**Bac 2026 Centres étrangers 1 Jour 1** **Correction © https://www.labolycee.org**

**Sciences physiques pour les sciences de l'ingénieur.e**

**EXERCICE B – Banc de test d'un moteur ionique à iode (10 points, 30 min)**

Un moteur ionique est un moteur utilisé sur certains satellites. Sa force de propulsion vient de l'éjection des ions à très haute vitesse. Les ions libérés passent par deux grilles fortement chargées électriquement et subissent ainsi une accélération.

Cet exercice propose d'analyser le système d'accélération sur un moteur utilisant trois cations de l'élément iode : $I^+$, $I^{2+}$ et $I_2^+$.

Une tension électrique $U$ positive est appliquée entre les grilles situées à une distance $d$ l'une de l'autre. Cette tension génère un champ électrique $\vec{E}$ uniforme et permet d'accélérer les ions qui sont ainsi éjectés du moteur avec une vitesse de l'ordre de plusieurs dizaines de kilomètres par seconde.

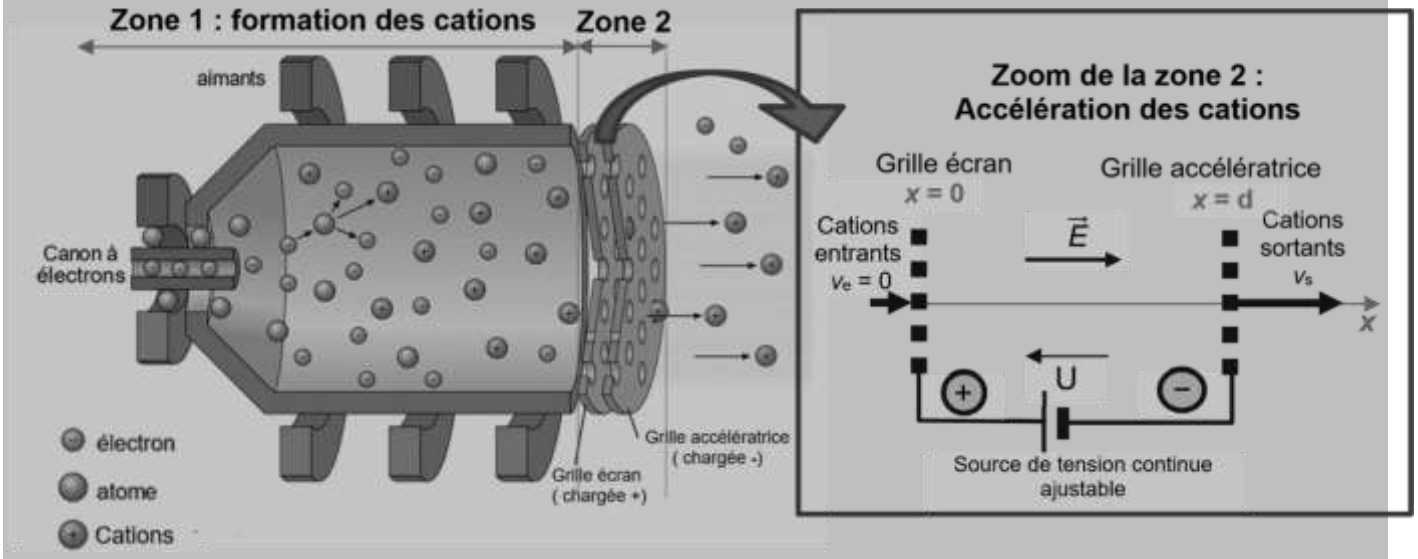



Figure 1. Schéma du moteur ionique à iode et modélisation de l'accélérateur d'ions.

