Les mouvements dans un champ uniforme

Cours

Sommaire

I Le mouvement dans un champ de pesanteur uniforme

De par sa masse, un astre crée un champ de pesanteur uniforme. Un corps massique placé dans un champ de pesanteur subit une force appelée le poids. L'application de la deuxième loi de Newton à un corps massique permet de déterminer les coordonnées de son vecteur accélération. Par intégration de ces coordonnées, on obtient celles des vecteurs vitesse et position. Ces coordonnées des vecteurs vitesse et position permettent d'établir l'équation de la trajectoire. L'exploitation de ces équations permet de déterminer certaines grandeurs caractéristiques du mouvement.

A Le champ de pesanteur et le poids

À la surface d'un astre, il règne un champ de pesanteur uniforme. Lorsqu'un corps ayant une masse est placé dans ce champ de pesanteur, il subit une force appelé poids.

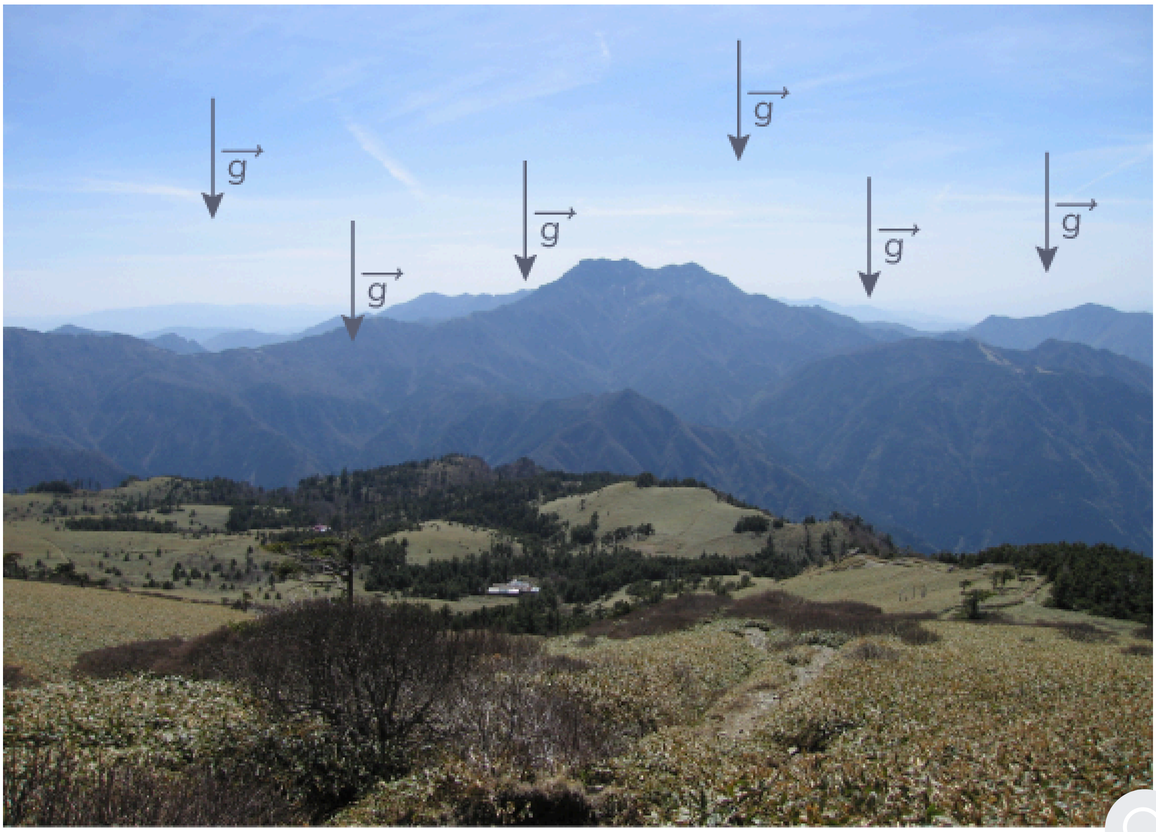
PROPRIÉTÉ

Du fait de sa masse, un astre crée autour de lui un champ de pesanteur, caractérisé par le vecteur accélération de la pesanteur $\overrightarrow{g}$. Localement, le champ de pesanteur est uniforme. Son vecteur est vertical, orienté vers le bas et sa valeur, exprimée en N.kg^{-1} ou en m.s^{-2} qui sont des unités similaires.
Il dépend de l'astre considéré.

EXEMPLE

La valeur du champ de pesanteur existant à la surface de la Terre est :
$g = 9{,}81 \text{ N.kg}^{-1}$

On arrondit souvent cette valeur à :
$g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$



Champ de pesanteur à la surface de la Terre

Il est important de savoir écrire les composantes du vecteur champ de pesanteur dans un repère donné.

PROPRIÉTÉ

Dans un repère donné, les composantes du vecteur champ de pesanteur dépendent de son orientation par rapport aux axes du repère.
Généralement, le repère utilisé pour décrire le mouvement d'un système est composé d'un axe $\left(O, \overrightarrow{i}\right)$ orienté vers la droite, associé à l'abscisse x , et d'un axe vertical $\left(O, \overrightarrow{j}\right)$ orienté vers le haut, associé à l'ordonnée y . Dans ce repère, le vecteur champ de pesanteur peut s'écrire :
$\overrightarrow{g} = -g.\overrightarrow{j}$

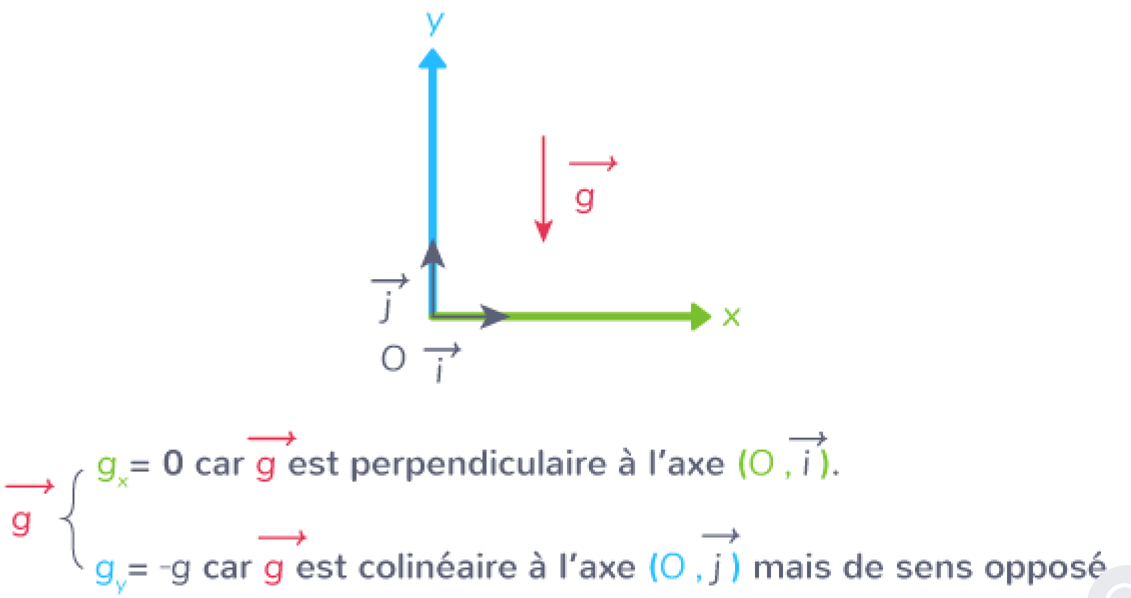
Ses composantes sont :

$$\begin{cases} g_x = 0 \\ \\ g_y = -g \end{cases}$$

Ainsi, on peut écrire le vecteur champ de pesanteur ainsi :

$$\overrightarrow{g} \begin{cases} 0 \\ \\ -g \end{cases}$$

EXEMPLE



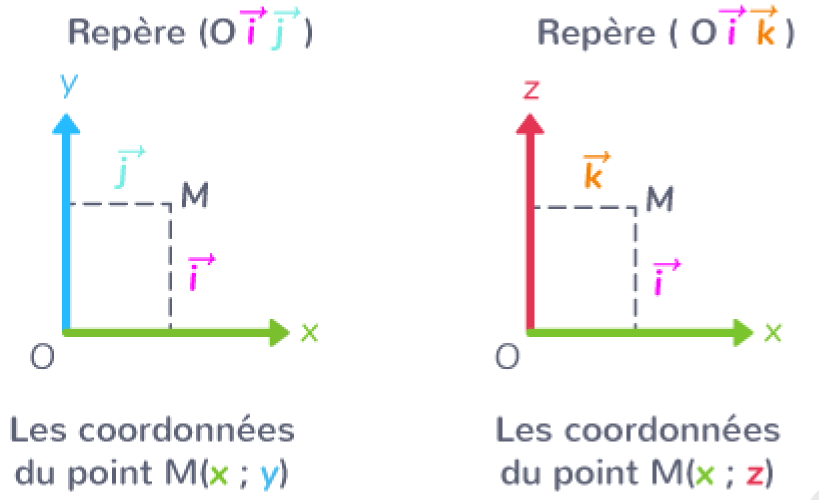
Composantes du vecteur champ de pesanteur

REMARQUE

Parfois, l'axe vertical est noté $\left(O, \overrightarrow{k}\right)$, l'ordonnée du système, correspondant à son altitude, est notée z . Dans toutes les équations de ce cours, il faut alors remplacer l'ordonnée notée y par z .

EXEMPLE

La coordonnée verticale du repère peut être associée à y ou à z .

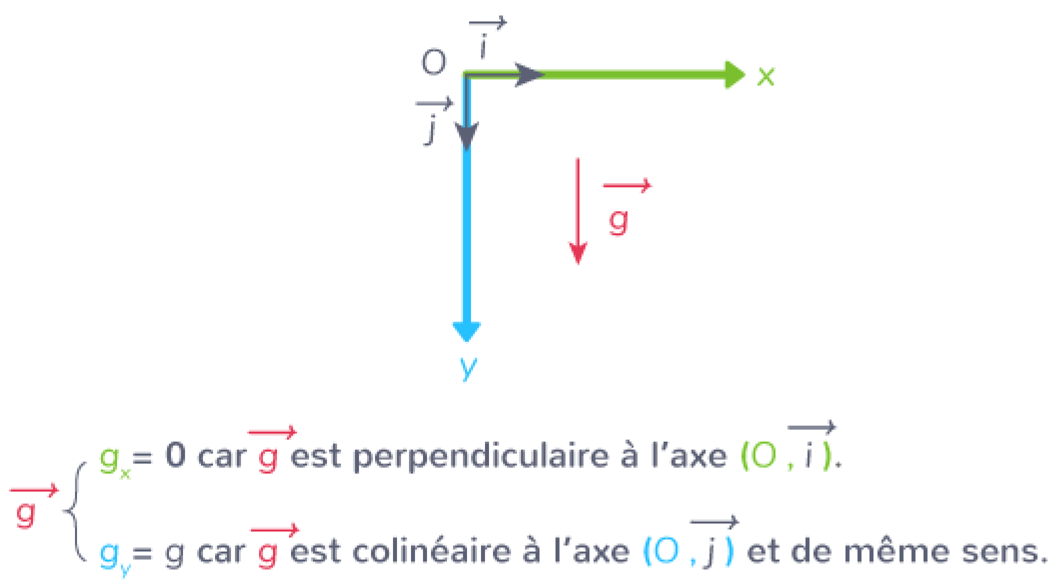


PIÈGE

Parfois, on utilise un repère avec un axe $\left(O; \vec{j}\right)$ orienté vers le bas. Il faut alors veiller à bien écrire les composantes du vecteur champ de pesanteur :

