

Corrigé N° 2 — Semaine du 16 Septembre 2024
Atomes et table périodique des éléments

1. Vrai ou faux ?

| | Vrai | Faux |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| a. Selon la théorie de la mécanique quantique un électron peut apparaître comme une onde ou comme une particule. <i>Vrai : Les électrons ont à la fois un caractère ondulatoire et un caractère corpusculaire. L'électron ne ressemble à rien de macroscopique. Suivant comment on l'observe il apparaît soit plutôt comme une onde, soit plutôt comme une particule.</i> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b. Les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène variant comme $-13.6\text{eV}/n^2$, la différence d'énergie entre le niveau fondamental ($n=1$) et le 1er niveau excité ($n=2$) vaut 13.6 eV. <i>Faux : Le niveau d'énergie est donné par $E_n = -(13.6\text{eV})/n^2$; la différence d'énergie entre $n_1 = 1$ et $n_2 = 2$ est donnée par $\Delta E = E_2 - E_1 = -13.6\text{eV}(1/(n_2^2) - 1/(n_1^2)) = 10.2\text{eV}$.</i> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| c. L'atome de Ununium appartient à la période 6. <i>Faux : il est sur la ligne (et donc période) 7, numéro atomique 111. D'ailleurs dans les tables périodiques modernes, on peut voir que cet élément a maintenant reçu un nom, il s'appelle Roentgenium, car depuis 2004 il a été décidé de donner des noms à ces éléments, même si ils ne sont pas stables et formés artificiellement en laboratoire.</i> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| d. Les orbitales 4s se remplissent avant les orbitales 3d. <i>Vrai : Selon la règle de Klechkowski, les électrons occupent d'abord les orbitales dont le niveau d'énergie est le plus bas, donc les orbitales 4s se remplissent avant les orbitales 3d.</i> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| e. Des atomes appartenant à la même période ont tendance à former des ions de même charge. <i>Faux : des atomes appartenant au même groupe ont tendance à former des ions de même charge. Attention à ne pas confondre période (ligne) et groupe (colonne).</i> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

- | | Vrai | Faux |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <p>f. Si on divise $m = 12g$ de l'isotope Carbone 12 par la masse molaire du même isotope, on obtient le nombre d'Avogadro. <i>Faux : la masse molaire du carbone est $12g/mol$, donc le résultat donne 1. En revanche, si on divise $m = 12g$ de l'isotope Carbone 12 par la masse d'un atome du même isotope, on obtient le nombre d'Avogadro, qui représente le nombre d'atomes de carbone 12 contenus dans 12 g de carbone, par définition.</i></p> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <p>g. Le numéro d'une période est égal au nombre quantique principal, n, des électrons de la couche de valence (à l'exception du palladium). <i>Vrai : un atome de n'importe quel élément de la période n_x a au moins un électron pour lequel $n = n_x$, mais aucun électron pour lequel la valeur de n est supérieure à n_x. (sauf pour l'élément Pd, il n'y a pas d'électrons dans l'orbitale 5s, même si Pd appartient à la cinquième période).</i></p> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <p>h. Une orbitale comprend au plus deux électrons. <i>Vrai : C'est le principe d'exclusion de Pauli, on a au plus deux électrons (un de spin $+1/2$ et l'autre de spin $-1/2$) dans une orbitale donnée.</i></p> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

2. Dualité onde-particule

Déterminez la longueur d'onde de :

- un électron se déplaçant à un millième de la vitesse de la lumière. En utilisant l'équation de Broglie, la longueur d'onde est donnée par $\lambda = h/mv$. La masse de l'électron est $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} kg$. La vitesse de la lumière est $3 \cdot 10^8 m/s$. On sait aussi que $1J = 1kg m^2 s^{-2}$. Donc

$$\lambda = \frac{(6.626 \cdot 10^{-34} Js)}{(9.1 \cdot 10^{-31} kg)(3 \cdot 10^8 m/s)/1000} = 2.43 \cdot 10^{-9} m$$

donc $2.43 nm$.

- une balle de tennis d'une masse de 57 g se déplaçant à une vitesse de 250 km/h (proche du record lors d'un service au tennis!) . La masse de cette balle est $57g = 57 \cdot 10^{-3} kg$ et sa vitesse $250 km/h \cdot \frac{1000}{3600} = 69.4 m/s$. La longueur d'onde de de Broglie est

$$\lambda = \frac{(6.626 \cdot 10^{-34} Js)}{(57 \cdot 10^{-3} kg)(69.4 m/s)} = 1.6 \cdot 10^{-34} m$$

Comparez les résultats, que peut-on en conclure ? La longueur d'onde d'une particule macroscopique (ici la balle), qui est beaucoup plus lourde que n'importe quelle particule subatomique, est très petite, en fait indétectable ; il en est de même pour tout objet macroscopique (visible) qui se déplace à une vitesse normale. Par contre la longueur d'onde d'un électron en mouvement rapide est d'un ordre de grandeur similaire au diamètre d'un atome.

