



CORRECTION FICHE 1 EXERCICES COURS n°5

« Deuxième loi de Newton - Mouvement dans un champ »

Attention dans ces corrections les constantes k_1, k_2, k_3, \dots correspondent « aux conditions initiales » c'est-à-dire aux coordonnées du vecteur \vec{v}_0 et \vec{OG}_0 soit V_{0x}, V_{0y} et V_{0z} ou x_0, y_0 et z_0 .

17 1. a. La pierre est à l'arrêt, donc $\vec{v} = \vec{0}$.

Donc $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{0}$ et, d'après la 2^e loi de Newton,
 $\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a} = \vec{0}$.

b. Comme $\vec{v} = \vec{0}$ et $\Sigma \vec{F} = \vec{0}$ le système est à l'équilibre.

2. a. La pierre est en mouvement rectiligne uniforme : $\vec{v} = \text{cte}$.

Donc $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{0}$ et, d'après la 2^e loi de Newton,
 $\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a} = \vec{0}$.

b. Comme $\vec{v} \neq \vec{0}$, même si $\Sigma \vec{F} = \vec{0}$, le système n'est pas à l'équilibre

Remarque : l'exercice peut être résolu avec la 1^{re} loi de Newton.

$$27 \quad 1. \vec{a}_{20} = \frac{\Delta \vec{v}_{20}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_{21} - \vec{v}_{19}}{2\tau}$$

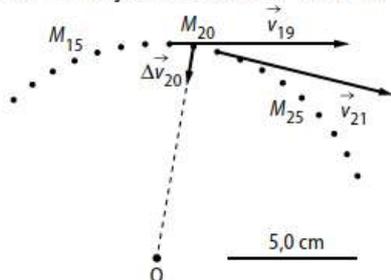
$$\text{Or } \vec{v}_{19} = \frac{M_{18}M_{20}}{\Delta t} = \frac{M_{18}M_{20}}{2\tau} \text{ et } \vec{v}_{21} = \frac{M_{20}M_{22}}{\Delta t} = \frac{M_{20}M_{22}}{2\tau}$$

Sur l'enregistrement, $M_{18}M_{20} = M_{20}M_{22} = 0,55 \text{ cm}$ (on prend les mesures du manuel élève) et l'échelle mesure 1,45 cm pour 5,0 cm dans la réalité, d'où le fait que $M_{18}M_{20}$ et $M_{20}M_{22}$ mesurent 1,9 cm dans la réalité.

$$\text{Ainsi } v_{19} = v_{21} = \frac{1,9 \times 10^{-2}}{2 \times 20 \times 10^{-3}} = 0,48 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Les deux vitesses ont la même valeur mais pas la même direction : il faut donc tracer le vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}_{20}$ pour mesurer sa longueur et déterminer sa valeur.

On représente les vecteurs vitesse et variation de vitesse par une nouvelle échelle : 1,0 cm pour $0,20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Ainsi \vec{v}_{19} et \vec{v}_{21} mesurent 2,4 cm et sont tangents à la trajectoire dans le sens du mouvement.



La construction de $\Delta \vec{v}_{20}$ permet de déterminer les caractéristiques de \vec{a}_{20} :

- direction : la même que $\Delta \vec{v}_{20}$, c'est-à-dire la direction du fil $M_{20}O$.

- sens : le même que $\Delta \vec{v}_{20}$, de M_{20} au point O de l'axe de rotation.

- valeur : $\Delta \vec{v}_{20}$ mesure 0,50 cm, soit avec l'échelle, $\Delta v_{20} = 0,10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, donc :

$$a_{20} = \frac{0,10}{2 \times 20 \times 10^{-3}} = 2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Remarque : le mouvement est circulaire uniforme et, pourtant, il y a une accélération : elle correspond à l'accélération normale dans le repère de Frenet (voir le chapitre 10).

