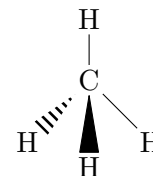
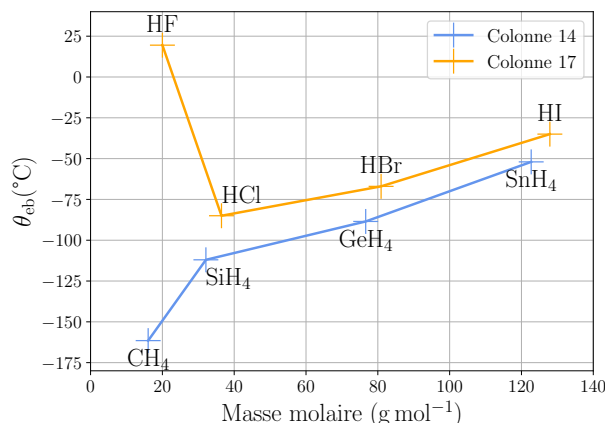


Sujet 1 – corrigé

I Températures d'ébullition

Les températures d'ébullition sous 1 bar des composés hydrogénés de la 14^e colonne et de la 17^e colonne du tableau périodique sont indiquées sur le graphique ci-dessous, à côté de la représentation de CRAM de la molécule de méthane CH_4 :



- 1) a – En déduire le moment dipolaire de la molécule de méthane.

Réponse

Par symétrie, la molécule de méthane ne possède pas de moment dipolaire permanent (les moments des quatre liaisons C–H se compensent).



- b – En déduire la géométrie et le moment dipolaire des autres composés hydrogénés de la colonne 14.

Réponse

Tous les éléments d'une même colonne ont le même nombre d'électrons de valence. Par conséquent, leurs composés hydrogénés ont tous la même structure, et en particulier leur géométrie est la même que celle de la molécule de méthane en ne changeant que l'atome central. De même, tous les composés hydrogénés de la colonne du carbone n'ont pas de moment dipolaire permanent.



- 2) Pourquoi les composés hydrogénés des éléments de la colonne 14 ont-ils des températures d'ébullition plus basses que celles des composés hydrogénés de la colonne 17 ?

Réponse

Les éléments de la famille des halogènes sont bien plus électronégatifs que l'hydrogène et les molécules ne sont pas symétriques. Tous les composés de type H–X où X est un halogène sont donc polaires. Ainsi les forces de VAN DER WAALS entre les composés hydrogénés de la colonne 17 sont plus importantes qu'entre les composés hydrogénés de la colonne 14. Ce qui explique les différences de température d'ébullition.



- 3) Expliquer l'augmentation observée entre HCl et HI.

Réponse

La masse molaire de HI est plus élevée que celle de HCl, ce qui indique que la molécule est davantage polarisable. Les interactions de VAN DER WAALS entre molécules sont donc plus fortes dans le cas de l'iode que dans le cas du chlore, ce qui explique la croissance observée.



- 4) Proposer une explication à l'anomalie observée pour HF.

Réponse

L'atome de fluor appartient à la deuxième période et il est fortement électronégatif. Des liaisons hydrogène

peuvent donc se former entre molécules de HF, ce qui n'est pas possible dans les autres espèces chimiques. Comme ces liaisons sont beaucoup plus fortes que les autres interactions faibles, elles expliquent la forte anomalie de température d'ébullition observée pour HF.



Sujet 2 – corrigé

I Pendule électrique

On étudie un pendule constitué d'une boule de polystyrène expansé recouverte d'une feuille d'aluminium, et suspendue à une potence par une fine tige de longueur $R = 10\text{ cm}$ dont nous négligerons la masse. La boule de masse $m = 20\text{ g}$ sera assimilée à un point matériel M.

Une boule identique est placée en A (voir schéma). Les deux boules sont chargées électriquement avec la même charge, et donc se repoussent. La force exercée par A sur M s'écrit

$$\vec{F}_e = \frac{k}{AM^3} \vec{AM} \quad \text{avec} \quad k = 4,4 \times 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{m}^2$$

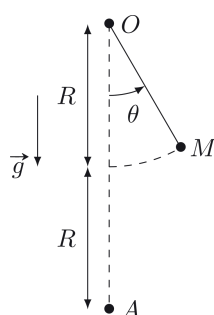
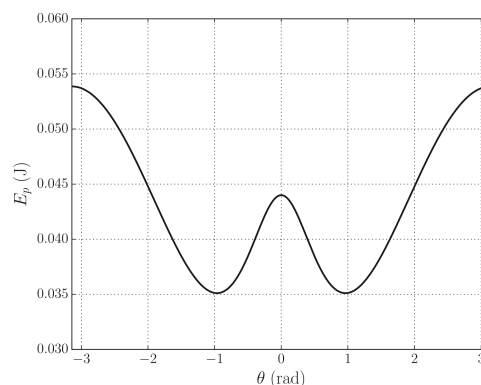


FIGURE 19.1 – Dispositif

FIGURE 19.2 – Courbe $\mathcal{E}_p(\theta)$

- 1) Exprimer la distance AM en fonction de R et θ .