$$\vec{g}\begin{cases} 0 \\ \\ g \end{cases}$$

EXEMPLE



Composantes du vecteur champ de pesanteur

FORMULE

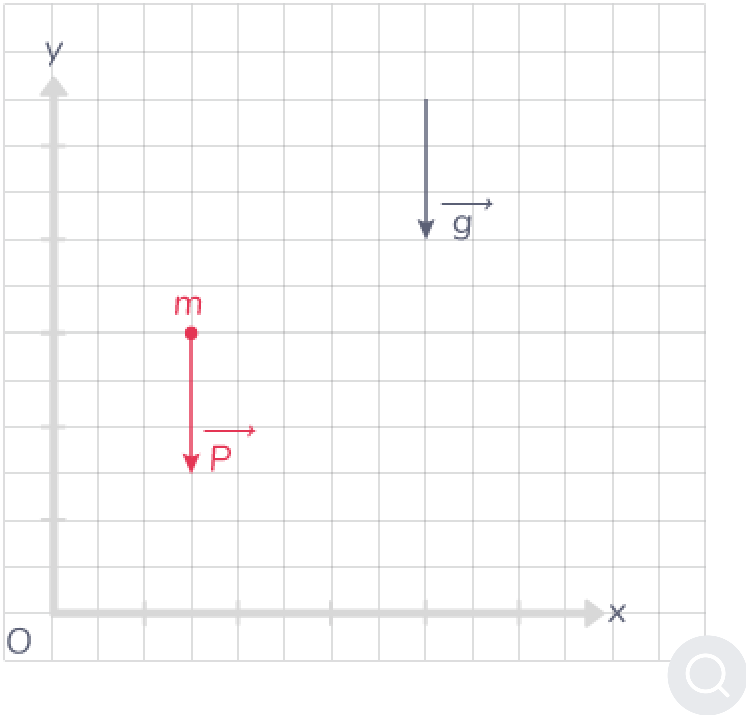
Relation liant le champ de pesanteur et le poids

Lorsqu'un corps de masse m est placé dans un champ de pesanteur caractérisé par un vecteur pesanteur $\vec{g}$, le poids $\vec{P}$ qu'il subit est égal au produit de sa masse et du vecteur $\vec{g}$:

$$\overrightarrow{P} = m \times \overrightarrow{g}$$

Ainsi :

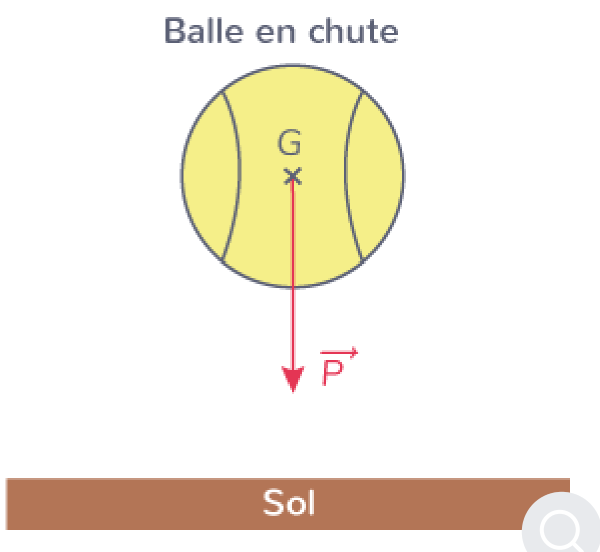
- Les vecteurs $\overrightarrow{P}$ et $\overrightarrow{g}$ sont colinéaires et de même sens.
- La relation qui lie leurs valeurs est $P_{(\text{N})} = m_{(\text{kg})} \times g_{(\text{N.kg}^{-1})}$.



Vecteurs champ de pesanteur et poids

EXEMPLE

La masse d'une balle de tennis est de 56,70 g. Elle subit un poids qui l'attire vers le sol :



Représentation du poids d'une balle au voisinage de la surface terrestre

La valeur de son poids est :

$P_{(\text{N})} = m_{(\text{kg})} \times g_{(\text{N.kg}^{-1})}$

$P = 56{,}70.10^{-3} \times 9{,}81$
$P = 0{,}556 \text{ N}$

B Le vecteur accélération dans un champ de pesanteur uniforme

L'application de la deuxième loi de Newton à un corps massique, placé dans un champ de pesanteur uniforme, permet de déterminer les coordonnées de son vecteur accélération.

PROPRIÉTÉ

Le vecteur accélération d'un corps massique soumis **uniquement** à son poids est égal au vecteur champ de pesanteur :

$$\overrightarrow{a} = \overrightarrow{g}$$

Les composantes de ces deux vecteurs sont donc égales :

$$\overrightarrow{a} \begin{cases} a_x = g_x \\ \\ a_y = g_y \end{cases}$$

DÉMONSTRATION

On étudie, dans le référentiel terrestre, un système de masse m. Il est placé dans le champ de pesanteur terrestre uniforme, caractérisé par le vecteur $\overrightarrow{g}$. Le système est soumis à son poids et on néglige toutes les autres forces, notamment celles de frottements.

La deuxième loi de Newton appliquée à cette situation donne :
$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m \times \overrightarrow{a}$

Et puisqu'ici $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \overrightarrow{P}$, on a :
$\overrightarrow{P} = m \times \overrightarrow{a}$

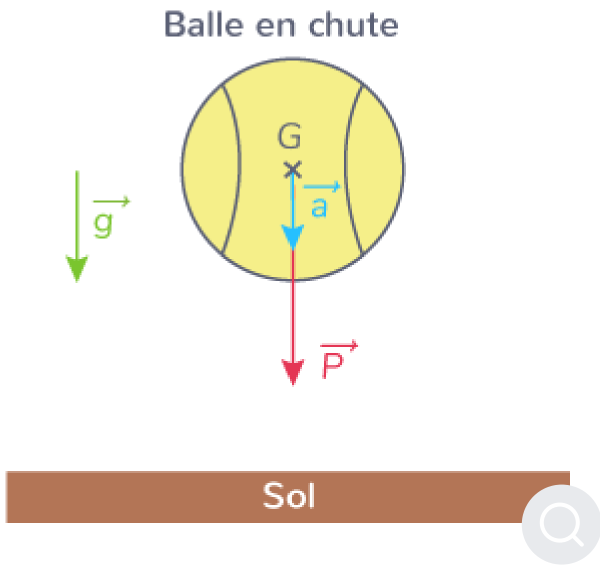
Or :
$\overrightarrow{P} = m \times \overrightarrow{g}$

Donc, on obtient :
$m \times \overrightarrow{g} = m \times \overrightarrow{a}$

Le vecteur accélération de ce système est donc égal au vecteur champ de pesanteur :
$\overrightarrow{a} = \overrightarrow{g}$

EXEMPLE

Le vecteur accélération $\overrightarrow{a}$ d'une balle de tennis en chute libre est égal au vecteur champ de pesanteur $\overrightarrow{g}$:



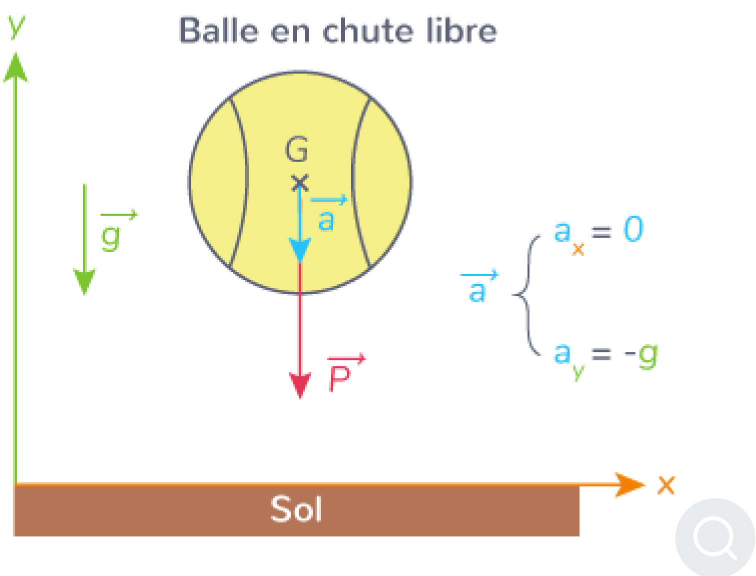
Accélération d'une balle en chute libre

Par la suite, on considère uniquement la situation où le repère est composé d'un axe $\left(O;\overrightarrow{i}\right)$ orienté vers la droite et d'un axe vertical $\left(O;\overrightarrow{j}\right)$ orienté vers le haut.

On a alors :

$$\overrightarrow{a}\begin{cases}a_x=0\\ \\ a_y=-g\end{cases}$$

EXEMPLE



Composantes du vecteur accélération

Dans cette situation, on a montré qu'on a $\overrightarrow{g} \begin{cases} g_x = 0 \\ g_y = -g \end{cases}$. Par conséquent, $\overrightarrow{a} = \overrightarrow{g}$ nous donne les composantes du vecteur $\overrightarrow{a}$ dans le repère.

REMARQUE

Lorsqu'un système est soumis uniquement à son poids $\overrightarrow{P}$, il est dit en **chute libre**.

EXEMPLE

Une balle de tennis en mouvement est considérée en chute libre si on peut négliger les frottements qu'elle subit. De ce fait, elle est soumise uniquement à son poids $\overrightarrow{P}$.

C Les vecteurs vitesse et position dans un champ de pesanteur uniforme

Les conditions initiales du mouvement et l'intégration du vecteur accélération permettent d'obtenir les coordonnées du vecteur vitesse. Ils permettent aussi d'obtenir le vecteur position d'un corps massique placé dans un champ de pesanteur uniforme.

