1. A propos de densité

Le rayon de l'atome d'hydrogène assimilé à une petite sphère est égal à 0,53 Å et celui de son noyau de l'ordre de 1,4 fm.

1. Rappeler la structure de l'atome d'hydrogène.
2. Calculer la masse volumique de l'atome.
3. Calculer la masse volumique de son noyau.
4. Calculer la masse volumique du gaz dihydrogène (on pourra d'abord utiliser sa densité par rapport à l'air).
5. On suppose que l'hydrogène à l'état solide a une structure cristalline cubique, chaque centre d'atome étant au sommet d'un cube et les atomes étant jointifs. Quelle serait la masse volumique d'un tel cristal ?
6. Comparer ces différentes masses volumiques et conclure relativement à la structure de la matière à l'état solide et à l'état gazeux.

On exprimera de préférence les résultats en unités SI et on donnera les expressions littérales avant d'effectuer les calculs.

Données :
Masse de l'électron = $9,0.10^{-31}$ kg ; masse du nucléon = $1,67.10^{-27}$ kg
Charge élémentaire = $1,6.10^{-19}$ C
Masse volumique de l'air = ρ = 1,3 g/L = $1,3.10^{-3}$ kg.m^{-3}.

Correction

▸ **1.** L'atome d'hydrogène comporte un noyau constitué d'un proton et un électron qui orbite autour de ce noyau.

▸ **2.** Soient *m, V,* ρ_1, *R*, la masse, le volume, la masse volumique et le rayon de l'atome d'hydrogène. On a

$$\rho_1 = \frac{m}{V} ; V = \frac{4}{3}\pi R^3 ; \rho_1 = \frac{3m}{4\pi R^3} ; \rho_1 = \frac{3\times 1,67.10^{-27}}{4\pi(0,53.10^{-10})^3} = 2,68.10^3 \text{ kg.m}^{-3}.$$

On a assimilé la masse de l'atome d'hydrogène à celle de son noyau, le proton, et utilisé les unités SI, où la longueur est en mètres et la masse en kilogrammes.

▸ **3.** Soient *v,* ρ_2, *r*, le volume, la masse volumique et le rayon du noyau de l'atome d'hydrogène. On a 1 fm = 10^{-15} m et

$$\rho_2 = \frac{m}{v} ; v = \frac{4}{3}\pi r^3 ; \rho_2 = \frac{3m}{4\pi r^3} ; \rho_2 = \frac{3\times 1,67.10^{-27}}{4\pi(1,4.10^{-15})^3} = 1,45.10^{17} \text{ kg.m}^{-3}.$$

▸ **4.** Soit ρ_3 la masse volumique du dihydrogène et *d* sa densité par rapport à l'air. On a

$$d = \frac{M}{29} = \frac{\rho_3}{\rho} ; \rho_3 = \frac{M.\rho}{29} ; \rho_3 = \frac{2\times 1,3}{29} = 9,0.10^{-2} \text{ g/L} = 9,0.10^{-2} \text{ kg/m}^{-3}.$$

▸ **5.** Dans un tel réseau, chaque atome appartient à 8 cubes, 2 en longueur, 2 en largeur, 2 en hauteur et chaque cube a 8 sommets. Il y a donc en moyenne 1 atome par cube de côté 2*R*. Soit *V'* le volume d'un tel cube. La masse volumique du cristal ρ_4 serait

$$\rho_4 = \frac{m}{V'} = \frac{m}{(2R)^3} ; \rho_4 = \frac{1,67.10^{-27}}{(2\times 0,53.10^{-10})^3} = 1,40.10^3 \text{ kg.m}^{-3}.$$

▸ **6.** On a

ρ_1 très petit devant ρ_2 : la masse d'un atome est dans son noyau, très petit par rapport à l'atome.

ρ_4 de l'ordre de ρ_1 : dans un solide les atomes sont proches.

ρ_3 très petit devant ρ_4 : dans un gaz les molécules sont espacées.