Réponse

Pour exprimer la distance AM, on la décompose par des vecteurs connus et on pourra prendre la norme du vecteur \vec{AM} avec $\sqrt{x_{AM}^2 + y_{AM}^2}$, ou $\sqrt{\vec{AM} \cdot \vec{AM}}$. Notamment, $\vec{AM} = \vec{AO} + \vec{OM}$.

Il faut donc décomposer \vec{AO} et \vec{OM} sur la même base, comme on le fait pour le poids sur un plan incliné. En effet,

$$\vec{AO} = 2R \vec{u}_z \quad \text{et} \quad \vec{OM} = R \vec{u}_r$$

mais on ne peut pas sommer les deux dans des bases différentes.

Décomposons \vec{u}_r sur (\vec{u}_x, \vec{u}_z) : on trouve $\vec{u}_r = \sin \theta \vec{u}_x - \cos \theta \vec{u}_z$

Ainsi, $\vec{AM} = \vec{AO} + \vec{OM}$

$$\Leftrightarrow \vec{AM} = \begin{pmatrix} R \sin \theta \\ 2R - R \cos \theta \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \|\vec{AM}\| = \sqrt{R^2 \sin^2 \theta + (2R - R \cos \theta)^2}$$

$$\Leftrightarrow AM = \sqrt{R^2 \sin^2 \theta + 4R^2 - 2R^2 \cos \theta + R^2 \cos^2 \theta}$$

$$\Leftrightarrow AM = \sqrt{5R^2 - 2R^2 \cos \theta} \quad \text{avec} \quad \cos^2 \theta + \sin^2 \theta = 1$$

$$\Leftrightarrow \boxed{AM = R\sqrt{5 - 2\cos \theta}}$$

■

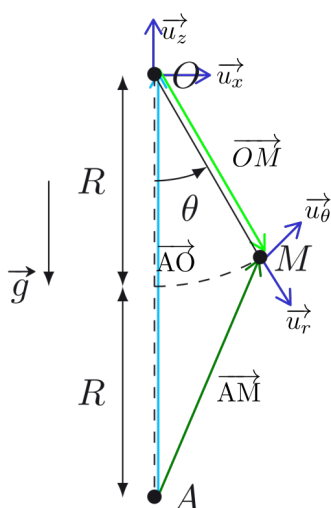


FIGURE 19.3 – Détermination de AM

- 2) Montrer que la force \vec{F}_e est conservative, et que son énergie potentielle s'exprime

$$\mathcal{E}_{p,e}(\theta) = \frac{k}{R\sqrt{5 - 4\cos \theta}}$$

Réponse

Une force est conservative si son travail élémentaire s'exprime sous la forme $-d\mathcal{E}_p$. Calculons son travail élémentaire :

$$\begin{aligned}
 \delta W(\vec{F}_e) &= \vec{F}_e \cdot d\vec{AM} \\
 \Leftrightarrow \delta W(\vec{F}_e) &= \frac{k}{AM^3} \vec{AM} \cdot d\vec{AM} \\
 \Leftrightarrow \delta W(\vec{F}_e) &= \frac{k}{AM^3} \underbrace{\|\vec{AM}\|}_{=AM} \|d\vec{AM}\| \underbrace{\cos(\vec{AM}, d\vec{AM})}_{=1} \\
 \Leftrightarrow \delta W(\vec{F}_e) &= \frac{k}{AM^2} \underbrace{\frac{AM}{AM}}_{=1} dAM \\
 \Leftrightarrow \delta W(\vec{F}_e) &= -k d\left(\frac{1}{AM}\right) \\
 \Leftrightarrow \boxed{\delta W(\vec{F}_e) = -d\mathcal{E}_{p,e}} \\
 \text{avec } \boxed{\mathcal{E}_{p,e} = \frac{k}{AM} = \frac{k}{R\sqrt{5-4\cos\theta}}}
 \end{aligned}$$

■



- 3) Exprimer l'énergie potentielle totale $\mathcal{E}_p(\theta)$ de la boule M.