ASTUCE

Pour obtenir les composantes des vecteurs vitesse et position du système, il faut intégrer les composantes de son vecteur accélération, par rapport au temps. Il n'existe que trois types de primitives à connaître :

EXEMPLE

$$0 \xrightarrow[\text{par rapport au temps t}]{\text{Primitive}} k_1 \xrightarrow[\text{par rapport au temps t}]{\text{Primitive}} k_1 \times t + k_2 \xrightarrow[\text{par rapport au temps t}]{\text{Primitive}} k_1 \times \frac{t^2}{2} + k_2 \times t + k_3$$

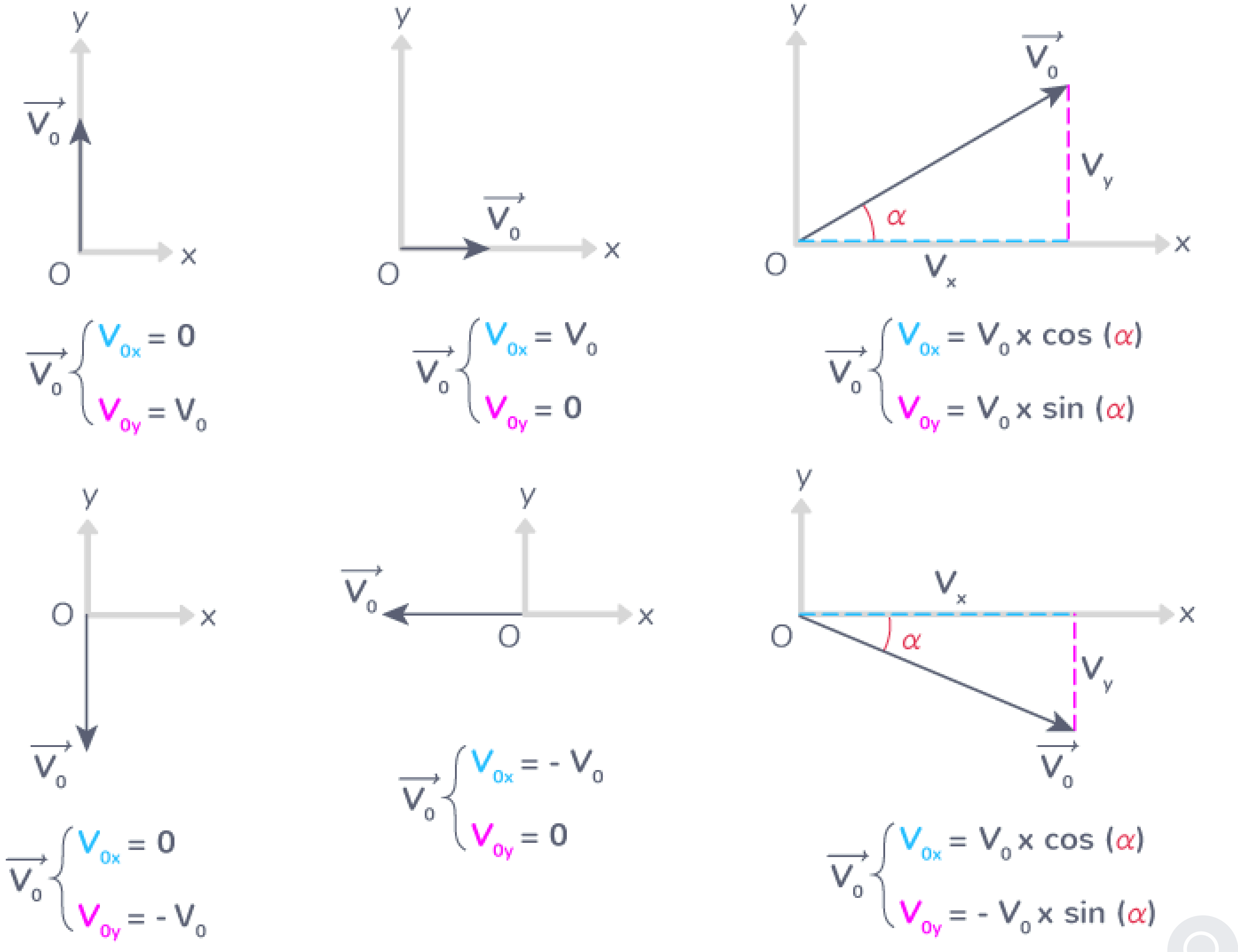
k_1, k_2 et k_3 étant des constantes

Primitives à connaître

PROPRIÉTÉ

On obtient les composantes du vecteur vitesse du système en intégrant les composantes du vecteur accélération, par rapport au temps. Les primitives font alors apparaître des constantes que l'on pourra déterminer à l'aide des conditions initiales du mouvement, soit ici les composantes du vecteur vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$ du système.

Les composantes du vecteur vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$ du système (v_{0x} et v_{0y}) dépendent de son orientation dans le repère :



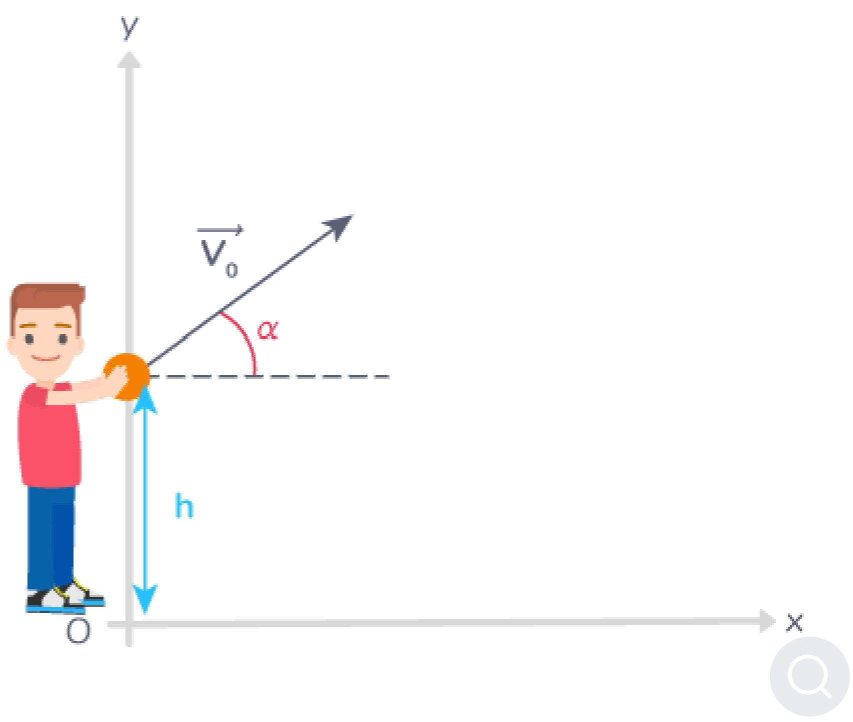
Composantes du vecteur vitesse initiale selon son orientation dans le repère

Le vecteur vitesse du système s'obtient en intégrant les composantes de son vecteur accélération et en tenant compte de son vecteur vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$:

$$\overrightarrow{a} \begin{cases} a_x = 0 \\ \\ a_y = -g \end{cases} \xrightarrow{\text{intégration}} \overrightarrow{v(t)} \begin{cases} v_x = v_{0x} \\ \\ v_y = -g \times t + v_{0y} \end{cases}$$

EXEMPLE

Un joueur lance un ballon de basket selon le schéma suivant :



Conditions initiales du lancé de ballon de basket

Dans cette situation, les composantes du vecteur vitesse initiale du ballon sont :

$$\overrightarrow{v_0}\begin{cases} v_{0x} = v_0 \times \cos(\alpha) \\ \\ v_{0y} = v_0 \times \sin(\alpha) \end{cases}$$

On intègre les composantes verticale et horizontale du vecteur accélération par rapport au temps pour obtenir la vitesse, on obtient :

$$\overrightarrow{v\,(t)}\begin{cases} v_x = K_1 \\ \\ v_y = -g \times t + K_2 \end{cases}$$

À $t = 0$, on a $\overrightarrow{v\,(t=0)} = \overrightarrow{v_0}$.

On en déduit :

$$\overrightarrow{v\,(t=0)}\begin{cases} K_1 = v_{0x} = v_0 \times \cos(\alpha) \\ \\ K_2 = v_{0y} = v_0 \times \sin(\alpha) \end{cases}$$

Les composantes du vecteur vitesse du ballon sont donc :

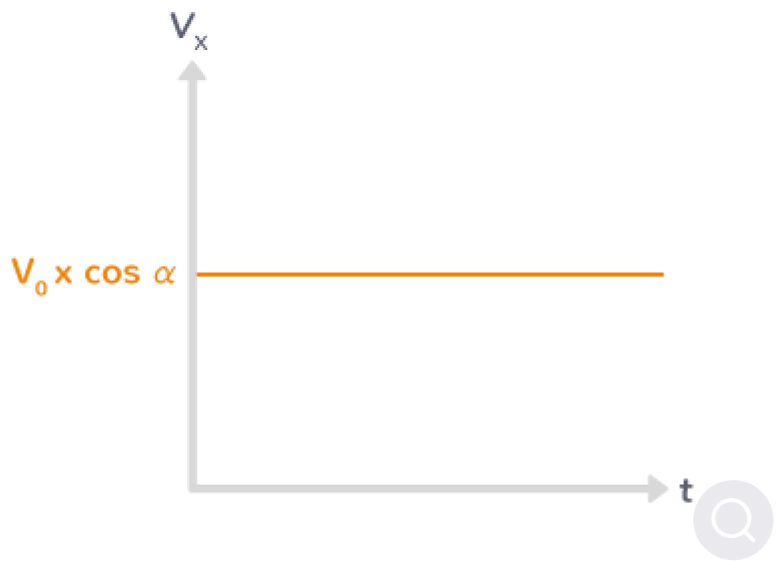
$$\overrightarrow{v\,(t)}\begin{cases} v_x = v_0 \times \cos(\alpha) \\ \\ v_y = -g \times t + v_0 \times \sin(\alpha) \end{cases}$$

REMARQUE

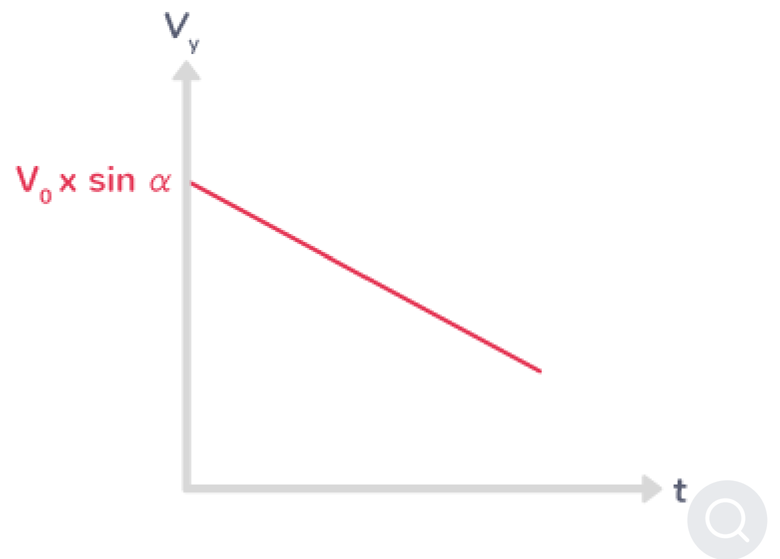
D'après les composantes du vecteur vitesse $\overrightarrow{v\,(t)}\begin{cases} v_x = v_0 \times \cos(\alpha) \\ \\ v_y = -g \times t + v_0 \times \sin(\alpha) \end{cases}$, le mouvement du système est uniforme sur l'axe $\left(O; \overrightarrow{i}\right)$ et uniformément varié sur l'axe $\left(O; \overrightarrow{j}\right)$.

EXEMPLE

Une fois qu'on a déterminé les composantes verticale et horizontale du vecteur vitesse en fonction du temps, il est possible de les tracer. Dans le cas de la chute libre, la composante horizontale du vecteur vitesse est constante, on parle alors d'un mouvement horizontal uniforme. La composante verticale est une fonction affine décroissante, on parle alors d'un mouvement uniformément décéléré.



