Corrigé et barème – Mouvement dans un champ électrique uniforme

Champ d'un condensateur plan et force électrique ; deuxième loi de Newton ; accélérer ou freiner une particule chargée ; énergie et électronvolt ; accélérateur linéaire ; déviation entre deux armatures.

Durée : 120 min – Calculatrice autorisée – Sur 20 points · Spécialité Physique-Chimie Terminale

Exercice 1 – Un ion bromure entre deux armatures ★★ *(4 pts)*

a) $E = \dfrac{U}{d} = \dfrac{660}{0{,}030} = \mathbf{2{,}2 \times 10^{4}\ V\cdot m^{-1}}$ (0,5 pt) ; champ uniforme, perpendiculaire aux armatures, dirigé de l'armature positive vers l'armature négative (0,5 pt). (1)

b) $F = e\,E = 1{,}60 \times 10^{-19} \times 2{,}2 \times 10^{4} \approx \mathbf{3{,}5 \times 10^{-15}\ N}$ (0,5 pt) ; charge négative : force opposée à $\vec{E}$, dirigée vers l'armature **positive** (0,5 pt). (1)

c) Système {ion}, référentiel du laboratoire supposé galiléen ; deuxième loi de Newton : $m\,\vec{a} = q\,\vec{E}$ (0,5 pt). $a = \dfrac{3{,}52 \times 10^{-15}}{1{,}31 \times 10^{-25}} \approx \mathbf{2{,}7 \times 10^{10}\ m\cdot s^{-2}}$ (0,5 pt). (1)

d) $\dfrac{a}{g} = \dfrac{2{,}69 \times 10^{10}}{9{,}81} \approx 2{,}7 \times 10^{9}$: l'effet du poids est des milliards de fois plus faible, le négliger est justifié (0,5 pt). $F = |q|\,\dfrac{U}{d}$: il faut diviser d par deux, armatures à **1,5 cm** (0,5 pt). (1)

Le point clé — Le champ ne dépend que de U et de d ; le sens de la force dépend du signe de la charge.

Exercice 2 – Accélérer un proton, puis un deuton ★★ *(4 pts)*

a) $W = q\,U = 1{,}60 \times 10^{-19} \times 3{,}6 \times 10^{3} \approx \mathbf{5{,}8 \times 10^{-16}\ J}$ (0,5 pt), soit **3,6 keV** : une charge élémentaire sous 3,6 kV (0,5 pt). (1)

b) Théorème de l'énergie cinétique, départ au repos : $\dfrac{1}{2}\,m_p\,v^2 = W$ (0,5 pt), donc $v = \sqrt{\dfrac{2 \times 5{,}76 \times 10^{-16}}{1{,}67 \times 10^{-27}}} \approx \mathbf{8{,}3 \times 10^{5}\ m\cdot s^{-1}}$ (0,5 pt). (1)

c) $v = \sqrt{\dfrac{2\,q\,U}{m}}$: à charge et tension égales, v varie comme $\dfrac{1}{\sqrt{m}}$; la masse étant doublée, la vitesse est divisée par $\sqrt{2}$ (0,5 pt) : $v' = \dfrac{8{,}31 \times 10^{5}}{1{,}414} \approx \mathbf{5{,}9 \times 10^{5}\ m\cdot s^{-1}}$ (0,5 pt). (1)

d) C'est l'énergie cinétique, et non la vitesse, qui est proportionnelle à U (0,5 pt) : doubler U multiplie la vitesse par $\sqrt{2} \approx 1{,}41$; il faudrait quadrupler U pour doubler v (0,5 pt). (1)

Le point clé — L'énergie gagnée $q\,U$ ne dépend pas de la masse ; la vitesse varie comme $\sqrt{\dfrac{q\,U}{m}}$.

Exercice 3 – Quatre affirmations à examiner ★★★ *(4 pts)*

a) **Fausse.** $E = \dfrac{U}{d} : \dfrac{2\,U}{2\,d} = \dfrac{U}{d}$, le champ ne change pas (0,5 pt), donc la force $e\,E$ non plus (0,5 pt). (1)

b) **Vraie.** $|a| = \dfrac{e\,E}{m_e} = \dfrac{1{,}60 \times 10^{-19} \times 50}{9{,}11 \times 10^{-31}} \approx 8{,}78 \times 10^{12}$ m·s^{-2}, arrêt après $\dfrac{v_0^2}{2\,|a|} \approx 5{,}7 \times 10^{-2}$ m (0,5 pt). L'accélération reste la même après l'arrêt : l'électron rebrousse chemin (0,5 pt). (1)

c) **Fausse.** $v_x = v_0$, mais $v_y = a_y\,t \neq 0$ à la sortie : $v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} > v_0$ (0,5 pt). L'électron s'est rapproché de l'armature positive : la force électrique a fourni un travail positif (0,5 pt). (1)

d) **Vraie.** $F = e\,E = 1{,}60 \times 10^{-19}$ N et $P = m_p\,g \approx 1{,}64 \times 10^{-26}$ N (0,5 pt) : $\dfrac{F}{P} \approx 9{,}8 \times 10^{6}$, près de dix millions (0,5 pt). (1)

