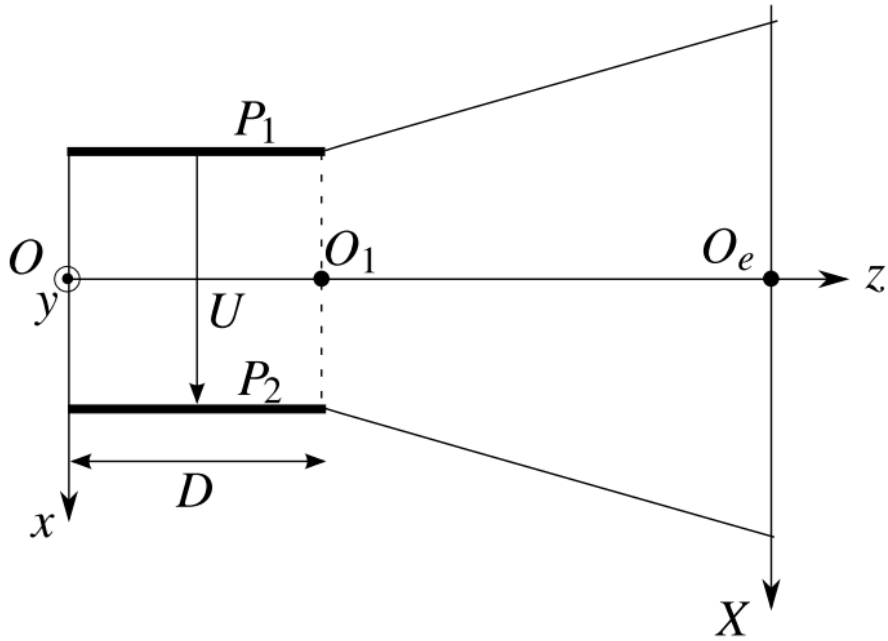
Sujet 1 – corrigé

I Question de cours

Définir l'électronégativité d'un élément et donner (en le justifiant) son évolution par colonne, par famille et globalement dans le tableau. Définir le moment dipolaire d'une liaison, d'une molécule et la polarisabilité, et déterminer le moment dipolaire de H_2O connaissant $p_{\mathrm{HO}} = 1{,}51\,\mathrm{D}$ et $(\widehat{\mathrm{HOH}}) = 104{,}45°$.

II Oscilloscope analogique

Dans tout l'exercice on se place dans un référentiel galiléen, associé à un repère cartésien $(O, \vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$. Un zone de champ électrique uniforme (voir figure) est établie entre les plaques P_1 et P_2 (le champ est supposé nul en dehors et on néglige les effets de bord) ; la distance entre les plaques est d, la longueur des plaques D et la différence de potentiel est $U = V_{P2} - V_{P1}$ positive. Des électrons (charge $q = -e$, masse m) pénètrent en O dans la zone de champ électrique uniforme avec une vitesse $\vec{v_0} = v_0 \vec{u}_z$ selon l'axe Oz.



1. Etablir l'expression de la force subie par les électrons en fonction de U, q, d et $\vec{u}_x$.

Réponse :
On néglige le poids. Les électrons ne sont soumis qu'à la force électrique. Le potentiel de la plaque P_2 est supérieur à celui de la plaque P_1 puisque $U = V_{P2} - V_{P1} > 0$. $\vec{E}$ est de norme U/d (d'après le cours car il est uniforme d'après l'énoncé) et dirigé selon les potentiels décroissants donc selon $-\vec{u}_x$. On en déduit, avec $q = -e$ la charge de l'électron :

$$\vec{E} = -\frac{U}{d}\vec{u}_x \quad \text{d'où} \quad \vec{F} = q\vec{E} = -q\frac{U}{d}\vec{u}_x = +e\frac{U}{d}\vec{u}_x$$

Etude du mouvement des électrons

2. Déterminer l'expression de la trajectoire $x = f(z)$ de l'électron dans la zone du champ en fonction de d, U et v_0.

Réponse :