2. Le mobile est soumis à 3 actions mécaniques modélisées par les forces suivantes :

- le poids \vec{P} ;
- la réaction de la table \vec{R} ;
- la force de tension du fil \vec{T} ;



3. D'après la 2^e loi de Newton :

$\Sigma \vec{F} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{T} = m \cdot \vec{a}$. Or \vec{P} et \vec{R} se compensent puisque, sans la tension du fil, le mobile est soit immobile, soit en mouvement rectiligne uniforme.

D'où $\vec{T} = m \cdot \vec{a}$ et donc :

$$T = 400 \times 10^{-3} \times 2,5 = 1,0 \text{ N}$$

10 1. On néglige l'action de l'air sur la balle. D'après la deuxième loi de Newton :

$m \cdot \vec{a} = m \cdot \vec{g}_0$, d'où $\vec{a} = \vec{g}_0$. Dans le repère orthonormé $(O; x, y, z)$, puisque $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$, on a :

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = a_x = 0 \\ \frac{dv_y}{dt} = a_y = -g_0 \\ \frac{dv_z}{dt} = a_z = 0 \end{cases}$$

Par intégration, on en déduit un ensemble de primitives possibles :

$$\vec{v}(t) = \begin{cases} v_x(t) = k_1 \\ v_y(t) = -g_0 \cdot t + k_2 \\ v_z(t) = k_3 \end{cases} \text{ où } k_1, k_2 \text{ et } k_3 \text{ sont des constantes.}$$

La connaissance de la vitesse initiale (à $t = 0$ s) permet d'établir les valeurs de chacune des deux constantes par identification de deux termes égaux :

$\vec{v}(0) = \vec{v}_0$, d'où :

$$\begin{cases} v_x(0) = k_1 = v_0 \cdot \cos \theta \\ v_y(0) = -g_0 \cdot 0 + k_2 = v_0 \cdot \sin \theta \\ v_z(0) = k_3 = 0 \end{cases}$$

$$\vec{v}(t) = \begin{cases} v_x(t) = v_0 \cdot \cos \theta \\ v_y(t) = -g_0 \cdot t + v_0 \cdot \sin \theta \\ v_z(t) = 0 \end{cases}$$

De même, puisque $\vec{v} = \frac{d\vec{OG}}{dt}$, après intégration et en connaissant la position initiale O à $t = 0$ s, les équations horaires de la position s'écrivent :

$$\vec{OG}(t) = \begin{cases} x(t) = v_0 \cdot \cos \theta \cdot t \\ y(t) = -\frac{1}{2}g_0 \cdot t^2 + v_0 \cdot \sin \theta \cdot t \\ z(t) = 0 \end{cases}$$

35 1. On étudie le mouvement dans le référentiel terrestre galiléen.

2. La vitesse initiale est $v(0) = 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

3. a. La courbe représentant $v = f(t)$ est une fonction affine du type $v = m \cdot t + p$.

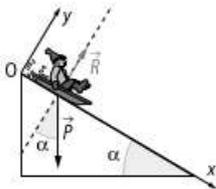
Comme $a = \frac{dv}{dt}$, l'accélération correspond donc au coefficient directeur de la droite.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{3,0 - 2,0}{1,0 - 0,0} = 1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

b. Le vecteur \vec{a} est dans la direction de la pente, c'est-à-dire l'axe (Ox) , et dans le sens de la pente, c'est-à-dire vers les x croissants.

4. a. Les frottements de la piste et de l'air étant négligés, le système est soumis aux actions de la Terre, modélisées par le poids \vec{P} , et à la réaction de la piste, modélisée par la force \vec{R} .

b.



2. $z(t) = 0$, donc le mouvement s'effectue dans le plan (xOy) .

3. La portée est obtenue à l'instant t_p tel que $y(t_p) = 0$ m, soit pour :

$$y(t_p) = -\frac{1}{2}g_0 \cdot t_p^2 + v_0 \cdot \sin \theta \cdot t_p = 0$$

D'où $t_p = \frac{2v_0 \cdot \sin \theta}{g_0}$ et la portée vaut :

$$x_{\max} = x(t_p) = v_0 \cdot \cos \theta \cdot t_p = \frac{2v_0^2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta}{g_0}$$

$$4. x_{\max} = \frac{2 \times 75,0^2 \times \sin 11^\circ \times \cos 11^\circ}{9,81} = 215 \text{ m, ce}$$

qui est bien inférieur à la valeur limite annoncée.