Le point clé — Juger chaque affirmation par une relation du cours : $E = U/d$, $\ell = v_0^2/(2a)$, $v^2 = v_x^2 + v_y^2$, F/P.

Exercice 4 – Un accélérateur linéaire d'ions H^- ★★★ *(4 pts)*

a) Charge négative : $\vec{F} = q\,\vec{E}$ est opposée à $\vec{E}$ (0,5 pt) ; pour accélérer l'ion, $\vec{E}$ doit être orienté **en sens inverse du mouvement** (0,5 pt). (1)

b) Champ nul dans un tube : aucune force (poids négligé), mouvement **rectiligne uniforme** (0,5 pt). L'ion y reste une demi-période, le temps que la tension s'inverse : $\dfrac{T}{2} = \dfrac{1}{2f} = \mathbf{1{,}0 \times 10^{-8}\ s}$ (0,5 pt). (1)

c) $E_c = 6 \times 45 = \mathbf{270\ keV}$, soit $270 \times 10^3 \times 1{,}60 \times 10^{-19} = \mathbf{4{,}32 \times 10^{-14}\ J}$ (0,5 pt) ; $v = \sqrt{\dfrac{2 \times 4{,}32 \times 10^{-14}}{1{,}67 \times 10^{-27}}} \approx \mathbf{7{,}2 \times 10^{6}\ m{\cdot}s^{-1}}$ (0,5 pt). (1)

d) Après 45 keV, $v_1 \approx 2{,}94 \times 10^6$ m·s^{-1} et $L_1 \approx \mathbf{2{,}9\ cm}$ (0,5 pt) ; $v_6 = \sqrt{6}\,v_1$ et $L_6 \approx \mathbf{7{,}2\ cm}$ (0,5 pt). (1)

Le point clé — L'énergie se gagne dans les intervalles ; la longueur des tubes suit la vitesse.

Exercice 5 – Déviation : le cas limite ★★★ *(4 pts)*

a) Origine à l'entrée, Ox selon $\vec{v}_0$, Oy vers l'armature positive ; $m\,\vec{a} = q\,\vec{E}$ donne $a_x = 0$, $a_y = \dfrac{e\,E}{m_e}$ (0,5 pt). Deux primitives : $x = v_0\,t$, $y = \dfrac{1}{2}\,a_y\,t^2$, d'où $y = \dfrac{e\,E}{2\,m_e\,v_0^2}\,x^2$, une parabole (0,5 pt). (1)

b) $E = U/d$, soit $1{,}0 \times 10^4$ V·m^{-1}, et $a_y \approx 1{,}76 \times 10^{15}$ m·s^{-2} (0,5 pt) ; $t = L/v_0 \approx 4{,}17 \times 10^{-9}$ s, $y = \dfrac{1}{2}\,a_y\,t^2 \approx \mathbf{15\ mm}$ (0,5 pt). (1)

c) Entré au milieu, l'électron ne dispose que de $d/2 = 12{,}5$ mm < 15 mm : il heurte l'armature positive (0,5 pt). Impact pour $y = 1{,}25 \times 10^{-2}$ m : $x = v_0\sqrt{\dfrac{2y}{a_y}} \approx \mathbf{4{,}5\ cm}$ (0,5 pt). (1)

d) La déviation en sortie est proportionnelle à U (0,5 pt) : $U_{\max} = 250 \times \dfrac{12{,}5}{15{,}25} \approx \mathbf{205\ V}$ (0,5 pt). (1)

Le point clé — Avant de calculer la sortie, vérifier que la déviation reste inférieure à $d/2$.

Ce document est la propriété intellectuelle de Ben, professeur particulier (benprofparticulier.fr), protégée par le Code de la propriété intellectuelle (art. L. 111-1 et L. 122-4). Il est mis à disposition pour un usage personnel de révision. Toute reproduction, diffusion, mise en ligne ou revente, totale ou partielle, sans autorisation écrite est interdite et constitue une contrefaçon (art. L. 335-2).