On applique le principe fondamental de la dynamique à l'électron dans le référentiel de l'oscilloscope supposé galiléen :

$$m\vec{a} = \vec{F}$$

La force n'a pas de composante sur Oy et comme la vitesse initiale n'a pas de composante non plus sur Oy on en déduit que le mouvement est dans le plan xOz. La projection de la relation fondamentale donne

$$m\ddot{x} = e\frac{U}{d} \quad \text{et} \quad m\ddot{z} = 0$$

et les intégrations successives donnent :

$$\dot{x} = \frac{eU}{md}t + \alpha_1 \quad \text{et} \quad \dot{z} = \alpha_2$$

$$x = \frac{eU}{2md}t^2 + \alpha_1 t + \alpha_3 \quad \text{et} \quad z = \alpha_2 t + \alpha_4$$

Finalement, par utilisation des conditions initiales, les constantes d'intégration α_i peuvent être déterminées et il vient

$$x = \frac{eU}{2md}t^2 \quad \text{et} \quad z = v_0 t$$

En éliminant t dans les équations précédentes, on obtient

$$x = \frac{eU}{2md\,{v_0}^2}\,z^2$$

Il s'agit de l'équation d'une parabole. Une telle trajectoire est attendue dans le cas d'un mouvement uniformément accéléré comme ici.

3. Déterminer le point de sortie K de la zone de champ ainsi que les composantes de la vitesse en ce point.

Réponse :
Le point de sortie correspond à $z_K = D$, soit dans l'équation précédente

$$x_K = \frac{eU}{2md\,{v_0}^2}\,D^2$$

D'après les équations paramétriques obtenues à la question 2, l'instant de passage en K est $t_K = z_K/v_0$ soit D/v_0. Les composantes de la vitesse en K sont obtenues en reportant t_K dans les expressions de $\dot{x}$ et $\dot{z}$, soit :

$$v_x(t_K) = \dot{x}(t_K) = \frac{eUD}{mdv_0} \quad \text{et} \quad v_z(t_K) = \dot{z}(t_K) = v_0$$

4. Montrer que dans la zone en dehors des plaques, le mouvement est rectiligne uniforme.

Réponse :
En dehors des plaques, puisqu'on néglige l'effet du champ de pesanteur et que l'on suppose le champ électrique nul, aucune force ne s'exerce sur l'électron : il est isolé. D'après le principe d'inertie, sa trajectoire est rectiligne uniforme.

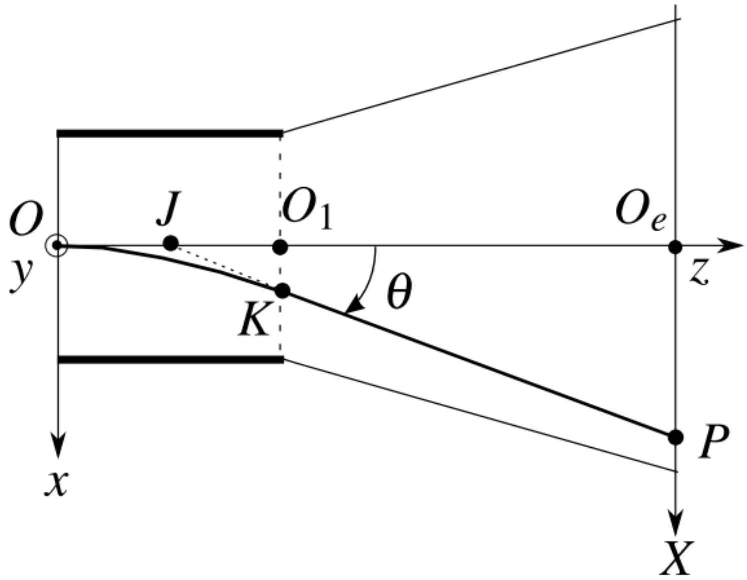
5. On note L la distance O_1O_e (voir figure introductive). Déterminer l'abscisse X_P du point d'impact P de l'électron sur l'écran en fonction de U, v_0, D, d et L. Que dire de la relation entre U et X_P ? En quoi est-ce important pour l'utilisation du dispositif en tant qu'oscilloscope ?