5. a. D'après la 2^e loi de Newton :

$$\Sigma \vec{F} = \vec{P} + \vec{R} = m \cdot \vec{a}$$

b. En prenant les coordonnées sur (Ox) :

$$P \cdot \sin \alpha + 0 = m \cdot a_x$$

En prenant les coordonnées sur (Oy) :

$$-P \cdot \cos \alpha + R = m \cdot a_y = 0, \text{ puisque, d'après 3. b, } \vec{a} \text{ suit } (Ox).$$

c. $P \cdot \sin \alpha + 0 = m \cdot a$, donc :

$$m \cdot g \cdot \sin \alpha = m \cdot a, \text{ soit :}$$

$$g \cdot \sin \alpha = a, \text{ d'où } \sin \alpha = \frac{a}{g}.$$

Donc :

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{a}{g}\right) = \arcsin\left(\frac{1,0}{9,8}\right) = 5,9^\circ.$$

9 1. D'après la deuxième loi de Newton :
 $m \cdot \vec{a} = m \cdot \vec{g}_0$, d'où $\vec{a} = \vec{g}_0$.

2. Dans le repère (O ; z), puisque $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$, on a
 $\frac{dv_z}{dt} = g_0$.

Par intégration, on en déduit un ensemble de primitives possibles :

$v_z(t) = g_0 \cdot t + k_1$, où k_1 est une constante à déterminer.

La connaissance de la vitesse initiale permet de trouver k_1 par identification :

$v_z(0) = g_0 \times 0 + k_1 = 0$ (vitesse initiale nulle), d'où
 $v_z(t) = g_0 \cdot t$.

De même, comme $\vec{v} = \frac{d\text{OG}}{dt}$, après intégration et en connaissant la position initiale O à $t = 0$ s, on a :

$$z(t) = \frac{1}{2}g_0 \cdot t^2$$

3. La trajectoire est rectiligne portée par l'axe (Oz), donc le mouvement de la bille est plan.

4. À l'instant t_c de l'impact, $z(t_c) = h$, d'où :

$$z(t_c) = \frac{1}{2}g_0 \cdot t_c^2 = h, \text{ soit } t_c = \sqrt{\frac{2h}{g_0}}$$

$$\text{et } t_c = \sqrt{\frac{2 \times 1,00}{9,81}} = 0,452 \text{ s.}$$

5. La vitesse maximale est atteinte à l'instant t_c .

$$v_z(t_c) = g_0 \cdot t_c \text{ et } v_z(t_c) = 9,81 \times 0,452 = 4,43 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

11 1. On néglige l'action de l'air sur le système. D'après la deuxième loi de Newton, $m \cdot \vec{a} = m \cdot \vec{g}_0$, d'où $\vec{a} = \vec{g}_0$. Dans le repère orthonormé (O ; x, y, z), puisque $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$, on a :

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = a_x = 0 \\ \frac{dv_y}{dt} = a_y = 0 \\ \frac{dv_z}{dt} = a_z = -g_0 \end{cases}$$

2. Par intégration, on en déduit un ensemble de primitives possibles :

$$\vec{v}(t) = \begin{cases} v_x(t) = k_1 \\ v_y(t) = k_2 \\ v_z(t) = -g_0 \cdot t + k_3 \end{cases}$$

où k_1 , k_2 et k_3 sont des constantes.