Évolution de la composante de la vitesse horizontale du système

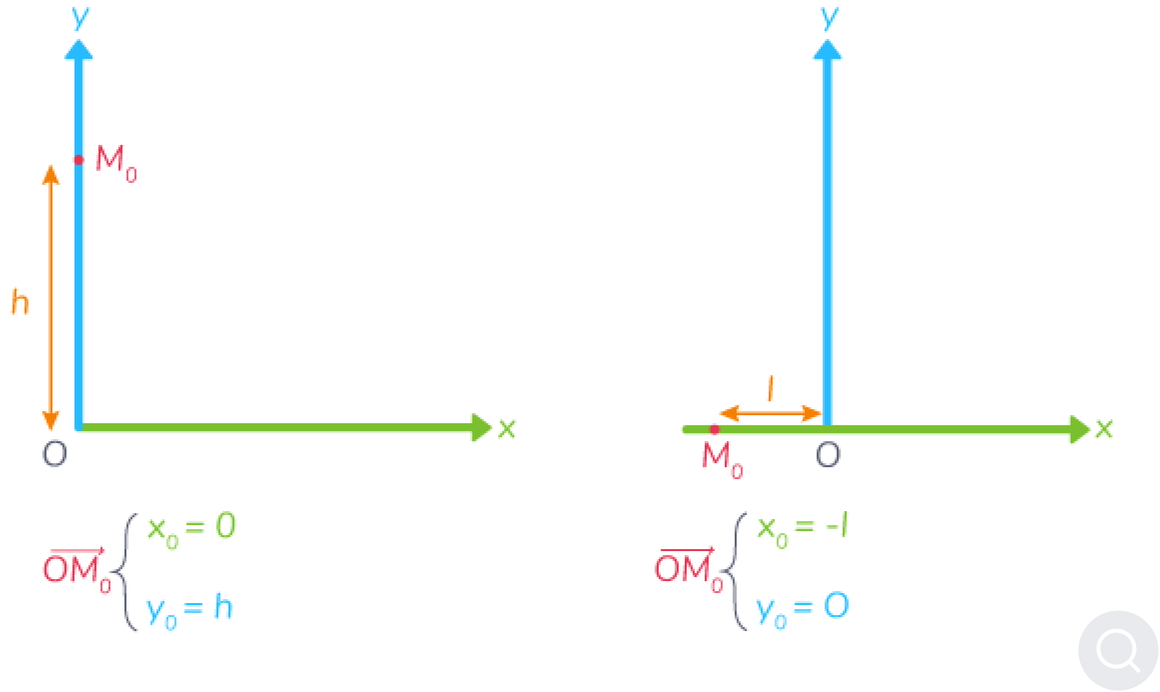


Évolution de la composante de la vitesse verticale du système

PROPRIÉTÉ

On obtient les composantes du vecteur position du système en intégrant les composantes du vecteur vitesse par rapport au temps. Les primitives font apparaître des constantes que l'on détermine grâce aux conditions initiales du mouvement, c'est-à-dire les composantes du vecteur position initiale $\overrightarrow{OM_0}$ du système.

Les composantes du vecteur position initiale $\overrightarrow{OM_0}$ du système (x_0 et y_0) dépendent de sa position initiale dans le repère :



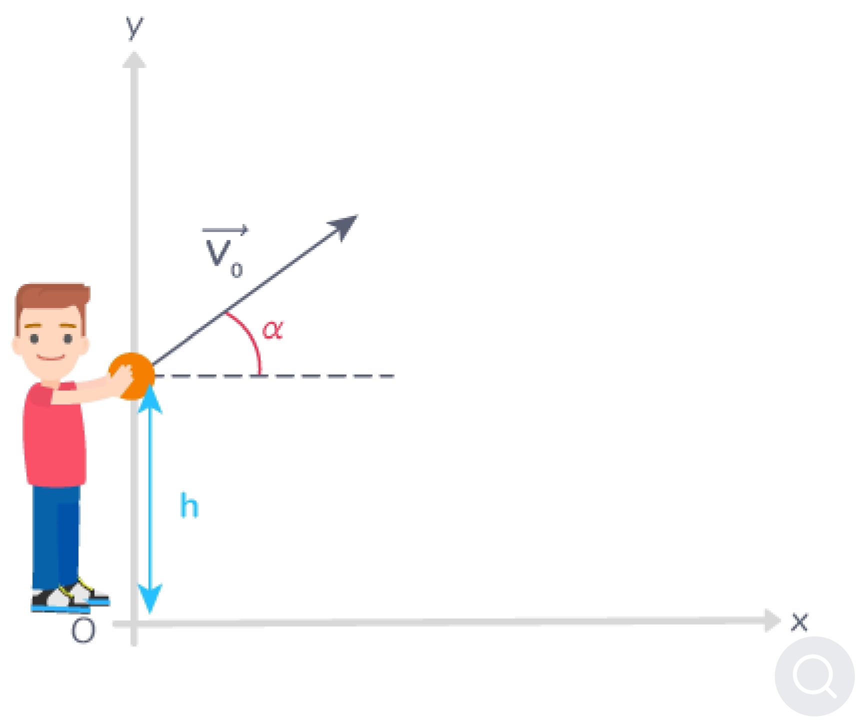
Composantes du vecteur vitesse position initiale

Le vecteur position du système s'obtient en intégrant les composantes de son vecteur vitesse et en tenant compte de son vecteur position initiale $\overrightarrow{OM_0}$. On obtient alors les équations horaires du mouvement $x(t)$ et $y(t)$:

$$\overrightarrow{v\,(t)} \begin{cases} v_x = v_{0x} \\ \\ v_y = -g \times t + v_{0y} \end{cases} \xrightarrow{\text{intégration}} \overrightarrow{OM\,(t)} \begin{cases} x(t) = v_{0x} \times t + x_0 \\ \\ y(t) = -\dfrac{1}{2} \times g \times t^2 + v_{0y} \times t + y_0 \end{cases}$$

EXEMPLE

Soit la situation où un joueur lance un ballon de basket selon le schéma suivant :



Un joueur lance un ballon de basket

Dans cette situation, les composantes du vecteur position initiale du ballon sont :

$$\overrightarrow{OM_0}\begin{cases} x_0 = 0 \\ \\ y_0 = h \end{cases}$$

On intègre les composantes verticale et horizontale du vecteur vitesse par rapport au temps pour obtenir la position, on obtient :

$$\overrightarrow{OM\ (t)}\begin{cases} x(t) = v_0 \times \cos(\alpha) \times t + K_1 \\ \\ y(t) = -\dfrac{1}{2} \times g \times t^2 + v_0 \times \sin(\alpha) \times t + K_2 \end{cases}$$

À $t = 0$, on a $\overrightarrow{OM\ (t=0)} = \overrightarrow{OM_0}$.

On en déduit :

$$\overrightarrow{OM\ (t=0)}\begin{cases} x(0) = K_1 = 0 \\ \\ y(0) = K_2 = h \end{cases}$$

Les composantes du vecteur position du ballon sont donc :

$$\overrightarrow{OM\ (t)}\begin{cases} x(t) = v_0 \times \cos(\alpha) \times t \\ \\ y(t) = -\dfrac{1}{2} \times g \times t^2 + v_0 \times \sin(\alpha) \times t + h \end{cases}$$

D L'équation de la trajectoire dans un champ de pesanteur uniforme

Les coordonnées des vecteurs position et vitesse donnent les équations horaires du mouvement. En éliminant le temps de ces équations, il est possible de déterminer l'équation de la trajectoire du système.

PROPRIÉTÉ

L'équation de la trajectoire $y(x)$ du système s'obtient en éliminant le temps des équations horaires $x(t)$ et $y(t)$.

À partir de l'équation horaire $x = v_{0x} \times t + x_0$, on exprime le temps t :

$$t = \frac{x - x_0}{v_{0x}}$$

D'où :

$$y(x) = -\frac{1}{2}g \times \left(\frac{x - x_o}{v_{0x}}\right)^2 + v_{0y} \times \left(\frac{x - x_o}{v_{0x}}\right) + y_0$$

EXEMPLE

Les équations horaires du mouvement du ballon de basket de la situation précédente sont :

$$\overrightarrow{OM}(t) \begin{cases} x = v_0 \times \cos(\alpha) \times t \\ \\ y = -\frac{1}{2} \times g \times t^2 + v_0 \times \sin(\alpha) \times t + h \end{cases}$$

L'expression du temps t en fonction de la variable x est :

$$t = \frac{x}{v_0 \times \cos(\alpha)}$$

L'équation de la trajectoire du ballon est donc :

$$y(x) = -\frac{1}{2} g \times \left(\frac{x}{v_0 \times \cos(\alpha)}\right)^2 + v_0 \times \sin(\alpha) \times \left(\frac{x}{v_0 \times \cos(\alpha)}\right) + h$$

Soit :

$$y(x) = -\frac{1}{2} \frac{g}{(v_0 \times \cos(\alpha))^2} \times x^2 + \tan(\alpha) \times x + h$$

PROPRIÉTÉ

L'équation de la trajectoire est un polynôme du second degré, de la forme $y = ax^2 + bx + c$, donc la trajectoire du système, est une parabole.

EXEMPLE

L'équation de la trajectoire du ballon de basket de la situation précédente est :

$$y(x) = -\frac{1}{2} \frac{g}{(v_0 \times cos\ \alpha)^2} \times x^2 + \tan\ \alpha \times x + h$$

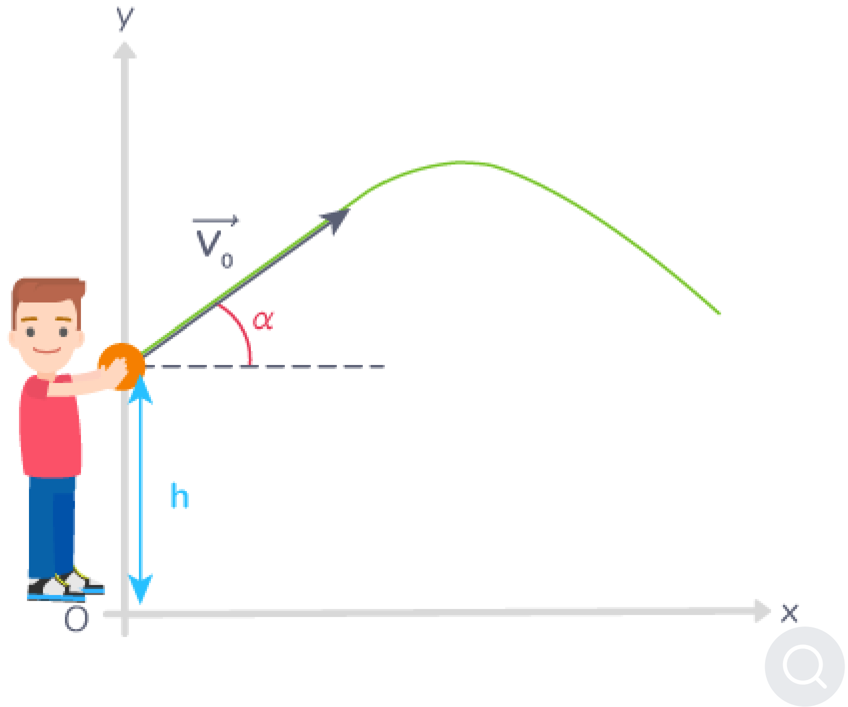
On peut écrire :

- $a = -\frac{1}{2} \frac{g}{(v_0 \times cos\ \alpha)^2}$
- $b = \tan(\alpha)$
- $c = h$

Cette équation peut s'écrire, avec a, b et c des constantes, sous la forme :

$$y(x) = ax^2 + bx + c$$

La trajectoire du ballon de basket est donc une parabole :



Trajectoire parabolique

E L'exploitation des équations du mouvement

Les équations du mouvement du système permettent de déterminer des grandeurs caractéristiques de son mouvement.