Réponse :

Dans le triangle O_eJP (figure ci-dessous), $X_P = O_eP = (JO_1 + L)\tan\theta$. Il faut donc exprimer $\tan\theta$ et JO_1 sachant que le segment JP est tangent à la trajectoire en K. On peut écrire :

$$\tan\theta = \frac{O_1K}{JO_1} = \frac{x_K}{JO_1} = \frac{eUD^2}{2mdv_0{}^2\,JO_1}$$

et
$$\tan\theta = \left(\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}z}\right)_K = \left(\frac{\dot{x}}{\dot{z}}\right)_K = \frac{eUD}{mdv_0{}^2}$$



En combinant les deux équations précédentes, on obtient $JO_1 = D/2$. Ainsi,

$$X_P = \left(\frac{D}{2} + L\right)\frac{eD}{mdv_0{}^2}\,U$$

La déviation X_P est **proportionnelle** à la tension U. La mesure de X_P est donc pertinente pour suivre la tension et il suffit de connaître le coefficient $\left(\frac{D}{2} + L\right)\frac{eD}{mdv_0{}^2}$ qui est fixe et ne dépend que des caractéristiques de l'oscilloscope.

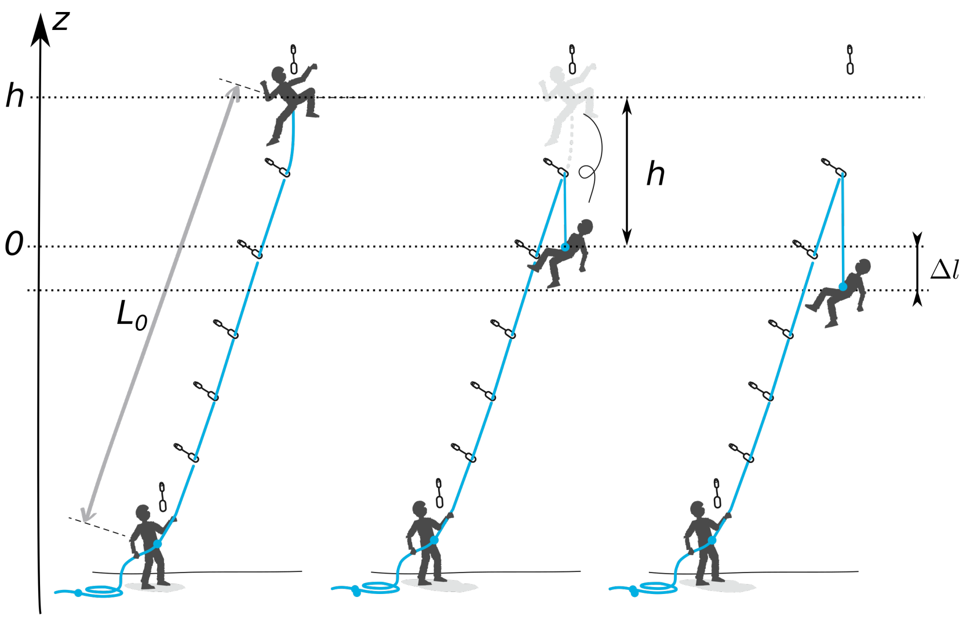
Sujet 2 – corrigé

I Question de cours

Définir ce que sont les interactions de Van der Waals et en donner l'énergie potentielle générale. Présenter les 3 interactions que ce terme regroupe : nature, énergie potentielle, énergie de liaison. Donner la forme de l'énergie potentielle des interactions répulsives, la forme de l'énergie potentielle totale et indiquer sur le schéma comment se trouve la distance de liaison et l'énergie de liaison. On donnera un ordre de grandeur des distances d'interaction de VdW.

II Chute sur corde en escalade

On étudie une grimpeuse qui chute. Une corde d'escalade de longueur L_0 peut, en première approximation, être modélisée par un ressort de longueur à vide L_0 et de raideur $k = \alpha/L_0$, avec α une caractéristique de la corde.



La grimpeuse est en chute libre sur une hauteur h pendant laquelle la corde n'est pas sous tension. La corde passe ensuite sous tension, et la chute se poursuit sur une hauteur Δl. La vitesse de la grimpeuse devient ainsi nulle au bout d'une hauteur totale de chute $h + \Delta l$.
On prendra $g = 10\,\mathrm{m\,s^{-2}}$, $\alpha = 5{,}0 \times 10^4\,\mathrm{N}$ et une grimpeuse de masse $m = 50\,\mathrm{kg}$.

1. À l'aide d'un bilan énergétique, donner l'expression de la vitesse maximale atteinte par la grimpeuse. Faire l'application numérique pour une hauteur de chute $h = 5\,\mathrm{m}$.