**Données**

- masse des cations $I^+$ et $I^{2+}$ assimilée à celle d'un atome d'iode : $m_I = 2{,}11\times10^{-25}$ kg ;
- masse d'un ion $I_2^+$ : $m_{I_2^+} = 2\,m_I$ ;
- charges des cations : $q\,(I^+) = q\,(I_2^+) = e$ et $q\,(I^{2+}) = 2\,e$

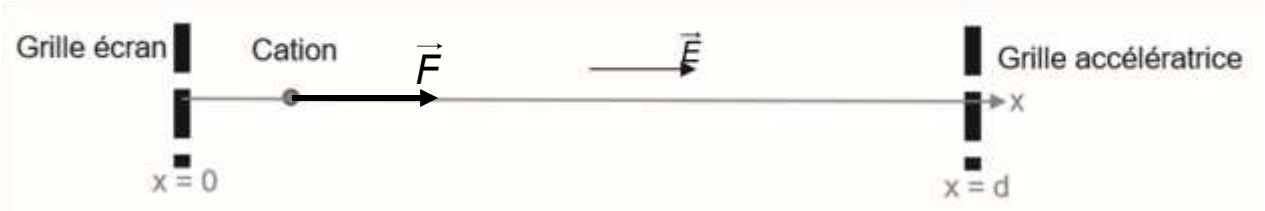
  avec $e$ : charge électrique élémentaire : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C ;
- relation électron-volt et joule : 1 eV = $1{,}60 \times 10^{-19}$ J ;
- relation joule, coulomb et volt : 1 J = 1 C × 1 V.

**Q1. Rappeler la relation donnant la force électrique $\vec{F}$ subie par une particule de charge $q$ soumise à un champ électrique $\vec{E}$. Reproduire sur la copie le schéma ci-dessous et représenter la force électrique subie par un cation, sans souci d'échelle. Justifier votre réponse.**




Figure 2. Schéma à reproduire sur la copie.

Force électrique : $\vec{F} = q\vec{E}$.
Le cation possède une charge positive donc $q > 0$. La force électrique qu'il subit est donc colinéaire et de même sens que le champ électrique $\vec{E}$.




L'étude du moteur, lors d'un test, est menée dans le référentiel terrestre associé au laboratoire. On suppose que ce référentiel est galiléen au regard des durées et des distances mises en jeu. On néglige le poids de chacun des cations ainsi que toute interaction entre eux.
Le système est le cation.
On montre que le travail $W(\vec{F})$ de la force électrique $\vec{F}$ subie par un cation de charge $q$ soumis à une différence de potentiel $U$ dans l'accélérateur vérifie la relation $W(\vec{F}) = q\,U$.

On considère que la vitesse d'entrée, $v_e$ des ions est négligeable devant la vitesse $v_s$ atteinte en sortie de l'accélérateur, ce qui permet d'écrire que $v_e = 0$.

**Q2. En utilisant le théorème de l'énergie cinétique, montrer que l'expression de l'énergie cinétique $E_{CS}$ d'une particule de charge $q$ en sortie de l'accélérateur est $E_{CS} = q\,U$.**

Appliquons le théorème de l'énergie cinétique au cation dans le référentiel terrestre associé au laboratoire supposé galiléen, entre l'entrée et la sortie :
$(\Delta E_C)_{E\to S} = \sum W_{ES}\left(\overrightarrow{F_{ext}}\right)$ soit ici, si l'on ne considère que la force électrique :

$E_{CS} - E_{CE} = q\cdot U$
Or $v_e = 0$ m·s$^{-1}$ donc $E_{CE} = 0$ J. Ainsi : $\boxed{E_{CS} = q\cdot U}$

**Q3. Expliquer pourquoi les ions $I^+$ et $I_2^+$ en sortie d'accélérateur ont une énergie cinétique identique.**

Les ions $I^+$ et $I_2^+$ ont la même charge électrique $q = +e$. Ils ont donc la même énergie cinétique $\boxed{E_{CS} = q\cdot U}$ car $U$ est une constante.

L'expérience est d'abord réalisée avec une tension $U = 900$ V aux bornes des grilles. Lors du test, un analyseur d'énergie des ions placé en sortie d'accélérateur, permet de mesurer la répartition des ions en fonction de leur énergie cinétique. Les résultats de mesures sont synthétisés sur la figure 3 ci-dessous.

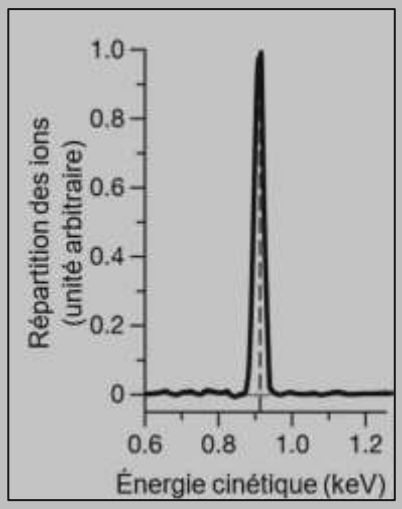



Figure 3. Répartition des ions en fonction de leur énergie cinétique.