2. L'atome d'hydrogène

1. Rappeler la constitution de l'atome d'hydrogène.
2. Quelles sont les interactions qui s'exercent entre les particules constituant cet atome ? Donner la direction et le sens des forces qui s'exercent sur chaque particule.
3. Calculer la valeur de ces forces et indiquer quelle interaction l'emporte.
4. Comment expliquer la cohésion de cet atome ?
5. Quelle interaction, non présente dans cet atome d'hydrogène, intervient dans les atomes des autres éléments ? Quelle est, pour ces éléments, l'interaction prépondérante ?

Données :
Masse de l'électron = $9{,}0.10^{-31}$ kg ; masse du nucléon = $1{,}67.10^{-27}$ kg
Charge élémentaire = $1{,}6.10^{-19}$ C
Rayon de l'atome = R = 0,53 Å
$G = 6{,}67.10^{-11}$ SI et $k = 9.10^{9}$ SI.

Correction

▸ **1.** L'atome d'hydrogène est constitué d'un proton et d'un électron orbitant autour du proton.

▸ **2.** Entre le proton et l'électron, il s'exerce les interactions gravitationnelle et électrique.
Les forces qui s'exercent sur les deux particules sont portées par la ligne des centres ; les forces gravitationnelles et électriques sont attractives.

▸ **3.** On a

$$F_1 = F_2 = \frac{G.m.m'}{R^2} = \frac{6,67.10^{-11} \times 1,67.10^{-27} \times 9.10^{-31}}{(0,53.10^{-10})^2} = 3,6.10^{-47} \text{ N}$$

$$F_3 = F_4 = \frac{k.e^2}{R^2} = \frac{9.10^9 \times (1,6.10^{-19})^2}{(0,53.10^{-10})^2} = 8,2.10^{-8} \text{N.}$$

L'interaction électrique l'emporte de très loin sur l'interaction gravitationnelle.

▸ **4.** L'électron orbite autour du proton à cause de l'interaction électrique, de la même façon qu'une planète gravite autour du soleil sous l'effet de la force gravitationnelle.

▸ **5.** Il n'y a pas d'interaction nucléaire dans le noyau de l'atome d'hydrogène puisqu'il comporte un seul nucléon. Pour les autres éléments, ces forces nucléaires entre les nucléons assurent la cohésion du noyau, alors que les forces électriques entre noyau et électrons assurent la cohésion de l'atome.

3. La molécule de monoxyde de carbone

La molécule de monoxyde de carbone est neutre mais polarisée. L'atome d'oxygène attire davantage les électrons que l'atome de carbone et tout se passe comme si l'atome d'oxygène possédait une charge électrique $-q$ et l'atome de carbone une charge électrique $+q$.
La distance entre les deux centres des atomes est d = 1,13 Å ; le produit $p = q.d$ s'appelle le moment dipolaire de la molécule et vaut $p = 0{,}37.10^{-30}$ *SI.*

1. Calculer la valeur de la charge fictive q portée par les deux atomes. Comparer avec la charge élémentaire e (calculer q/e).
2. Calculer la valeur de la force électrique s'exerçant entre les deux atomes.
3. Calculer la valeur de la force de gravitation s'exerçant entre les deux atomes.
4. Que conclure en comparant les valeurs de ces deux forces ?

Rappels :
Masse de l'électron = $9{,}0.10^{-30}$ *kg ; du nucléon* $m = 1{,}67.10^{-27}$ *kg*
Charge élémentaire $e = 1{,}6.10^{-19}$ *C*
$G = 6{,}67.10^{-11}$ *SI et* $k = 9.10^{9}$ *SI.*

Correction

▸ **1.** On a $p = q.d$ donc $q = p/d$.

$$q = \frac{0,37.10^{-30}}{1,13.10^{-10}} = 3,27.10^{-21}\ \text{C}$$

$$\frac{q}{e} = \frac{3,27.10^{-21}}{1,6.10^{-19}} = 2.10^{-2}.$$

▸ **2.** D'après la relation de Coulomb, la force électrique entre les deux atomes a pour valeur

$$F = \frac{k.q^2}{d^2} = \frac{9.10^9.(3,27.10^{-21})^2}{(1,13.10^{-10})^2} = 7,5.10^{-12}\ \text{N}.$$

▸ **3.** D'après la loi de l'attraction universelle, la force de gravitation s'exerçant entre les deux atomes C et O est

$F' = \dfrac{G.m_1 m_2}{d^2}$ où m_1, masse de l'atome de carbone vaut 12 m et m_2 masse de l'atome d'oxygène vaut 16 m puisque ces atomes ont respectivement 12 et 16 nucléons et qu'on néglige la masse des électrons.