3. Principe d'incertitude

- a. Estimez l'incertitude minimale sur la position d'une balle de 1.0 gramme qui se déplace, sachant que sa vitesse est connue à plus ou moins 1mm/s près. Est-ce que cette incertitude vous paraît importante, pour préciser la position d'une telle balle macroscopique ? Réponse : Convertissez d'abord la masse et la vitesse en unités SI. La masse m vaut $1.0 \times 10^{-3} kg$, et l'incertitude sur la vitesse Δv vaut $\Delta v = 2 \times 1.0 \cdot 10^{-3} m/s$. Utilisant $\Delta p \times \Delta x = \frac{1}{2} \hbar$ et $\Delta p = m \Delta v$, l'incertitude sur la position $\Delta x = \frac{\hbar}{2m \Delta v} = 2.6 \times 10^{-29} m$. L'incertitude sur la position d'un objet aussi lourd que la balle est très petite. Les mesures sur la position d'un objet macroscopique qui bouge peuvent être faites en toute confiance car les conséquences du principe d'incertitude sont négligeables.
- b. Estimez l'incertitude minimale sur la vitesse d'un électron confiné à l'intérieur d'un atome de diamètre 200pm. Réponse : La masse de l'électron $m_e = 9.10939 \times 10^{-31} kg$. Le diamètre de l'atome est $2.00 \times 10^{-10} m = \Delta x$. L'incertitude sur la vitesse est donc

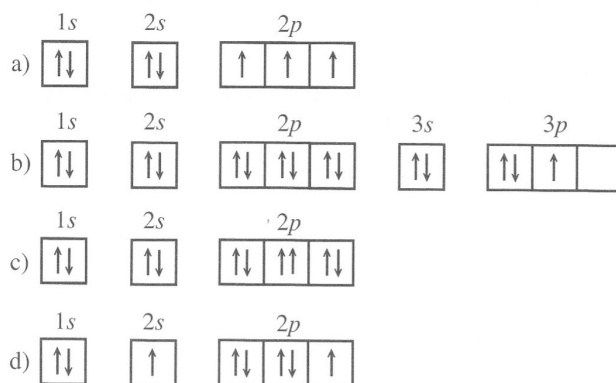
$$\Delta v = \frac{\hbar}{2m \Delta x} = \frac{(6.626 \cdot 10^{-34} Js)}{2 \times \pi \times 2 \times 9 \cdot 10^{-31} (kg) \times 2 \cdot 10^{-10} (m)} = 2.93 \times 10^5 m/s$$

L'incertitude sur la vitesse d'un électron, qui est très léger et confiné dans une petite région, est très grande.

4. Principes de constructions des atomes

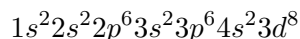
- a. Quelles sont les sous-couches qui ne peuvent pas exister dans un atome :
 1. 2d : ne peut pas exister, car le bloc d commence seulement à $n=3$
 2. 4d : existe, les orbitales sont remplies avec des électrons dans la période 5 (élément de yttrium à cadmium)
 3. 4g : non, car on s'arrête à f!

4. 6f : pourrait théoriquement exister, mais ne se trouve pas dans la table périodique des éléments car les éléments ne sont pas stables.
- b. Ecrivez la configuration électronique de l'état fondamental de chacun de ces atomes :
1. Le sodium : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$
 2. Le silicium : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
 3. Le chrome : On devrait trouver : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^4$, mais sur la table on lit : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1 3d^5$. On voit que le Chrome est un peu particulier car il remplit 4s avec 1 électron, car les niveaux d'énergies sont très proches, et l'atome se trouve plus stable avec 5 électrons dans la couche 3d et 1 dans la couche 4s.
 - c. Quelles valeurs des nombres quantiques n , l et m_l correspondent à l'orbitale 3s ? $n = 3$, $l = 0$, $m_l = 0$
 - d. Quelles valeurs des nombres quantiques n , l et m_l correspondent à l'orbitale 4d ? $n = 4$, $l = 2$, $m_l = -2, -1, 0, 1, 2$
 - e. En appliquant le principe d'exclusion de Pauli et la règle de Hund, déterminez quelles cases quantiques suivantes représentent la configuration électronique d'un atome à l'état fondamental.



Solution : (a) Permise, les cases représentent ici l'azote, N. ; (b) Non permise, car les spins des 3 électrons non appariés devraient être tous parallèles ; (c) non permise, car la deuxième case de l'orbitale 2p comporte deux électrons de spins parallèles ; (d) Non permise : l'orbitale 2s ne compte que 1 seul électron alors que les orbitales 2p sont remplies. Attention, cette configuration serait permise si l'atome est à l'état excité, mais dans la question il est précisé que l'on parle d'atomes à l'état fondamental.

