Mouvement dans un champ électrique uniforme

Fiche méthode

(Physique-chimie Tle spécialité · Mouvement et interactions · Relier les actions appliquées à un système à son mouvement)

La démarche pour étudier une particule chargée dans un champ uniforme

1. Je fixe le cadre : système (la particule), référentiel du laboratoire supposé galiléen, repère avec un axe selon $\vec{v}_0$ et un axe selon $\vec{E}$.

2. Je calcule le champ et la force : $E = \dfrac{U}{d}$ (d en mètres), $F = |q|\,E$, sens selon le signe de q ; je compare au poids avant de le négliger.

3. J'applique la deuxième loi de Newton : $\vec{a} = \dfrac{q\,\vec{E}}{m}$, puis je projette.

4. Je cherche les primitives avec les conditions initiales : v_x, v_y, puis $x(t)$, $y(t)$ et, si besoin, $y(x)$.

5. Je traduis la question : arrêt $v = 0$, sortie $x = L$, impact $y = \dfrac{d}{2}$; une vitesse sans durée par l'énergie, $\Delta E_c = q\,U_{AB}$.

Le réflexe — la force $q\,\vec{E}$ est constante : $\vec{a} = \dfrac{q\,\vec{E}}{m}$, deux primitives et les conditions initiales donnent tout le mouvement.

Cas 1 · Calculer le champ et la force électrique

Réflexe — $E = \frac{U}{d}$ avec d en mètres ; $F = |q|\,E$; une charge négative va vers l'armature positive.

Exemple. Armatures distantes de 7,5 mm sous 300 V. Champ, puis force sur un électron ?

$E = \dfrac{300}{7{,}5 \times 10^{-3}} = \mathbf{4{,}0 \times 10^{4}\ V\cdot m^{-1}}$; $F = 1{,}60 \times 10^{-19} \times 4{,}0 \times 10^{4} = \mathbf{6{,}4 \times 10^{-15}\ N}$, vers l'armature positive.

Attention — doubler U double E ; doubler d divise E par deux ; la surface des armatures ne compte pas.

Cas 2 · Appliquer la deuxième loi de Newton

Réflexe — $m\,\vec{a} = q\,\vec{E}$: $a = \frac{|q|\,E}{m}$, constante.

Exemple. Accélération d'un proton dans un champ de $3{,}0 \times 10^{3}$ V·m⁻¹ ?

$a = \dfrac{1{,}60 \times 10^{-19} \times 3{,}0 \times 10^{3}}{1{,}67 \times 10^{-27}} \approx \mathbf{2{,}9 \times 10^{11}\ m\cdot s^{-2}}$, dans le sens de $\vec{E}$.

Attention — $\vec{a}$ a la direction de $\vec{E}$, pas celle de $\vec{v}$; elle dépend de $\frac{q}{m}$.

Cas 3 · Étudier une accélération ou un freinage

Réflexe — $v = a_x\,t + v_0$, $x = \frac{1}{2}a_x\,t^2 + v_0\,t$; arrêt à $t_1 = \frac{v_0}{|a_x|}$.

Exemple. Un électron entre à $2{,}0 \times 10^{6}$ m·s⁻¹ dans un champ de 500 V·m⁻¹ qui le freine. Distance d'arrêt ?

$|a| = \dfrac{1{,}60 \times 10^{-19} \times 500}{9{,}11 \times 10^{-31}} \approx 8{,}78 \times 10^{13}$ m·s⁻² ; $\ell = \dfrac{v_0^2}{2\,|a|} \approx \mathbf{2{,}3\ cm}$.

Attention — après l'arrêt, la particule rebrousse chemin : elle ne reste pas immobile.

Cas 4 · Utiliser l'énergie et l'électronvolt

Réflexe — $\frac{1}{2}m\,v^2 - \frac{1}{2}m\,v_0^2 = q\,U_{AB}$; une charge $z\,e$ sous U volts gagne $z\,U$ eV.

Exemple. Un proton part du repos sous 5,0 kV. Énergie et vitesse ?

$E_c = 5{,}0\ \text{keV} = 8{,}0 \times 10^{-16}\ \text{J}$; $v = \sqrt{\dfrac{2 \times 8{,}0 \times 10^{-16}}{1{,}67 \times 10^{-27}}} \approx \mathbf{9{,}8 \times 10^{5}\ m\cdot s^{-1}}$.

Attention — quadrupler U ne fait que doubler v ; l'eV est une énergie, pas une tension.

Cas 5 · Décrire un accélérateur linéaire

Réflexe — $E_c = E_{c0} + n\,|q|\,U$; dans un tube, mouvement uniforme pendant $\frac{T}{2}$; $L = v\,\frac{T}{2}$.

Exemple. Des ions de charge $2e$, partis du repos, traversent 12 intervalles sous 30 kV. Énergie finale ?

$12 \times 2 \times 30 = \mathbf{720\ keV}$, sans calcul de vitesse.

Attention — la tension doit être alternative ; rien n'est gagné dans les tubes.

Cas 6 · Calculer une déviation

Réflexe — $x = v_0\,t$, $y = \frac{1}{2}a_y\,t^2$; sortie à $t_s = \frac{L}{v_0}$; puis $\tan\alpha = \frac{2\,y_s}{L}$.

Exemple. Électron à $2{,}5 \times 10^{7}\ \text{m·s}^{-1}$, champ $1{,}5 \times 10^{4}\ \text{V·m}^{-1}$, armatures de 4,0 cm. Déviation en sortie ?

$a_y \approx 2{,}63 \times 10^{15}\ \text{m·s}^{-2}$, $t_s = 1{,}6 \times 10^{-9}\ \text{s}$; $y_s = \frac{1}{2}a_y\,t_s^2 \approx \mathbf{3{,}4\ mm}$.

Attention — y_s varie comme $\frac{1}{v_0^2}$: doubler v_0 divise la déviation par 4.

Les pièges

- Laisser d en centimètres dans $E = \frac{U}{d}$: champ 100 fois trop petit.
- Donner à un électron une force dans le sens de $\vec{E}$: elle est de sens opposé.
- Négliger le poids d'une gouttelette ou d'une bille : il faut comparer les deux forces.
- Croire que l'énergie reçue dépend de la masse : $W = q\,U$, seule la vitesse en dépend.
- Prolonger la parabole après les armatures : sans champ, la trajectoire est une droite.

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).