ASTUCE

Lorsque l'on résout une équation du second degré du type $y(x) = ax^2 + bx + C = 0$, si le discriminant $\Delta = b^2 - 4 \times a \times c$ est positif, alors les deux solutions de l'équation sont :

$$x_1 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} \text{ et } x_2 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a}$$

Les équations du mouvement du système permettent de déterminer des grandeurs caractéristiques de son mouvement.

PROPRIÉTÉ

L'exploitation des équations horaires et de l'équation de la trajectoire du système permettent de déterminer des grandeurs caractéristiques de son mouvement :

- La **portée** correspond au point pour lequel le système touche le sol. Son abscisse x est donc la solution de l'équation $y(x) = 0$.
- La **durée du mouvement** avant l'impact avec le sol est donnée par la solution de l'équation $y(t) = 0$.
- La **flèche** correspond à l'altitude maximale atteinte par le système. Le point pour lequel elle est atteinte est caractérisé par une vitesse verticale nulle, soit $v_y(t) = 0$.

EXEMPLE

On reprend l'exemple du lancer de ballon.

La portée correspond au point pour lequel le système touche le sol. Son abscisse x est donc la solution de l'équation $y(x) = 0$.
On sait que :

$$y(x) = -\frac{1}{2}\frac{g}{(v_0 \times cos\ \alpha)^2} \times x^2 + \tan\ \alpha \times x + h$$

Ainsi, si dans le cas du mouvement du ballon précédent, les conditions initiales sont :

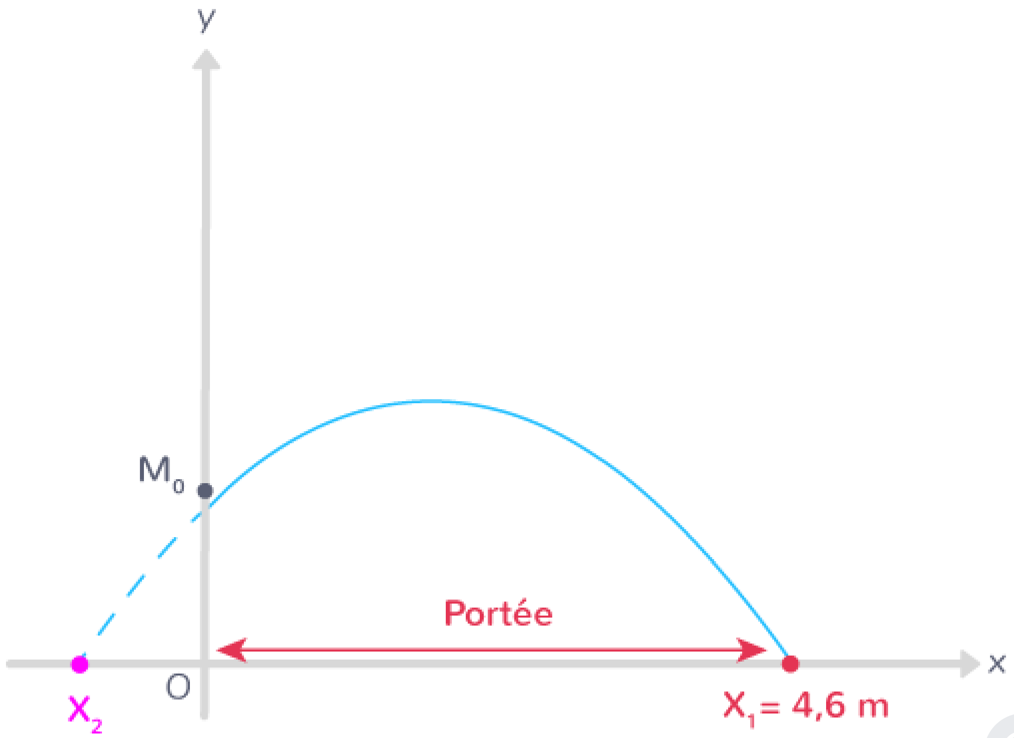
- vitesse initiale du ballon : $v_0 = 6{,}0 \text{ m.s}^{-1}$;
- angle de tir : $\alpha = 50^\circ$;
- hauteur initiale : $h = 1{,}5 \text{ m}$.

On a :

$a = -\frac{1}{2}\frac{g}{(v_0 \times \cos(\alpha))^2}$ $a = -\frac{1}{2}\frac{9{,}81}{(6{,}0 \times \cos(50))^2}$ $a = -0{,}33 \text{ m}^{-1}$	$b = \tan(\alpha)$ $b = \tan(50)$ $b = 1{,}2$	$c = h$ $c = 1{,}5 \text{ m}$
$\Delta = b^2 - 4 \times a \times c \quad \Rightarrow \Delta = (1{,}2)^2 - 4 \times (-0{,}33) \times 1{,}5 \quad \Rightarrow \Delta = 3{,}4$		
Première solution : $x_1 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a}$ $x_1 = \frac{-1{,}2 - \sqrt{3{,}4}}{2 \times (-0{,}33)}$ $x_1 = 4{,}6 \text{ m}$	Deuxième solution : $x_2 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a}$ $x_1 = \frac{-1{,}2 + \sqrt{3{,}49}}{2 \times (-0{,}33)}$ $x_2 = -0{,}98 \text{ m}$	

De ces deux solutions, celle qui donne la portée du tir est celle qui est positive (x_1).

La solution négative (x_2) correspond au point d'intersection de la prolongation de la trajectoire du ballon avec l'axe des abscisses. Elle ne décrit pas une réalité physique (le ballon est projeté dans le sens des x positifs).



Portée d'un mouvement parabolique

Donc, la portée de ce tir est donnée par la valeur de x_1 . Ici, elle est de 4,6 m.

II Le mouvement dans un champ électrique uniforme

Souvent, on étudie un corps portant une charge électrique dans le champ électrique uniforme d'un condensateur. L'application de la deuxième loi de Newton permet de déterminer les coordonnées du vecteur accélération de la charge électrique. Ces coordonnées permettent d'obtenir les coordonnées des vecteurs vitesse et position de la charge électrique. Les coordonnées des vecteurs vitesse et position donnent l'équation de la trajectoire de la charge électrique.

A Le condensateur plan, siège d'un champ électrique uniforme

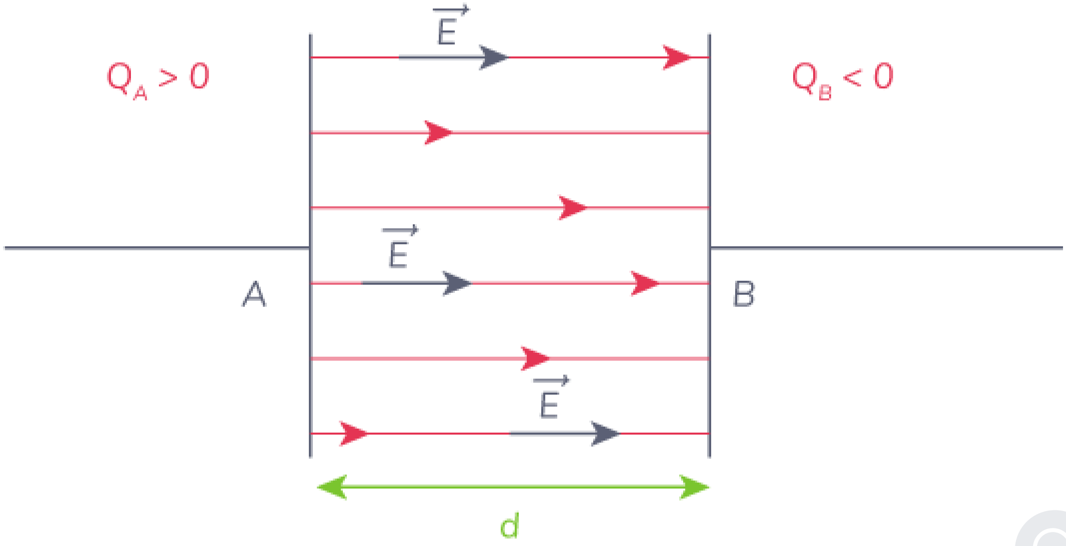
Dans un condensateur plan, le champ électrique existant entre les deux armatures est uniforme. Un corps chargé électriquement, placé dans ce condensateur, subit alors une force électrique. Cette force électrique est égale au produit de la charge électrique et du champ électrique.

DÉFINITION

Condensateur plan

Un condensateur plan est constitué de deux armatures planes, conductrices et parallèles. L'application d'une tension électrique entre les armatures du condensateur plan engendre un champ électrostatique $\overrightarrow{E}$, uniforme entre les armatures, perpendiculaire aux armatures et orienté de l'armature positive vers l'armature négative. Sa valeur, E , s'exprime en volts par mètre (Vm^{-1}).

EXEMPLE



Champ électrostatique créé par un condensateur plan

FORMULE

Valeur du champ électrostatique créé par un condensateur plan

La valeur du champ électrostatique créé par un condensateur plan dépend de la valeur de la tension U appliquée entre les armatures et de la distance d qui les sépare :

$$E_{(\text{V.m}^{-1})} = \frac{U_{(\text{V})}}{d_{(\text{m})}}$$

EXEMPLE

Le champ électrostatique à l'intérieur d'un condensateur plan soumis à une tension de 12 V et dont les armatures sont distantes de 4,0 cm a pour valeur :

$$E_{(\text{V.m}^{-1})} = \frac{U_{(\text{V})}}{d_{(\text{m})}}$$

$$E = \frac{12}{4{,}0 \times 10^{-2}}$$

$$E = 3{,}0 \times 10^2 \text{ V.m}^{-1}$$

FORMULE

Force subie par une charge dans un champ électrostatique

Lorsqu'une particule portant une charge électrique q est placée dans un champ électrostatique $\vec{E}$, elle subit une force électrique qui a pour expression :

$$\vec{F_e} = q \times \vec{E}$$

Cette force est donc :

- colinéaire au vecteur champ électrique $\vec{E}$;
- orientée dans le même sens que le champ électrique $\vec{E}$ si la charge électrique q est positive et dans le sens opposé si elle est négative ;
- caractérisée par sa valeur : $F_{e\ (\text{N})} = |q_{(\text{C})}| \times E_{(\text{V.m}^{-1})}$.

EXEMPLE

Une particule positive portant la charge électrique $q = 4{,}80 \times 10^{-19}$ C et une particule négative portant la charge électrique $q = -4{,}80 \times 10^{-19}$ C sont placées dans un champ électrostatique de valeur $E = 2{,}0 \text{ V.m}^{-1}$.