**Q4. Calculer, en keV, la valeur de l'énergie cinétique théorique, notée $E_{CS}$(*théo*), des ions $I^+$ et $I_2^+$ en sortie de l'accélérateur dans les conditions de l'expérience. Indiquer si cette valeur est cohérente en la comparant à une valeur expérimentale à estimer grâce à la figure 3.**

$E_{CS}$(théo) = $q \cdot U$ soit $E_{CS}$(théo) = 1,60×10$^{-19}$ C × 900 V = **1,44×10$^{-16}$ J**.




Et 1 eV = 1,60 × 10$^{-19}$ J donc :

$E_{CS}$(théo) = 1,44×10$^{-16}$ J = $\dfrac{1{,}44\times10^{-16}\,\text{J}\times1\,\text{eV}}{1{,}60\times10^{-19}\,\text{J}}$ = 900 eV = **0,900 keV.**

Sur la figure 3 on peut lire la valeur expérimentale d'un peu plus de 0,9 keV, ce qui est cohérent avec la valeur théorique de 0,900 keV.

On cherche maintenant à étudier l'influence de la masse et de la charge électrique sur la vitesse de sortie $v_s$ pour les trois cations $I^+$, $I^{2+}$ et $I_2^+$.

**Q5. Rappeler l'expression de l'énergie cinétique en fonction de la masse *m* de l'ion ainsi que sa vitesse de sortie $v_s$ et montrer que de la vitesse de sortie s'exprimer : $v_s = \sqrt{\dfrac{2qU}{m}}$.**

Énergie cinétique de l'ion : $E_{CS} = \dfrac{1}{2}mv_s^2$

$E_{CS} = q \cdot U$ donc $\dfrac{1}{2}mv_s^2 = q \cdot U \Leftrightarrow v_s^2 = \dfrac{2qU}{m}$

En ne gardant que la solution positive : $v_s = \sqrt{\dfrac{2qU}{m}}$

Lorsque la poussée du moteur est maximale, la tension *U* a pour valeur *U* = 1,3 kV.

**Q6. Calculer la valeur de la vitesse de sortie $v_s(I^+)$ des ions $I^+$. Comparer avec l'ordre de grandeur de la vitesse d'éjection des ions données en début d'énoncé.**

$v_s = \sqrt{\dfrac{2\times1{,}60\times10^{-19}\times1{,}3\times10^{3}}{2{,}11\times10^{-25}}}\,m\cdot s^{-1}$ = **4,4×10$^4$ m·s$^{-1}$ = 44 km·s$^{-1}$**.

L'énoncé indique que les ions ont « une vitesse de l'ordre de plusieurs dizaines de kilomètres par seconde » ce qui est cohérent avec la vitesse trouvée.

**Q7. Les trois cations ont des vitesses de sortie différentes. Classer, sans faire de calcul, les vitesses de sortie des trois cations par ordre croissant à l'aide de l'expression de $v_s$ donnée à Q5.**

$v_s = \sqrt{\dfrac{2qU}{m}}$ avec une tension *U* constante. Donc $v_S$ varie comme $\sqrt{\dfrac{2q}{m}}$.

Pour l'ion $I^+$ on a *q* = *e* et *m* = $m_I$ : $v_S$ varie comme $\sqrt{\dfrac{2e}{m_I}}$.

Pour l'ion $I^{2+}$ on a *q* = 2*e* et *m* = $m_I$ : $v_S$ varie comme $\sqrt{\dfrac{4e}{m_I}}$.

Pour l'ion $I_2^+$ on a *q* = *e* et *m* = 2$m_I$ : $v_S$ varie comme $\sqrt{\dfrac{2e}{2m_I}} = \sqrt{\dfrac{e}{m_I}}$.

Ainsi : $\sqrt{\frac{e}{m_I}} < \sqrt{\frac{2e}{m_I}} < \sqrt{\frac{4e}{m_I}}$

soit $\boxed{v_s(I_2^+) < v_s(I^+) < v_s(I^{2+})}$

**Merci de nous signaler la présence d'éventuelles erreurs à labolycee@labolycee.org**