Réponse

La boule M a également une énergie potentielle de pesanteur. En prenant O comme origine de l'altitude, l'altitude de la boule M $z(\theta)$ s'exprime

$$z(\theta) = -R \cos \theta$$

Ainsi,

$$\begin{aligned}
 \mathcal{E}_p(\theta) &= \mathcal{E}_{p,p}(\theta) + \mathcal{E}_{p,e}(\theta) \\
 \Leftrightarrow \boxed{\mathcal{E}_p(\theta) = \frac{k}{R\sqrt{5-4\cos\theta}} - mgR \cos \theta}
 \end{aligned}$$

■



- 4) Le tracé de l'énergie potentielle est proposé sur la figure 2. Dédurre de ce graphe l'existence de positions d'équilibres, et indiquer leur nature.

Réponse

On observe en tout 5 positions d'équilibres : deux stables dans les puits de potentiel vers ± 1 rad, et trois instables (maxima locaux d'énergie potentielle) en $-\pi$, 0 et π .

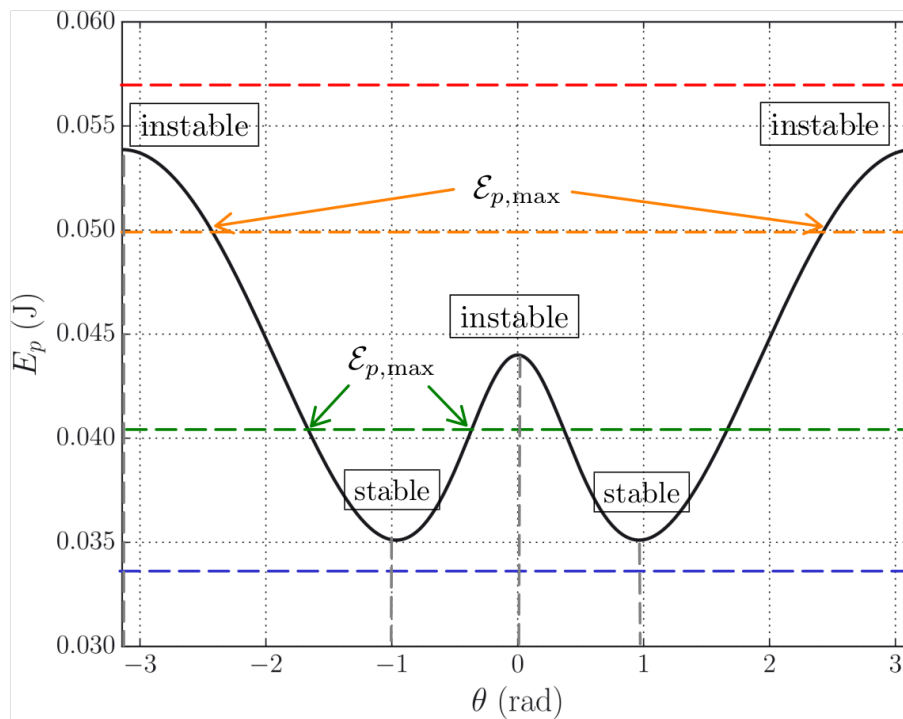


- 5) Discuter de la nature de la trajectoire de M suivant la valeur de son énergie mécanique.

Réponse

Le mouvement du pendule ne se fait que dans les zones du graphique où $\mathcal{E}_p < \mathcal{E}_m$. On distingue donc 4 cas :

Cas 1	$0 \text{ J} < \mathcal{E}_m < 3,5 \times 10^{-2} \text{ J} \Rightarrow$	pas de mouvement
Cas 2	$3,5 \times 10^{-2} \text{ J} < \mathcal{E}_m < 4,4 \times 10^{-2} \text{ J} \Rightarrow$	oscillations \approx position stable
Cas 3	$4,4 \times 10^{-2} \text{ J} < \mathcal{E}_m < 5,4 \times 10^{-2} \text{ J} \Rightarrow$	mouvement périodique entre $\mathcal{E}_{p,\max}$
Cas 4	$5,4 \times 10^{-2} \text{ J} < \mathcal{E}_m < +\infty \Rightarrow$	mouvement révolitif : tours à l'infini

FIGURE 19.4 – Mouvement selon \mathcal{E}_m 

Sujet 3 – corrigé

I Charge dans B et avec frottements fluides.