La valeur de la force subie par chaque particule est la même :

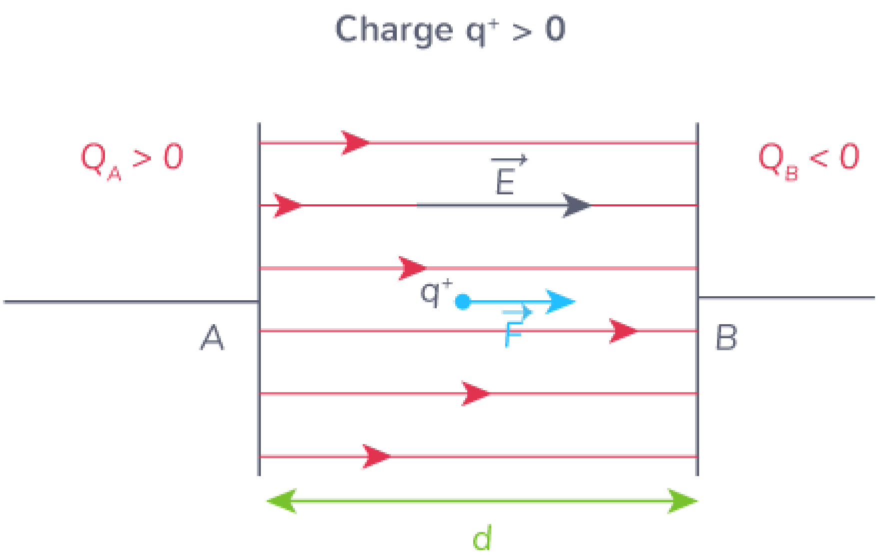
$F_e = |q| \times E$

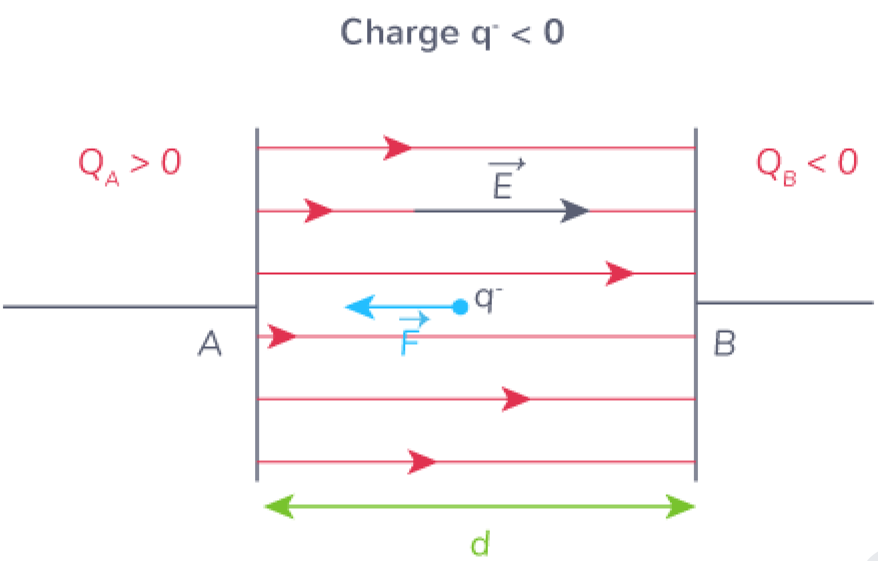
$F_e = |4{,}80 \times 10^{-19}| \times 2{,}0$ ou $F = |-4{,}80 \times 10^{-19}| \times 2{,}0$

Et dans les deux cas :

$F = 9{,}6 \times 10^{-19} \text{ N}$

Par contre, l'orientation de la force dépend du signe de la charge électrique portée par chaque particule :





Force subie par une particule chargée dans un condensateur plan

B Le vecteur accélération dans un champ électrique uniforme

L'application de la deuxième loi de Newton à un corps portant une charge électrique permet de déterminer les coordonnées de son vecteur accélération.

PROPRIÉTÉ

Le vecteur accélération d'une particule portant une charge électrique q placée dans un condensateur plan est colinéaire au champ électrique $\overrightarrow{E}$:

$$\overrightarrow{a} = \frac{q \times \overrightarrow{E}}{m}$$

Les composantes du vecteur accélération dépendent donc de celles du vecteur champ électrique :

$$\overrightarrow{a}\begin{cases} a_x \\ \\ a_y \end{cases} = \frac{q}{m} \times \overrightarrow{E}\begin{cases} \dfrac{q}{m} \times E_x \\ \\ \dfrac{q}{m} \times E_y \end{cases}$$

DÉMONSTRATION

On étudie, dans le référentiel terrestre, une particule de charge électrique q, placée dans le champ électrique uniforme d'un condensateur plan, caractérisé par le vecteur $\overrightarrow{E}$. Cette particule est donc soumise à une force électrique et on néglige toutes les autres forces, notamment son poids, beaucoup plus faible.

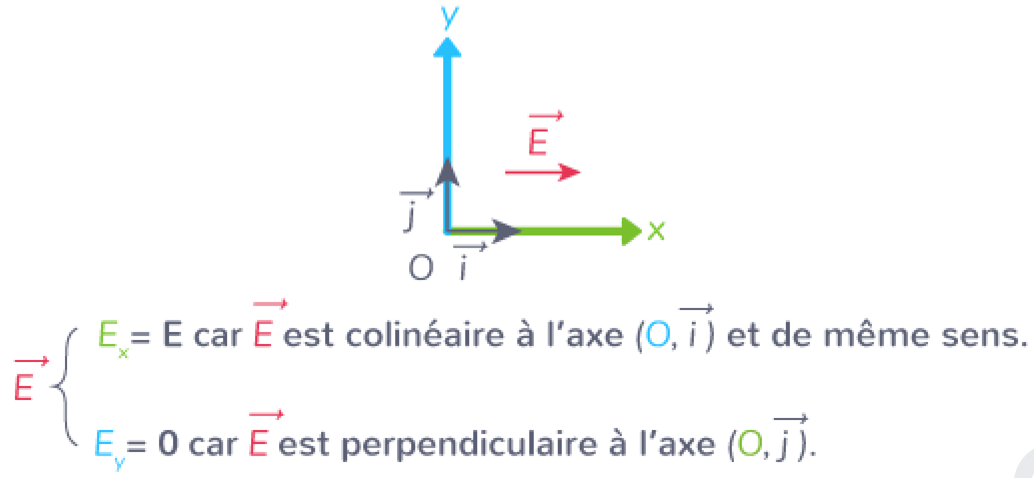
La deuxième loi de Newton appliquée à cette situation donne :
$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m \times \overrightarrow{a}$

Et puisqu'ici $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \overrightarrow{F_e} = q \times \overrightarrow{E}$, on a :
$q \times \overrightarrow{E} = m \times \overrightarrow{a}$

Le vecteur accélération de cette particule est donc colinéaire au vecteur champ électrique :
$\overrightarrow{a} = \dfrac{q \times \overrightarrow{E}}{m}$

EXEMPLE

Pour la suite du cours, on considérera la situation où le champ électrique est orienté selon l'axe $(O, \overrightarrow{i})$:



Orientation du vecteur champ électrique

Dans cette situation, les composantes du vecteur champ électrique sont :

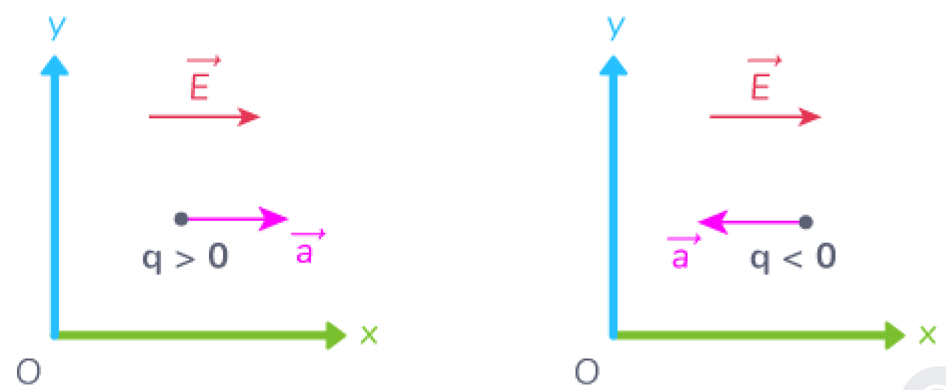
$$\vec{E}\begin{cases} E_x = E \\ \\ E_y = 0 \end{cases}$$

Les composantes du vecteur accélération sont donc :

$$\vec{a}\begin{cases} a_x = \dfrac{q}{m} \times E \\ \\ a_y = 0 \end{cases}$$

Son orientation dépend alors du signe de la charge électrique q :

- Si $q > 0$, alors $a_x > 0$: le vecteur accélération est de même sens que le vecteur champ électrique, orienté selon l'axe (Ox).
- Si $q < 0$, alors $a_x < 0$: le vecteur accélération est de sens opposé à celui du vecteur champ électrique, orienté selon l'axe (Ox).



Orientations du vecteur accélération

C Les vecteurs vitesse et position dans un champ électrique uniforme

Les conditions initiales du mouvement et l'intégration du vecteur accélération permettent d'obtenir les coordonnées du vecteur vitesse d'une charge électrique. Ils permettent aussi d'obtenir le vecteur position d'un corps portant une charge électrique dans un champ électrique uniforme.

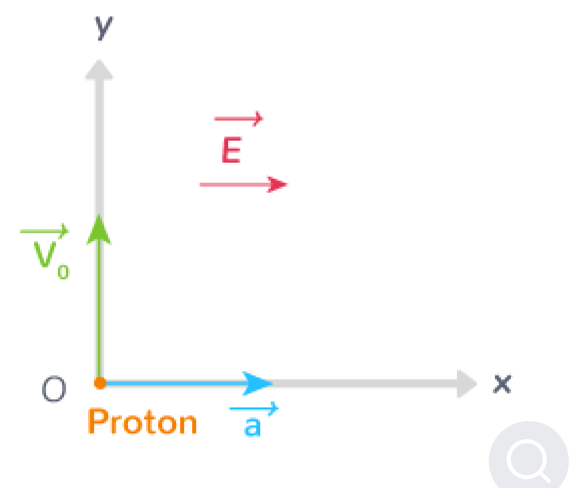
PROPRIÉTÉ

On obtient les composantes du vecteur vitesse de la particule en intégrant les composantes du vecteur accélération, par rapport au temps. Les primitives font alors apparaître des constantes qui correspondent aux conditions initiales du mouvement, soit ici les composantes du vecteur vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$ de la particule.

$$\overrightarrow{a}\begin{cases} a_x = \dfrac{q \times E}{m} \\ \\ a_y = 0 \end{cases} \xrightarrow{\text{intégration}} \overrightarrow{v\left(t\right)}\begin{cases} v_x = \dfrac{q \times E}{m} \times t + v_{0x} \\ \\ v_y = v_{0y} \end{cases}$$

EXEMPLE

Un proton est placé dans un condensateur plan. Son vecteur vitesse initiale est vertical :



Vecteur vitesse initiale d'un proton dans un champ électrique

Dans cette situation, les composantes du vecteur vitesse initiale sont :

$$\overrightarrow{v_0}\begin{cases} v_{0x} = 0 \\ \\ v_{0y} = v_0 \end{cases}$$

On intègre les composantes verticale et horizontale du vecteur accélération par rapport au temps pour obtenir la vitesse.
On obtient :

$$\overrightarrow{v\left(t\right)}\begin{cases} v_x = \dfrac{q \times E}{m} \times t + K_1 \\ \\ v_y = K_2 \end{cases}$$

À $t = 0$, on a $\overrightarrow{v\left(t = 0\right)} = \overrightarrow{v_0}$.