La connaissance de la vitesse initiale (à $t = 0$ s) permet d'établir les valeurs de chacune des deux constantes par identification de deux termes égaux : $\vec{v}(0) = \vec{v}_0$, d'où :

$$\begin{cases} v_x(0) = k_1 = v_0 \\ v_y(0) = k_2 = 0 \\ v_z(0) = -g_0 \times 0 + k_3 = 0 \end{cases} \text{ soit } \vec{v}(t) = \begin{cases} v_x(t) = v_0 \\ v_y(t) = 0 \\ v_z(t) = -g_0 \cdot t \end{cases}$$

De même, puisque $\vec{v} = \frac{d\text{OG}}{dt}$, après intégration, les équations horaires de la position s'écrivent :

$$\vec{\text{OG}}(t) = \begin{cases} x(t) = v_0 \cdot t + k_4 \\ y(t) = k_5 \\ z(t) = -\frac{g_0}{2} \cdot t^2 + k_6 \end{cases} \text{ et, en connaissant la}$$

position initiale d'altitude $z(0) = H$, il vient :

$$x(t) = v_0 \cdot t ; y(t) = 0 ; z(t) = -\frac{1}{2}g_0 \cdot t^2 + H.$$

3. $y(t) = 0$, donc le mouvement s'effectue dans le plan (xOz).

4. La phase descendante s'interrompt à l'instant t_d pour lequel $z(t_d) = h$.

$$\text{Soit } -\frac{1}{2}g_0 \cdot t_d^2 + H = h.$$

$$\text{D'où } t_d = \sqrt{\frac{2(H-h)}{g_0}}.$$

$$t_d = \sqrt{\frac{2 \times (4,5 - 0,70)}{9,81}} = 0,88 \text{ s}$$

15 1. a. D'après la deuxième loi de Newton :

$$m \cdot \vec{a} = \vec{F}_e = -e \cdot \vec{E},$$

$$\text{d'où } \vec{a} = \frac{-e}{m} \cdot \vec{E}$$

b. Dans le repère orthonormé (O ; x, y, z), puisque

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}, \text{ on a :}$$

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = a_x = 0 \\ \frac{dv_y}{dt} = a_y = -\frac{e \cdot E}{m} \\ \frac{dv_z}{dt} = a_z = 0 \end{cases}$$

Par intégration, on en déduit un ensemble de pri-

$$\text{mitives possibles : } \vec{v}(t) \begin{cases} v_x(t) = k_1 \\ v_y(t) = -\frac{e \cdot E}{m}t + k_2 \text{ où } k_1 \\ v_z(t) = k_3 \end{cases}$$

k_2 et k_3 sont des constantes.

La connaissance de la vitesse initiale (à $t = 0$ s) permet d'établir les valeurs de chacune des constantes par identification de deux termes égaux : $\vec{v}(0) = \vec{v}_0$, d'où :

$$\begin{cases} v_x(0) = k_1 = v_0 \cdot \cos \alpha \\ v_y(0) = -\frac{e \cdot E}{m} \times 0 + k_2 = v_0 \cdot \sin \alpha \\ v_z(0) = k_3 = 0 \end{cases}$$

D'où : $v_x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha$;

$$v_y(t) = -\frac{e \cdot E}{m}t + v_0 \cdot \sin \alpha.$$

c. De même, on obtient les coordonnées $x(t)$ et $y(t)$ après une deuxième intégration :

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t \\ y(t) = \frac{1}{2} \times \frac{-e \cdot E}{m} t^2 + v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t \end{cases} \text{ car, à } t = 0 \text{ s,}$$

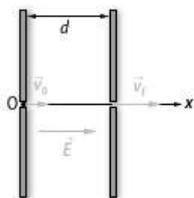
le système est en O de coordonnées (0 ; 0).

d. $z(t) = 0$, donc le mouvement s'effectue dans le plan (xOy).

2. a. Par substitution de la variable $t = \frac{x}{v_0 \cdot \cos \alpha}$

dans l'expression de $y(t)$, on obtient l'équation de la trajectoire de la particule :

14 1.



D'après le schéma de l'énoncé, $v_1 > v_0$, donc l'armature de droite est chargée négativement pour accélérer le proton. Ainsi, le champ \vec{E} est orthogonal aux plaques et orienté vers l'armature négative (x croissant).

$$y(x) = \frac{-e \cdot E}{2m \cdot v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} x^2 + x \cdot \tan \alpha$$

b. Il s'agit d'une portion de parabole.