Une particule de masse m et de charge $q = -e < 0$ se trouve initialement en un point O avec une vitesse $\vec{v}_0 = v_0 \vec{e}_x$.

Elle se déplace dans un champ magnétique \vec{B} uniforme et permanent $\vec{B} = B \vec{e}_z$ et subit également une force de frottement fluide de la forme $\vec{f} = -\lambda \vec{v}$ avec λ une constante positive.

- 1) Quelle est le mouvement (trajectoire et vitesse) de la particule si $\lambda = 0$? Représentez la trajectoire associée.

Réponse

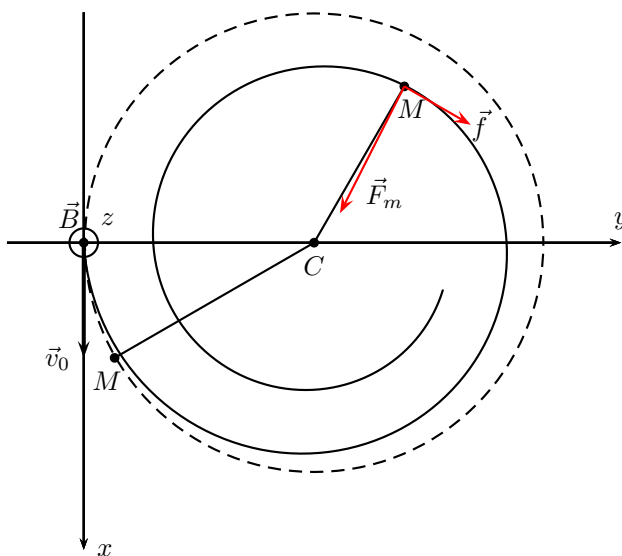
Si $\lambda = 0$, on retrouve le cas d'une particule dans \vec{B} seul. Sa vitesse initiale étant normale à \vec{B} , on a affaire à un mouvement circulaire uniforme de rayon $R = \frac{mv_0}{eB}$ et de centre $(0, R, 0)$ (trajectoire tracée en pointillés sur la figure ci-contre).



- 2) On considère maintenant $\lambda \neq 0$ mais faible. Représentez, sans calcul supplémentaire, l'allure de la nouvelle trajectoire.

Réponse

Pour $q < 0$



Si $\lambda \neq 0$ mais reste faible, la trajectoire reste quasi circulaire mais par application du théorème de la puissance cinétique :

$$\frac{dE_c}{dt} = \mathcal{P}(\vec{F}_m) + \mathcal{P}(\vec{f}) = 0 + \mathcal{P}(\vec{f}) < 0$$

on voit que la présence de frottement diminue v .

Comme $R = \frac{mv}{eB}$, le rayon de courbure de la trajectoire diminue d'où l'apparition d'une spirale.



- 3) Déterminez les équations différentielles du mouvement dans le cas général.

Réponse

On détermine les équations différentielles du mouvement par application du principe fondamental de la dynamique à la particule M qui n'est soumise qu'à \vec{F} et \vec{f} (on néglige son poids).

$$m\vec{a} = q\vec{v} \wedge \vec{B} - \lambda.\vec{v} \Rightarrow m \begin{vmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{vmatrix} = q \begin{vmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} 0 \\ 0 - \lambda \\ B \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{cases} m\dot{v}_x = qBv_y - \lambda v_x \\ m\dot{v}_y = -qBv_x - \lambda v_y \\ m\dot{v}_z = -\lambda v_z \end{cases}$$

On pose $\underline{u} = x + jy$, $\omega = \frac{eB}{m}$ et $\tau = \frac{m}{\lambda}$.

- 4) Déterminez $\underline{u}(t)$. Comment calculerait-on $x(t)$ et $y(t)$? Précisez la position finale de la particule.

Réponse

En posant $\omega = \frac{eB}{m} = -\frac{qB}{m}$ et $\tau = \frac{m}{\lambda}$, les équations précédentes s'écrivent $\dot{v}_x = -\omega v_y - \frac{v_x}{\tau}$ (équation 1), $\dot{v}_y = \omega v_x - \frac{v_y}{\tau}$ (équation 2) et $\dot{z} = -\frac{z}{\tau}$ (équation 3).

L'équation 3 s'intègre facilement : $\dot{z} = -\frac{z}{\tau} + 0$ et $z = A.e^{-\frac{t}{\tau}}$ avec $z(0) = 0$ d'où $A = 0$ et $z(t) = 0$ pour tout t : le mouvement reste plan.