   Réponse :
   Pendant la chute libre, la grimpeuse ne subit que l'action du poids, qui est conservatif. On peut donc utiliser le TEM, avec :

   - **Au début de la chute libre :** $z = h$, $v = 0 \Rightarrow \mathcal{E}_{p,p} = mgh$ et $\mathcal{E}_c = 0$
   - **À la fin de la chute libre :** $z = 0$, $v = v \Rightarrow \mathcal{E}_{p,p} = 0$ et $\mathcal{E}_c = mv^2/2$.

D'où

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \Leftrightarrow \boxed{v = \sqrt{2gh}} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} g &= 10\,\mathrm{m\,s^{-2}} \\ h &= 5\,\mathrm{m} \end{cases}$$
$$\text{A.N. :} \quad \boxed{v = 10\,\mathrm{m\,s^{-1}}}$$

2. Toujours à l'aide d'une méthode énergétique, donner l'expression de l'allongement maximal Δl de la corde. On supposera $\Delta l \ll h$ afin de simplifier le calcul.

Réponse :
On peut utiliser le TEM entre le point tout en haut et le point le plus bas, ou entre le point O et le point le plus bas. Faisons le premier cas :

- ◇ **Au début de la chute libre :** $z = h$, $v = 0 \Rightarrow \mathcal{E}_{p,p} = mgh$ et $\mathcal{E}_c = 0$
- ◇ **À la fin de la chute amortie :** $z = -\Delta l$, $v = 0 \Rightarrow \mathcal{E}_{p,p} = -mg\Delta l$, $\boxed{\mathcal{E}_{p,el} = k\Delta l^2/2}$ et $\mathcal{E}_c = 0$.

Ainsi,

$$mgh = \frac{1}{2}k\Delta l^2 + mg(-\Delta l) \Leftrightarrow mg(h + \underbrace{\cancel{\Delta l}}_{\ll h}) = \frac{1}{2}k\Delta l^2 \Leftrightarrow \boxed{\Delta l = \sqrt{\frac{2mgh}{k}}}$$ ■

La solution trouvée est plausible : homogène, augmente avec m, h et g mais diminue avec k.

3. Donner enfin l'expression de la norme de la force maximal $F_{\max}$ qu'exerce la corde sur la grimpeuse. On introduira le facteur de chute $f = h/L_0$.

Réponse :
En norme, une force de rappel s'exprime $F = k(\ell - \ell_0)$, soit ici

$$F_{\max} = k\Delta l = \sqrt{2mgh\,k} = \sqrt{2mgh\frac{\alpha}{L_0}}$$
$$\Leftrightarrow \boxed{F_{\max} = \sqrt{2mg\alpha f}}$$ ■

4. Au-delà d'une force de 12 kN, les dommages sur le corps humain deviennent importants. Que vaut $F_{\max}$ pour une chute de $h = 4\,\mathrm{m}$ sur une corde de longueur $L_0 = 4\,\mathrm{m}$? Conclure.

Réponse :
On fait l'application numérique :

$$\text{avec} \quad \begin{cases} m &= 50\,\mathrm{kg} \\ g &= 10\,\mathrm{m\,s^{-2}} \\ \alpha &= 5{,}0 \times 10^4\,\mathrm{N} \\ f &= 1 \end{cases}$$
$$\text{A.N. :} \quad \boxed{F_{\max} = 10\,\mathrm{kN}}$$

Il n'y a donc pas de risque aggravé pour la grimpeuse avec cette chute.

5. Une chute d'un mètre arrêtée par une corde de 50 cm est-elle plus ou moins dangereuse qu'une chute de 4 m arrêtée par une corde de 8 m ?

Réponse :
Dans le premier cas, $f_1 = 2$; dans le second, $f_2 = 0{,}5$. Or, $F_{\max}$ évolue en $\sqrt{f}$, donc plus f augmente plus la force subie augmente : le premier cas est donc 2 fois plus dangereux que le premier !

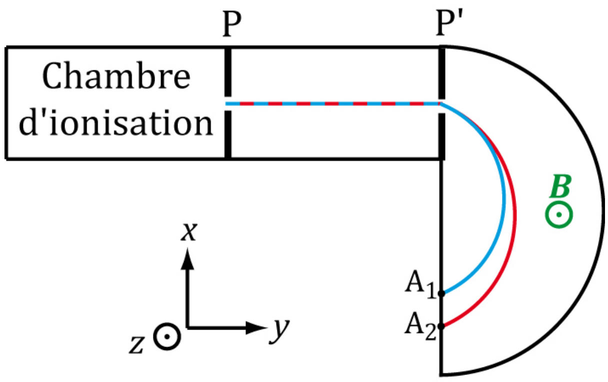
Sujet 3 – corrigé

I Question de cours

Savoir comment construire (pas connaître par cœur) les 4 premières lignes du tableau périodique. Définir et placer les blocs s, p et d. Préciser les colonnes des familles des gaz rares, des halogènes et des métaux alcalins. Placer le chlore Cl ($Z = 17$) sur le tableau. Donner le numéro atomique du magnésium Mg, colonne 3 ligne 2. Établir leurs configurations de valence et leur schéma de Lewis.

