………/ 5 points) :

**On considère un réseau par réflexion comportant 400 traits par millimètres.**

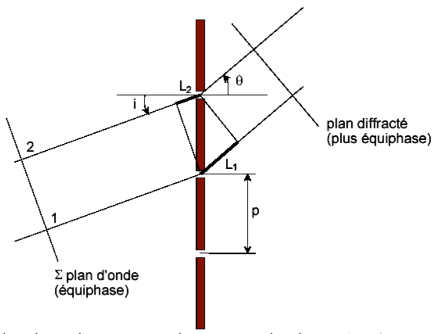
**Ce réseau est éclairé par un faisceau lumineux de lumière monochromatique $\lambda_0$ = 524 nm sous une incidence de 25°.**

1. Donner la relation du réseau par réflexion. Vous préciserez la signification de chaque terme (1 point).

$\sin\theta + \sin i = \pm m \times n \times \lambda$ avec :

- ✓ n le nombre de traits par mm.
- ✓ m (noté k de temps en temps) l'ordre.
- ✓ $\lambda$ la longueur d'onde de la radiation étudiée.
- ✓ $\theta$ est l'angle de diffraction en °.
- ✓ i est l'angle incident en °.

2. Faire un schéma illustrant l'appareil en utilisant les notations de la première question (angles, l'ordre du réseau) (1 point).




3. Calculer le pas du réseau en $\mu$m (1 point).

$$d = \frac{1}{n} = \frac{1}{400000} = 2{,}5.10^{-6}\ \text{m} = 2{,}5\ \mu\text{m}$$

4. Combien d'ordre peut-on observer dans les conditions de l'expérience (1 point) ?

On cherche les valeurs extrêmes de m.

$$-1 \le \sin\theta \le 1 \Leftrightarrow -1 \le n.m.\lambda - \sin i \le 1 \Leftrightarrow -1 + \sin i \le n.m.\lambda \le 1 + \sin i$$

$$-2{,}75 \le m \le 6{,}78$$

Il y a 9 ordres de possibles.

5. Calculer le pouvoir dispersif pour l'ordre 1 en $\text{min.nm}^{-1}$ (1 point).

$$\cos\theta d\theta = m \times n \times d\lambda$$

$$p = \frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{n.m}{\cos\theta} = \frac{n.m}{\sqrt{1-\sin^2\theta}} = \frac{n.m}{\sqrt{1-(n.m.\lambda - \sin i)^2}} =$$

$$p = 4{,}1.10^{-5}\ \text{rad.nm}^{-1} = \frac{4{,}1.10^{-5}}{2\pi} \times 360 \times 60 = 0{,}14\ \ \text{min.nm}^{-1}$$

## VIII – Transitions électroniques de l'hydrogène (………/ 3 points) :

1. Donner la relation donnant l'énergie du photon de désexcitation de l'atome d'hydrogène d'une couche m vers une couche n (1 point) :

Pour un atome quelconque, le niveau énergétique d'une couche est $E_n = -\frac{E}{n^2} = -\frac{E_0 \times Z^2}{n^2}$.

Pour l'atome d'hydrogène, Z=1 et $E_0$ = - 13,6 eV.

D'où $\Delta E(eV) = E_m - E_n = 13{,}6 \times \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right)$

2. Comment d'appellent les trois premières transitions d'émission de l'atome d'hydrogène et à quelle domaine du spectre des ondes électromagnétiques correspondent-elles (1 point) ?

n = 3 : Paschen (IR)
n = 2 : Balmer (Visible)
n = 1 : Lyman (UV)

3. Un photon de longueur d'onde $\lambda$ = 102,6 nm est émis. A quelle transition cela correspond-il (1 point) ?

La longueur d'onde correspond à l'UV, il s'agit donc une transition de Lyman : n = 1.

$E = \frac{hc}{\lambda} = 12{,}09 \text{ eV}$

$\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} = \frac{E}{E_0} = \frac{13{,}6}{12{,}09} = 1{,}12$

Soit m = 3.