3. a. Les coordonnées du point C sont $x_C = \ell$ et $y_C = 0$. En utilisant ces coordonnées, l'équation de la trajectoire devient :

$$\frac{-e \cdot E}{2m \cdot v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \ell^2 + \ell \cdot \tan \alpha = 0 \text{ d'où :}$$

$$\frac{e \cdot E}{2m \cdot v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \ell^2 = \ell \cdot \tan \alpha.$$

Puis :

$$\begin{aligned} e \cdot E \cdot \ell &= 2m \cdot v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha \cdot \tan \alpha \\ &= 2m \cdot v_0^2 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \\ &= m \cdot v_0^2 \cdot \sin 2\alpha \end{aligned}$$

$$\text{Soit } \sin 2\alpha = \frac{e \cdot E \cdot \ell}{m \cdot v_0^2}$$

$$\text{b. } \sin 2\alpha = \frac{1,6 \times 10^{-19} \times 850 \times 20 \times 10^{-2}}{9,1 \times 10^{-31} \times (1,0 \times 10^7)^2}$$

D'où $\alpha = 8,7^\circ$.

15 1. a. D'après la deuxième loi de Newton :

$$m \cdot \vec{a} = \vec{F}_e = -e \cdot \vec{E},$$

$$\text{d'où } \vec{a} = \frac{-e}{m} \cdot \vec{E}$$

b. Dans le repère orthonormé (O ; x, y, z), puisque

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}, \text{ on a :}$$

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = a_x = 0 \\ \frac{dv_y}{dt} = a_y = -\frac{e \cdot E}{m} \\ \frac{dv_z}{dt} = a_z = 0 \end{cases}$$

Par intégration, on en déduit un ensemble de pri-

$$\text{mitives possibles : } \vec{v}(t) \begin{cases} v_x(t) = k_1 \\ v_y(t) = -\frac{e \cdot E}{m}t + k_2 \text{ où } k_1 \\ v_z(t) = k_3 \end{cases}$$

2. a. L'action mécanique de la Terre est modélisée par le poids $P = m \cdot g$.

La force électrique a pour expression, en valeur, $F_e = e \cdot E$, d'où le rapport :

$$\frac{F_e}{P} = \frac{e \cdot E}{m \cdot g} \text{ soit } \frac{F_e}{P} = \frac{1,6 \times 10^{-19} \times 2,0 \times 10^3}{1,7 \times 10^{-27} \times 9,81} = 1,9 \times 10^{10}.$$

L'action de la Terre est négligeable devant celle modélisée par la force électrique.

b. D'après la deuxième loi de Newton :

$$m \cdot \vec{a} = \vec{F}_e = e \cdot \vec{E}, \text{ d'où } \vec{a} = \frac{e}{m} \cdot \vec{E}.$$

3. a. Par projection, on obtient $a_x = \frac{e \cdot E}{m}$.

b. Puisque $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$, on obtient après intégration :

$$v_x(t) = \frac{e \cdot E}{m} \cdot t + k_1, \text{ où } k_1 \text{ est une constante à déterminer.}$$

Or, à $t = 0$ s, $\vec{v}(0) = v_0 \cdot \vec{i}$, d'où $k_1 = v_0$ et

$$v_x(t) = \frac{e \cdot E}{m} \cdot t + v_0.$$

De même, on obtient $x(t)$ après une deuxième intégration :

$$x(t) = \frac{e \cdot E}{2m} t^2 + v_0 \cdot t \text{ car, à } t = 0 \text{ s, le système est en O, d'abscisse 0.}$$

c. L'accélérateur est linéaire car le mouvement de la particule s'effectue selon l'axe (Ox).