Avec ses 28 électrons la structure électronique du Nickel est la suivante :



- c. Sachant que le Magnésium a la structure électronique $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$, retrouvez sans regarder la table périodique quels sont son numéro atomique, sa masse molaire (sachant que le principal isotope du magnésium possède autant de protons que de neutrons) ? Vérifiez sur la table que les résultats sont corrects. Le numéro atomique est donné par le nombre de protons contenus dans le noyau de l'atome, celui-ci est également équivalent au nombre d'électrons qui orbitent autour du noyau d'un atome neutre. La structure électronique nous indique comment les électrons sont répartis dans les orbitales. Les exposants en donnent le nombre. On obtient donc pour le magnésium :

$$Z_0 = \sum \text{exposants} = 2 + 2 + 6 + 2 = 12$$

Le magnésium contient donc 12 protons ainsi que 12 neutrons qui font l'essentiel de la masse de l'atome. Sachant que protons et neutrons ont une masse environ équivalente, la masse molaire se calcule comme suit :

$$M_n = 2 \cdot 12 \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} g \cdot 6.022 \cdot 10^{23} \text{at/mol} = 23.99 g/mol$$

On vérifie sur la table, on a bien le nombre atomique de 12, et la masse molaire donnée est de 24.31 g/mol, ce qui n'est pas si loin de ce que nous avons calculé, mais pas exactement. En fait, les masses que l'on trouve dans le tableau périodique sont des moyennes pondérées calculées à partir des masses et des abondances de l'ensemble des isotopes stables de chaque élément. Le magnésium à 12 neutrons est présent à 79% dans la croûte terrestre, et il a un isotope à 13 neutrons présent à 10%, et un à 14 neutrons présent à 11%, qui sont tous les deux stables. Dans l'équation ci-dessus, on peut alors remplacer $2 \cdot 12$ par $12 + 0.79 \times 12 + 0.1 \times 13 + 0.11 \times 14 = 24.32$, et on trouve

$$M_n = 24.32 \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} g \cdot 6.022 \cdot 10^{23} \text{at/mol} = 24.31 g/mol$$

Ca marche :-) !

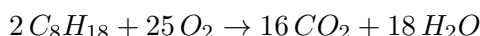
- d. Quelle est la masse d'un atome de Neodyme, connaissant sa masse molaire ? Dans une mole de Néodyme (en prenant l'hypothèse qu'il n'y a pas trop d'isotopes), il y a le nombre d'Avogadro d'atomes de Néodyme, la masse d'un atome est donc donnée par :

$$m = M_n / N_A = (144.24 g/mol) / (6.022 \cdot 10^{23} \text{atomes/mol}) = 23.9 \cdot 10^{-23} g$$

Comme en fait, il y a des tas d'isotopes stables de ce métal, la masse d'un atome calculée ici est la masse moyenne.

6. Un peu de pratique d'équations chimiques (facultatif)

- a. Donnez l'équation de la combustion de l'octane, de formule chimique C_8H_{18} , qui forme un important constituant de l'essence, en présence d'oxygène. Quels sont les produits ?



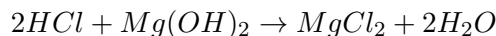
Les produits sont le gaz carbonique et l'eau.

- b. Quelle quantité d'oxygène, en moles, est consommée au cours de la combustion de $6.5 \cdot 10^4$ mol de C_8H_{18} ? Pour brûler $6.5 \cdot 10^4$ mol d'octane on a besoin de $25/2 = 12.5$ fois plus d'oxygène, donc la quantité est donnée par : $6.5 \cdot 10^4 mol \cdot 12.5 = 812500 mol$.
- c. A combien de litres d'oxygène, aux conditions standards, cette quantité correspond-elle ? Les conditions standards sont une température de 298K (25°C!) et une pression de 1 bar = 0.9869 atm. En supposant que l'oxygène se comporte comme un gaz parfait, le volume est donné par :

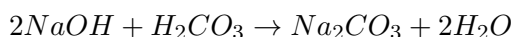
$$V = \frac{812500 mol \cdot 0.08205 (atmL) / (K mol) \cdot 298 K}{0.9869 atm} = 2.013 \cdot 10^7 L (25^\circ C; 1 bar)$$

- d. Equilibrez les équations suivantes :

1.

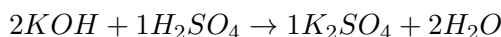


2.

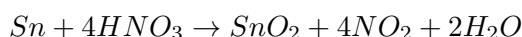


Pour trouver on peut poser : pour Na : $a = 2c$, pour O : $a + 3b = 3c + d$, pour H : $a + 2b = 2c$, pour C : $b = c$. On résout, par exemple C mis dans Na : $a = 2c = 2b$ puis mis dans O : $2b + 3b = 3b + d$ donc $2b = d$, $a = d$ et $b = c$. Comme on doit choisir des nombres entiers pour équilibrer une équation : $a=d=2$ et $b=c=1$. On peut aussi faire un petit système linéaire d'équations comme appris en cours d'algèbre.

3.



4.



Pour trouver on peut poser : pour Sn : $a = c$, pour H : $b = 2e$, pour N : $b = d$, pour O : $3b = 2c + 2d + e$; H et N mis dans O : $3b = 2c + 2b + 0.5 b$, multiplié par 2 : $b = 4c$ donc finalement $a = c$, $b = 4c$, $d = 4c$, $e = 2c$; Si on pose $a=1$, alors $b=4$, $c=1$, $d=4$, $e=2$