Pour déterminer $x(t)$ et $y(t)$, c'est à dire pour résoudre les équations 1 et 2, on pose $\underline{u} = x + jy$ et en dérivant par rapport au temps,

$$\dot{\underline{u}} = v_x + j.v_y \Rightarrow \ddot{\underline{u}} = \dot{v}_x + j\dot{v}_y = -\omega v_y - \frac{v_x}{\tau} + j\omega v_x - j\frac{v_y}{\tau} = j\omega \underline{u} - \frac{1}{\tau} \underline{u} \Rightarrow \ddot{\underline{u}} = [j\omega - \frac{1}{\tau}] \underline{u}$$

d'où $\dot{\underline{u}} = \underline{U}_0 \exp[(j\omega - \frac{1}{\tau})t]$ et à $t = 0$, $\dot{\underline{u}}(t) = v_x(0) + jv_y(0) = v_0 \Rightarrow \dot{\underline{u}}(t) = v_0 \exp(j\omega t) \exp(-\frac{t}{\tau})$.

Par intégration, $\underline{u}(t) = \frac{v_0\tau}{1-j\tau\omega} [1 - \exp(-\frac{t}{\tau}) \exp(j\omega t)]$.

Le terme $e^{j\omega t}$ correspond au mouvement de rotation et celui en $\exp(-\frac{t}{\tau})$ à un amortissement exponentiel d'où une trajectoire en forme de spirale.

Pour déterminer complètement $x(t)$ et $y(t)$, il faudrait calculer $x(t) = \text{Re}(\underline{u}(t))$ et $y(t) = \text{Im}(\underline{u}(t))$ (calcul fastidieux). Pour $t \gg \tau$, $e^{-\frac{t}{\tau}}$ tend vers 0 et

$$\underline{u}(\infty) \simeq \frac{v_0\tau}{1-j\tau\omega} = \frac{v_0\tau(1+j\omega\tau)}{1+\omega^2\tau^2} = x(\infty) + jy(\infty) \quad (19.1)$$

$$\Rightarrow x(\infty) \simeq \frac{v_0\tau}{1+\omega^2\tau^2} \quad \text{et} \quad y(\infty) \simeq \frac{\omega v_0\tau^2}{1+\omega^2\tau^2} \quad (19.2)$$

par identification.

Sujet 4 – corrigé

I Représentation de Lewis - interactions moléculaires

- 1) Établir la formule de Lewis, la structure géométrique, le caractère polaire ou non polaire des molécules suivantes : N_2 , Br_2 , HI , CCl_4 , $CHCl_3$ et CO_2 .

Réponse

◇ N_2 : $|N \equiv N|$ molécule linéaire et apolaire (la molécule ne possède que des atomes de même électronégativité)

◇ Br_2 : $|\underline{Br} - \underline{Br}|$ moléculaire linéaire et apolaire

◇ HI : $H - \underline{I}$ molécule linéaire et polaire ($EN(I) > EN(H)$)

◇ CCl_4 :
$$\begin{array}{c} |\underline{Cl}| \\ | \\ |\underline{Cl} - C - \underline{Cl}| \\ | \\ |\underline{Cl}| \end{array}$$
 molécule tétraédrique et apolaire (la molécule possède un centre de symétrie)

◇ $CHCl_3$:
$$\begin{array}{c} |\underline{Cl}| \\ | \\ H - C - \underline{Cl} \\ | \\ |\underline{Cl}| \end{array}$$
 molécule tétraédrique et polaire

◇ CO_2 : $\langle \underline{O} = C = \underline{O} \rangle$ molécule linéaire et apolaire (la molécule possède un centre de symétrie)



- 2) En déduire les interactions de Van der Waals qui peuvent s'exercer entre les molécules des couples suivants :

◇ (N_2, N_2)

◇ (Br_2, HI)

◇ (HI, HI)

◇ (CCl_4, CO_2)

◇ (CCl_4, CCl_4)

◇ ($CHCl_3, Br_2$)

◇ (CO_2, CO_2)

Réponse

Toute entité chimique est polarisable, donc l'interaction de type London existe toujours. L'interaction de type Debye nécessite qu'au moins une des deux molécules soit polaire, et celle de Keesom nécessite que les deux molécules soient polaires.

◇ (N_2, N_2) : London

◇ (HI, HI) : Keesom, Debye et London

◇ (CCl_4, CCl_4) : London

◇ (CO_2, CO_2) : London

◇ (Br_2, HI) : Debye et London

◇ (CCl_4, CO_2) : London

◇ ($CHCl_3, Br_2$) : Debye et London