On en déduit :

$$\overrightarrow{v(t=0)} \begin{cases} v_{0x} = 0 = K_1 \\ \\ v_{0y} = v_0 = K_2 \end{cases}$$

Les composantes du vecteur vitesse du proton sont donc :

$$\overrightarrow{v(t)} \begin{cases} v_x = \dfrac{q \times E}{m} \times t \\ \\ v_y = v_0 \end{cases}$$

PROPRIÉTÉ

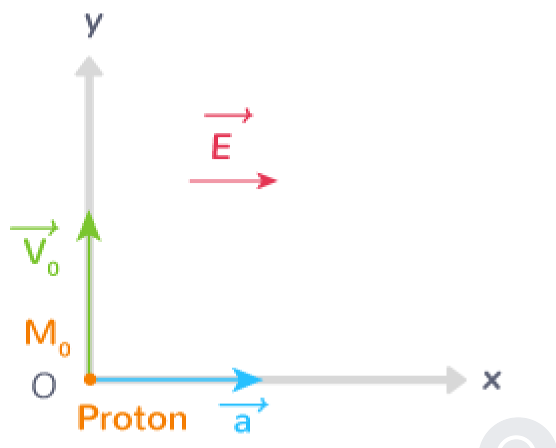
On obtient les composantes du vecteur position du système en intégrant les composantes du vecteur vitesse, par rapport au temps. Les primitives font alors apparaître des constantes qui correspondent aux conditions initiales du mouvement. Soit, ici, les composantes du vecteur position initiale $\overrightarrow{OM_0}\,(x_0, y_0)$ de la particule qui dépendent de sa position initiale dans le repère.

$$\overrightarrow{v(t)} \begin{cases} v_x = \dfrac{q \times E}{m} \times t + v_{0x} \\ \\ v_y = v_{0y} \end{cases} \xrightarrow{\text{intégration}} \overrightarrow{OM(t)} \begin{cases} x(t) = \dfrac{1}{2}\dfrac{q \times E}{m} \times t^2 + v_{0x} \times t + x_0 \\ \\ y(t) = v_{0y} \times t + y_0 \end{cases}$$

Les fonctions $x(t)$ et $y(t)$ sont alors les équations horaires du mouvement.

EXEMPLE

Dans la situation suivante, le proton est placé à l'origine du repère.



Proton soumis à un champ électrique uniforme

Les composantes du vecteur position sont donc :

$$\overrightarrow{OM_0} \begin{cases} x_0 = 0 \\ \\ y_0 = 0 \end{cases}$$

On intègre les composantes horizontale et verticale de la vitesse en fonction du temps pour obtenir la position.

On obtient :

$$\overrightarrow{OM}(t) \begin{cases} x(t) = \frac{1}{2}\frac{q \times E}{m} \times t^2 + K_1 \\ \\ y(t) = v_0 \times t + K_2 \end{cases}$$

À $t = 0$, on a $\overrightarrow{OM(t=0)} = \overrightarrow{OM_0}$.

On en déduit :

$$\overrightarrow{OM(t = 0)} \begin{cases} x(0) = K_1 = 0 \\ \\ y(0) = K_2 = 0 \end{cases}$$

Les composantes du vecteur position du proton sont donc :

$$\overrightarrow{OM}(t) \begin{cases} x(t) = \frac{1}{2}\frac{q \times E}{m} \times t^2 \\ \\ y(t) = v_0 \times t \end{cases}$$

D L'équation de la trajectoire dans un champ électrique uniforme

Les coordonnées du vecteur position donnent les équations horaires du mouvement. En éliminant le temps de ces équations, il est possible de déterminer l'équation de la trajectoire du système dans un champ électrique uniforme.

PROPRIÉTÉ

L'équation de la trajectoire $y(x)$ du système s'obtient en éliminant le temps des équations horaires $x(t)$ et $y(t)$.

À partir de l'équation horaire $x = f(t)$, on exprime le temps t et on le substitue dans l'équation horaire $y = f(t)$ pour obtenir l'équation de la trajectoire $y = f(x)$.

EXEMPLE

Dans la situation précédente, les équations horaires sont :

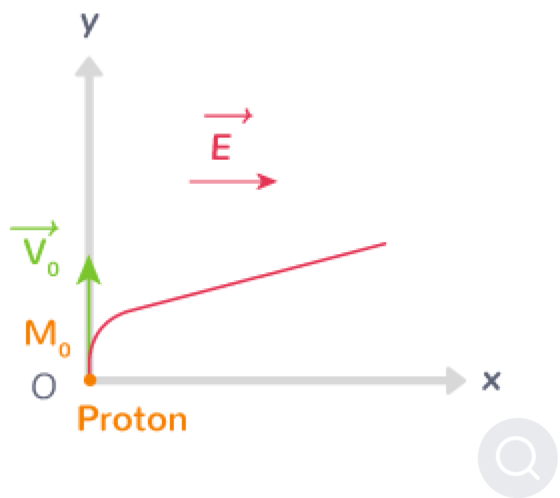
$$\overrightarrow{OM}(t) \begin{cases} x(t) = \frac{1}{2}\frac{q \times E}{m} \times t^2 \\ \\ y(t) = v_0 \times t \end{cases}$$

L'équation $x(t)$ permet d'exprimer le temps t en fonction de x :

$$x(t) = \frac{1}{2}\frac{q \times E}{m} \times t^2 \Leftrightarrow t(x) = \sqrt{\frac{2m}{q \times E} \times x}$$

En substituant le temps t par son expression dans la fonction $y(t)$, on obtient l'équation de la trajectoire du proton :

$$y(t) = v_0 \times t \Leftrightarrow y(x) = v_0 \times \sqrt{\frac{2m}{q \times E} \times x}$$



Trajectoire d'un proton dans un champ électrique

REMARQUE

Contrairement à la trajectoire d'un corps massique dans un champ de pesanteur, la trajectoire d'une particule chargée dans un champ électrique n'a pas toujours la même forme. La forme de la trajectoire dépend de l'orientation des vecteurs champ électrique $\overrightarrow{E}$ et vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$.

E L'exploitation des équations du mouvement

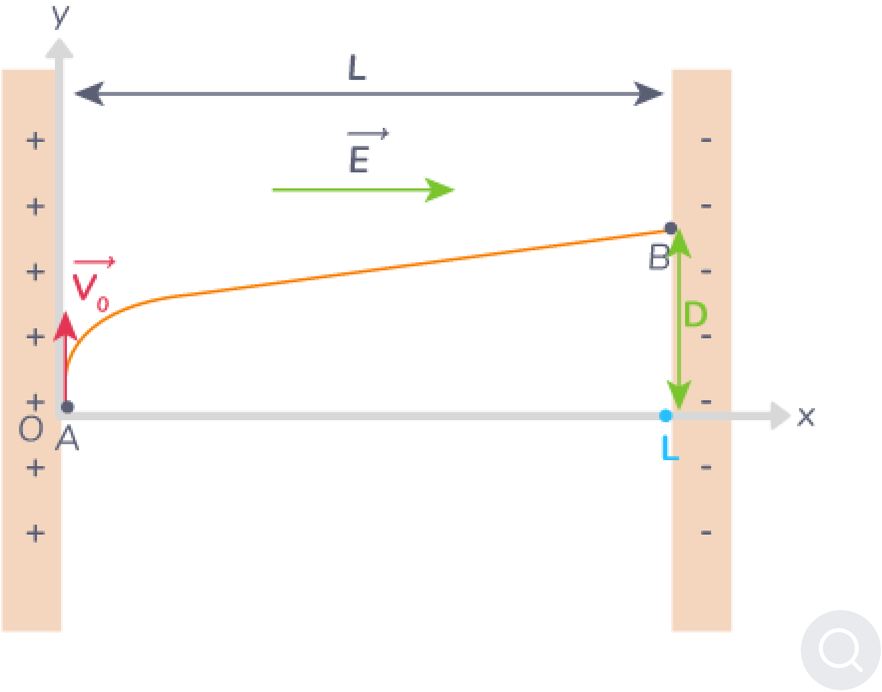
Les équations du mouvement de la particule permettent de déterminer des grandeurs caractéristiques de son mouvement.

PROPRIÉTÉ

L'exploitation des équations horaires et de l'équation de la trajectoire de la particule permettent de déterminer des grandeurs caractéristiques de son mouvement. Il est ainsi possible de déterminer la déviation de la particule, provoquée par le condensateur.

EXEMPLE

La déviation verticale D de la particule correspond à son ordonnée y quand elle atteint l'armature B du condensateur, soit quand son abscisse est $x = L$:



Trajectoire du proton dans le condensateur

Pour déterminer la déviation verticale D, on calcule donc l'ordonnée $y(L)$ pour $x = L$.

Puisque :

$$y(x) = v_0 \times \sqrt{\frac{2m}{q \times E}} \times x$$

On a :

$$D = y(L) = v_0 \times \sqrt{\frac{2m}{q \times E}} \times L$$

Si les conditions initiales sont :

- masse de la particule : $m = 1{,}673 \times 10^{-27} \text{ kg}$;
- charge électrique de la particule : $e = 1{,}60 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- vitesse initiale de la particule : $v_0 = 7{,}0 \times 10^5 \text{ m.s}^{-1}$;
- valeur du champ électrique : $E = \ 1\ 500 \text{ V.m}^{-1}$;
- distance séparant les deux armatures du condensateur : $L = 10{,}0 \text{ cm}$.

La déviation verticale est alors :

$$D = v_0 \times \sqrt{\frac{2m}{q \times E}} \times L$$

$$D = 7{,}0 \times 10^5 \times \sqrt{\frac{2 \times 1{,}673 \times 10^{-27}}{1{,}60 \times 10^{-19} \times 1500}} \times 10{,}0 \times 10^{-2}$$

$$D = 0{,}26 \text{ m}$$

Le proton est donc dévié d'une hauteur de 26 cm dans le condensateur.

III Les aspects énergétiques du mouvement dans un champ uniforme

Les énergies du mouvement sont liées par le théorème de l'énergie cinétique et le principe de conservation de l'énergie mécanique. Dans un référentiel galiléen et dans un champ uniforme, les énergies liées au mouvement d'un système évoluent l'une par rapport à l'autre.

A Les théorèmes de l'énergie cinétique et mécanique

Dans un référentiel galiléen et dans certaines conditions, les théorèmes de l'énergie cinétique et mécanique expriment la conservation de l'énergie mécanique. Ces théorèmes permettent d'obtenir la relation entre l'énergie cinétique et la somme des forces extérieures qui s'exercent sur le système.