4. a. Le proton sort de l'accélérateur à l'instant t_s tel que $x(t_s) = d$.

t_s est donc la racine positive de l'équation du second degré en t suivante :

$$\frac{e \cdot E}{2m} t^2 + v_0 \cdot t - d = 0$$

Le discriminant de l'équation s'écrit :

$$\Delta = v_0^2 + 4d \frac{e \cdot E}{2m} = v_0^2 + \frac{2e \cdot E \cdot d}{m},$$

Soit

$$\Delta = (2,0 \times 10^3)^2 + \frac{2 \times 1,6 \times 10^{-19} \times 2,0 \times 10^3 \times 18,0 \times 10^{-2}}{1,7 \times 10^{-27}} = 6,8 \times 10^{10} \text{ SI.}$$

$$\text{La racine positive est : } t_s = \frac{-v_0 + \sqrt{\Delta}}{2 \frac{e \cdot E}{2m}} = \frac{(-v_0 + \sqrt{\Delta}) \cdot m}{e \cdot E}$$

$$\text{Soit } t_s = \frac{(-2,0 \times 10^3 + \sqrt{6,8 \times 10^{10}}) \times 1,7 \times 10^{-27}}{1,6 \times 10^{-19} \times 2,0 \times 10^3} = 1,4 \times 10^{-6} \text{ s}$$

b. $v_f = v_x(t_s) = \frac{e \cdot E}{m} \cdot t_s + v_0$ soit :

$$v_f = \frac{1,6 \times 10^{-19} \times 2,0 \times 10^3}{1,7 \times 10^{-27}} \times 1,4 \times 10^{-6} + 2,0 \times 10^3 = 2,6 \times 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

On vérifie que ce condensateur plan joue le rôle d'accélérateur de particules.

k_2 et k_3 sont des constantes.

La connaissance de la vitesse initiale (à $t = 0$ s) permet d'établir les valeurs de chacune des constantes par identification de deux termes égaux : $\vec{v}(0) = \vec{v}_0$, d'où :

$$\begin{cases} v_x(0) = k_1 = v_0 \cdot \cos \alpha \\ v_y(0) = -\frac{e \cdot E}{m} \times 0 + k_2 = v_0 \cdot \sin \alpha \\ v_z(0) = k_3 = 0 \end{cases}$$

D'où : $v_x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha$;

$$v_y(t) = -\frac{e \cdot E}{m} t + v_0 \cdot \sin \alpha.$$

c. De même, on obtient les coordonnées $x(t)$ et $y(t)$ après une deuxième intégration :

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t \\ y(t) = \frac{1}{2} \times \frac{-e \cdot E}{m} t^2 + v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t \end{cases} \text{ car, à } t = 0 \text{ s,}$$

le système est en O de coordonnées (0 ; 0).

d. $z(t) = 0$, donc le mouvement s'effectue dans le plan (xOy).

2. a. Par substitution de la variable $t = \frac{x}{v_0 \cdot \cos \alpha}$

dans l'expression de $y(t)$, on obtient l'équation de la trajectoire de la particule :

$$y(x) = \frac{-e \cdot E}{2m \cdot v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} x^2 + x \cdot \tan \alpha$$

b. Il s'agit d'une portion de parabole.

3. a. Les coordonnées du point C sont $x_C = \ell$ et $y_C = 0$. En utilisant ces coordonnées, l'équation de la trajectoire devient :

$$\frac{-e \cdot E}{2m \cdot v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \ell^2 + \ell \cdot \tan \alpha = 0 \text{ d'où :}$$

$$\frac{e \cdot E}{2m \cdot v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \ell^2 = \ell \cdot \tan \alpha.$$

Puis :

$$\begin{aligned} e \cdot E \cdot \ell &= 2m \cdot v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha \cdot \tan \alpha \\ &= 2m \cdot v_0^2 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \\ &= m \cdot v_0^2 \cdot \sin 2\alpha \end{aligned}$$

$$\text{Soit } \sin 2\alpha = \frac{e \cdot E \cdot \ell}{m \cdot v_0^2}$$

$$\text{b. } \sin 2\alpha = \frac{1,6 \times 10^{-19} \times 850 \times 20 \times 10^{-2}}{9,1 \times 10^{-31} \times (1,0 \times 10^7)^2}$$

D'où $\alpha = 8,7^\circ$.