Ainsi, $F' = \dfrac{6,67.10^{-11} \times 12m \times 16m}{(1,13.10^{-10})^2}$; $F' = 2,8.10^{-42}$ N.

▸ **4.** On voit que F', comme toujours, est tout à fait négligeable devant F. C'est l'interaction électrique qui assure la cohésion des molécules.

4. La gravitation universelle

Quelques exemples

Les forces gravitationnelles que le Soleil, la Lune, la Terre exercent entre elles sont les mêmes que si ces astres étaient réduits à leur centre.

1. Calculer la valeur de la force de gravitation que le Soleil exerce sur la Terre (F_1) et sur la Lune (F_2) ; celles que la Terre exerce sur le Soleil (F_3) et sur la Lune (F_4) ; celles que la Lune exerce sur le Soleil (F_5) et sur la Terre (F_6).
2. Comparer les forces de gravitation exercées sur la Lune de la part du Soleil et de la Terre.
3. Exprimer la valeur de l'intensité de la pesanteur g à la surface de la Terre en fonction de sa masse et de son rayon et vérifier sa valeur.
4. Soit g' la valeur de l'intensité de la pesanteur à la surface du Soleil. Exprimer g'/g en fonction des masses et des rayons de la Terre et du Soleil et calculer g'.

Données :
Masse Soleil $m_1 = 2.10^{30}$ *kg ; Terre* $m_2 = 6.10^{24}$ *kg ; Lune* $m_3 = m_2 / 82$
Distances de centre à centre :
Terre Soleil = TS = 150 Mkm ; Terre Lune = TL = 4.10^5 *km ;*
$G = 6{,}67.10^{-11}$ *SI*
Rayons : Soleil $r_1 = 7.10^5$ *km ; Terre* $r_2 = 6400$ *km ; Lune* $r_3 = 1750$ *km.*

Correction

▸ **1.** On applique la formule de la gravitation universelle et le principe des actions réciproques et on a

$$F_1 = \frac{G.m_1 m_2}{TS^2} = \frac{6,67.10^{-11} \times 2.10^{30} \times 6.10^{24}}{(150.10^6.10^3)^2} = 3,6.10^{22} \text{ N} = F_3$$

$$F_2 = \frac{G.m_1 m_3}{TS^2} = \frac{G.m_1 m_2}{82TS^2} = \frac{F_1}{82} = 4,3.10^{20} \text{ N} = F_5$$

$$F_4 = \frac{G.m_2 m_3}{TL^2} = \frac{6,67.10^{-11} \times (6.10^{24})^2}{82.(4.10^8)^2} = 1,8.10^{20} \text{ N} = F_6.$$

▸ **2.** On compare F_2 *et* F_4 ; On voit que F_2 est environ le double de F_4. La Lune reste pourtant en orbite autour de la Terre.

▸ **3.** Un objet de masse *m* à la surface de la Terre subit de sa part une force égale à son poids $P = m.g = \frac{G.m.m_2}{r_2^2}$. On a donc

$$g = \frac{G.m_2}{r_2^2} \; ; \; g = \frac{6,67.10^{-11} \times 6.10^{24}}{(6,4.10^6)^2} = 10 \text{ SI.}$$

▸ **4.** On a de même à la surface du Soleil l'intensité de la pesanteur g' telle que

$$\frac{g'}{g} = \frac{G.m_1 / r_1^2}{G.m_2 / r_2^2} ; \frac{g'}{g} = \frac{m_1}{m_2} . \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{2.10^{30}}{6.10^{24}} . \frac{(6,4.10^6)^2}{(7.10^8)^2} = 28.$$

$g' = 280$ N/kg.

Revoir l'intensité de la pesanteur ; le système SI, ses grandeurs fondamentales, ses unités. Ne pas oublier qu'implicitement dans les formules c'est le système SI qui est employé.