II Spectromètre de Dempster

Dans le spectromètre de Dempster, des ions sortent de la chambre d'ionisation avec une vitesse négligeable. Ils sont accélérés par une tension U, appliquée entre les deux plaques P et P' : $V_{P'} - V_P = U < 0$. Les ions traversent ensuite une zone de l'espace (appelée zone de déviation) où règne un champ magnétique transversal uniforme : $\overrightarrow{B} = B\overrightarrow{u_z}$.
Dans tout l'exercice, on considère deux types d'ions, de même charge q et de masses respectives m_1 et m_2, arrivant dans la zone de déviation avec les vitesses respectives $\overrightarrow{v_1} = v_1\overrightarrow{u_y}$ et $\overrightarrow{v_2} = v_2\overrightarrow{u_y}$.



1. Quel est le signe de q pour que les ions soient effectivement accélérés entre P et P' ?

   Réponse :
   D'après l'énoncé, $V_{P'} - V_P < 0$, donc $V(P') < V(P)$. Les particules de charge positive vont être attirées vers la zone de potentiel le plus faible.

   On peut aussi raisonner à partir de la force exercée sur la particule de charge q. On veut que la force soit dirigée selon $+\overrightarrow{u_y}$. Or $\overrightarrow{F} = q\overrightarrow{E}$ et le champ électrique dirigé vers les potentiels décroissants. Donc $\overrightarrow{E}$ est selon $\overrightarrow{u_y}$, donc la charge q doit être positive.

2. Exprimer les vitesses v_1 et v_2.

   Réponse :
   L'ion, assimilable à un point matériel M_i, de masse m_i, est soumis dans le référentiel du laboratoire supposé galiléen à la force électrique qui est conservative. Donc le système est conservatif : $E_m(P) = E_m(P')$. L'énergie potentielle électrique s'écrit $E_p = qV$ (on prend la constante nulle).

   $$qV(P) = \frac{1}{2}m_i v_i^2 + qV(P') \quad \Rightarrow \quad \boxed{v_i = \sqrt{-2qU/m_i}}$$

   Le terme sous la racine est bien positif car $q >$ et $U < 0$.

3. Exprimer les rayons R_1 et R_2 des trajectoires des ions dans le champ magnétique.

   Réponse :
   cf cours : $R_i = \dfrac{mv_i}{qB}$, donc $R_i = \dfrac{\sqrt{-2Um_i}}{B\sqrt{q}}$

4. En déduire la distance $d = A_1A_2$ entre les impacts des deux types d'ions.

Réponse :
Graphiquement, on a $d = 2(R_2 - R_1)$. Donc

$$\boxed{d = \frac{2}{B}\sqrt{\frac{-\,2U}{q}}(\sqrt{m_2} - \sqrt{m_1})}$$

5. Donner la position du lithium ($Z = 3$) dans la classification périodique. À quelle famille d'éléments chimiques appartient-il ? Quel est l'ion stable formé par le lithium ?

Réponse :
Le lithium est situé sur la première colonne et sur la seconde période de la classification. Il appartient à la famille des alcalins et donne l'ion Li^+.

6. Calculer numériquement d si on utilise ${}^6Li^+$ et ${}^7Li^+$ de masses molaires respectives $6{,}0\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$ et $7{,}0\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$.

Données : $e = 1{,}6 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$, $\mathcal{N}_A = 6{,}0 \times 10^{23}\,\mathrm{mol^{-1}}$, $|U| = 1{,}0 \times 10^{1}\,\mathrm{kV}$ et $B = 0{,}10\,\mathrm{T}$.

Réponse :
La masse de l'ion s'écrit $m = M/\mathcal{N}_A$. On en déduit, après calcul : $d = 1{,}8\,\mathrm{m}$