PROPRIÉTÉ

Le poids $\overrightarrow{P}$ et la force électrique $\overrightarrow{F_e}$ que subit un système ayant une masse ou une charge électrique, placés respectivement dans un champ de pesanteur $\overrightarrow{g}$ ou dans un champ électrique $\overrightarrow{E}$, lui transfèrent de l'énergie, sous la forme d'un travail :

Situation	**Force subie**	**Expression du travail**		
Système de masse m dans un champ de pesanteur $\overrightarrow{g}$	Le poids $\overrightarrow{P}$	$W_{AB}\left(\overrightarrow{P}\right)_{(\text{J})} = m_{\,(\text{kg})} \times g_{(\text{m.s}^{-2})} \times \left(y_{A(\text{m})} - y_{B(\text{m})}\right)$ Avec y_A et y_B, les altitudes des points de départ et d'arrivée (respectivement)		
Système de charge électrique q dans un champ de électrique $\overrightarrow{E}$	La force électrique $\overrightarrow{F_e}$	$W_{AB}\left(\overrightarrow{F_e}\right)_{(\text{J})} = q_{\,(\text{C})} \times E_{(\text{V.m}^{-1})} \times L_{(\text{m})}$ Avec L la longueur qui sépare les deux armatures du condensateur plan		

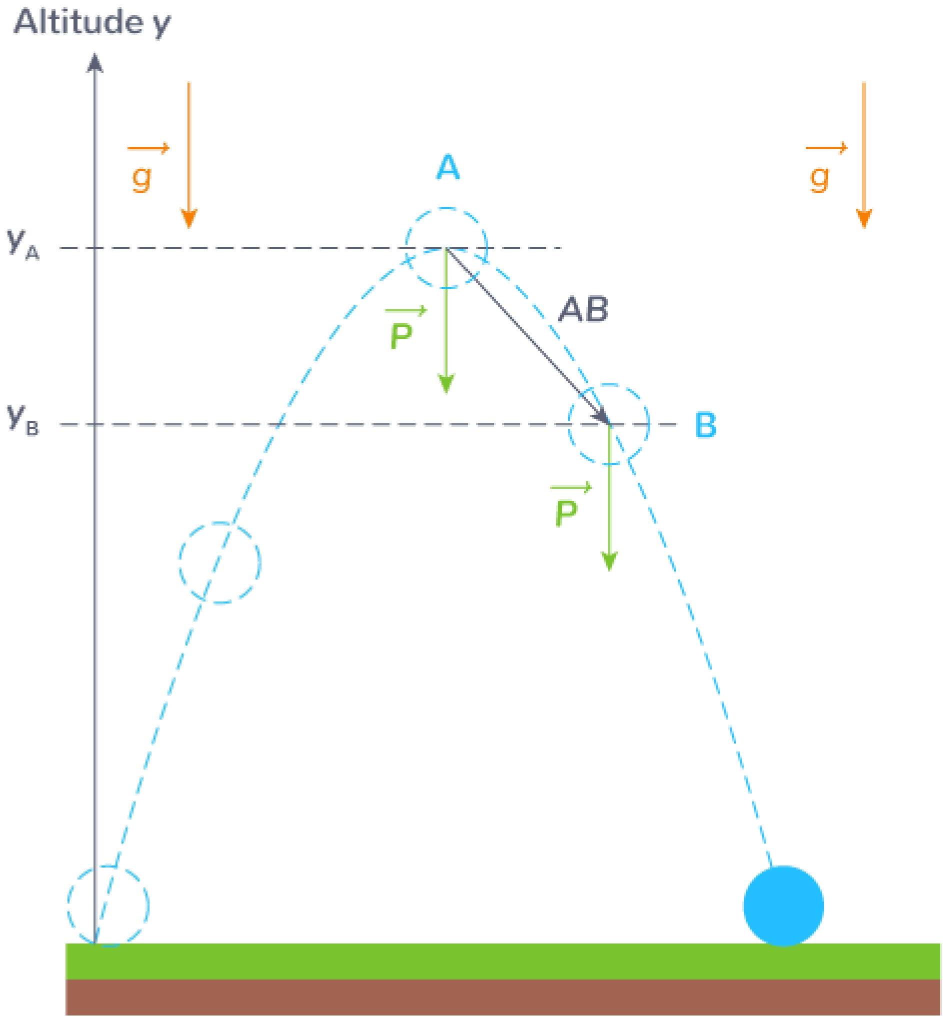


Schéma de la chute d'une balle soumise à son poids

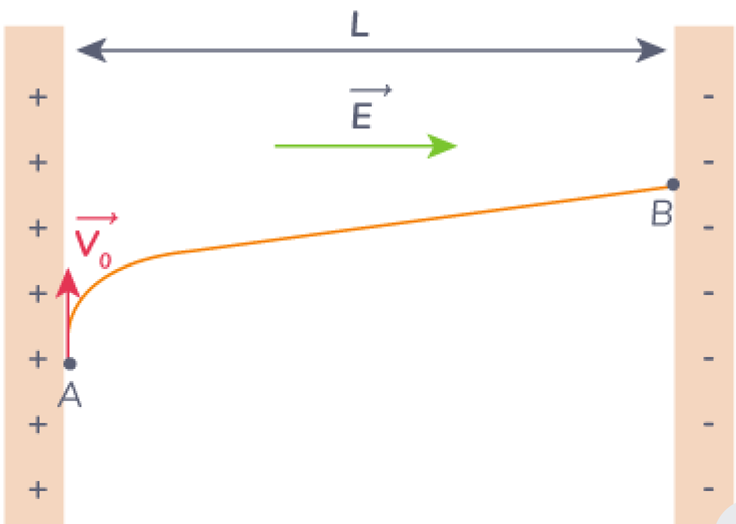


Schéma de la trajectoire d'un proton soumis au champ électrique d'un condensateur plan

PROPRIÉTÉ

Lorsqu'un système ayant une masse se déplace dans le champ de gravitation uniforme d'un astre, un transfert d'énergie a lieu. L'énergie transférée, appelée travail du poids, ne dépend pas du chemin suivi mais seulement des altitudes des points de départ et d'arrivée. Pour un déplacement $\overrightarrow{AB}$ d'un système de masse m, son expression est :

$$W_{AB}\left(\overrightarrow{P}\right)_{(\text{J})} = \overrightarrow{P}\cdot\overrightarrow{AB} = m_{\ (\text{kg})} \times g_{(\text{m.s}^{-2})} \times \left(y_{A(\text{m})} – y_{B(\text{m})}\right)$$

Ainsi :

- Si le système s'élève, $y_B > y_A \Leftrightarrow W_{AB}\left(\overrightarrow{P}\right)_{(\text{J})} < 0\text{ J}$: le travail du poids est résistant, le poids fait perdre de l'énergie au système.
- Si le système se déplace à l'horizontale, $y_B = y_A \Leftrightarrow W_{AB}\left(\overrightarrow{P}\right)_{(\text{J})} = 0\text{ J}$: le travail du poids est nul, le poids ne modifie pas l'énergie au système.
- Si le système descend, $y_B < y_A \Leftrightarrow W_{AB}\left(\overrightarrow{P}\right)_{(\text{J})} > 0\text{ J}$: le travail du poids est moteur, le poids fait gagner de l'énergie au système.

EXEMPLE

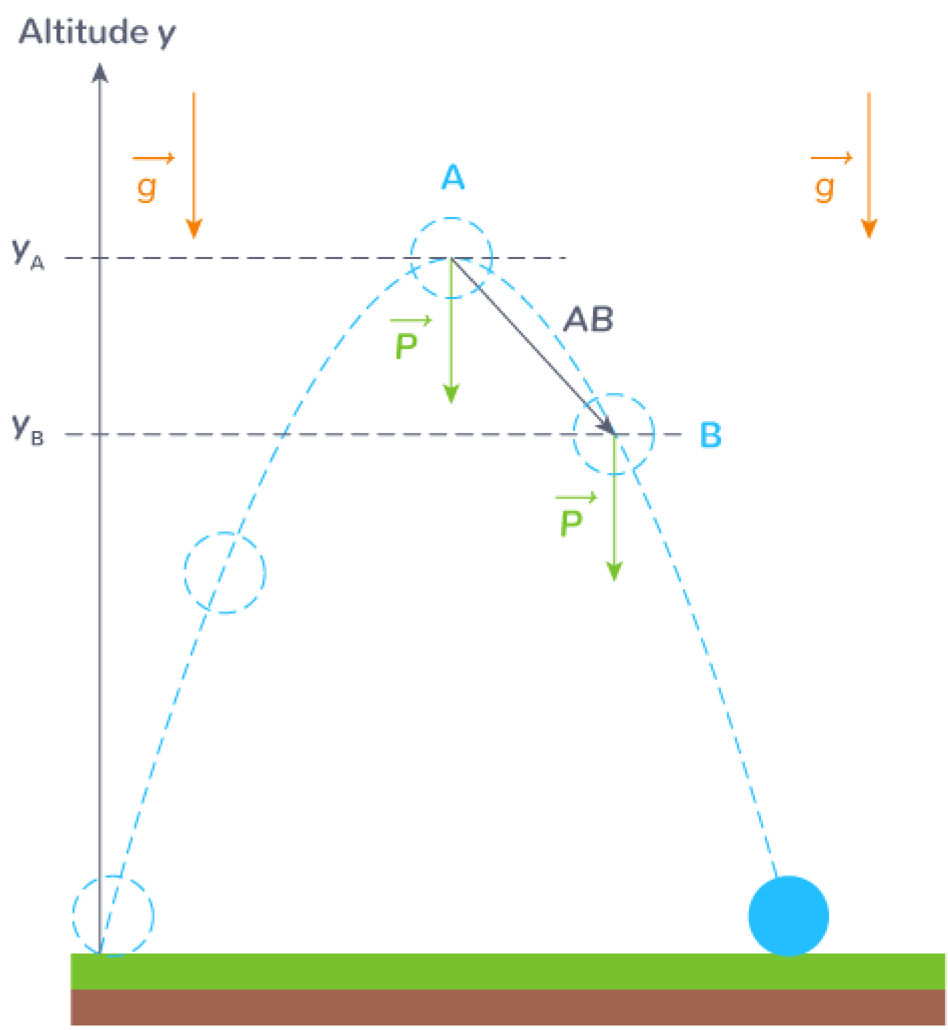
Lorsque dans le champ de pesanteur terrestre une balle de masse $m = 400\text{ g}$ chute d'un point A d'altitude $y_A = 5{,}0\text{ m}$ à un point B d'altitude $y_B = 3{,}5\text{ m}$, le travail de son poids est moteur et sa valeur sont :

$$W_{AB}\left(\overrightarrow{P}\right)_{(\text{J})} = m_{\ (\text{kg})} \times g_{(\text{m.s}^{-2})} \times \left(y_{A(\text{m})} – y_{B(\text{m})}\right)$$

$$W_{AB}\left(\overrightarrow{P}\right) = 400 \times 10^{-3} \times 9{,}81 \times (5{,}0 – 3{,}5)$$

$$W_{AB}\left(\overrightarrow{P}\right) = 5{,}9\text{ J}$$

On retrouve bien que le travail du poids est positif donc moteur. Le poids fait gagner de l'énergie au système pendant sa chute.



Cas de la chute d'une balle soumise à son poids

PROPRIÉTÉ

Lorsqu'une particule ayant une charge électrique se déplace dans le champ électrique uniforme d'un condensateur plan, un transfert d'énergie a lieu. L'énergie transférée, appelée travail de la force électrique $\overrightarrow{F_e}$, ne dépend pas du chemin suivi mais seulement des abscisses des points de départ et d'arrivée, mesurées perpendiculairement aux armatures. Pour un déplacement $\overrightarrow{AB}$ d'une particule de charge électrique q, son expression est :

$$W_{AB}\left(\overrightarrow{F_e}\right)_{(\text{J})} = \overrightarrow{F_e} \cdot \overrightarrow{AB} = q_{\,(\text{C})} \times E_{(\text{V.m}^{-1})} \times \left(x_{B(\text{m})} - x_{A(\text{m})}\right)$$

Ainsi, pour une particule portant une charge électrique **positive** :

- Si la particule se rapproche de l'armature négative, $x_B > x_A \Leftrightarrow W_{AB}\left(\overrightarrow{F_e}\right)_{(\text{J})} > 0 \text{ J}$: le travail de la force électrique est moteur, la force électrique fait gagner de l'énergie à la particule.
- Si la particule se déplace parallèlement aux armatures, $x_B = x_A \Leftrightarrow W_{AB}\left(\overrightarrow{F_e}\right)_{(\text{J})} = 0 \text{ J}$: le travail de la force électrique est nul, la force électrique ne modifie pas l'énergie de la particule.
- Si la particule se rapproche de l'armature positive, $x_B < x_A \Leftrightarrow W_{AB}\left(\overrightarrow{F_e}\right)_{(\text{J})} < 0 \text{ J}$: le travail de la force électrique est résistant, la force électrique fait perdre de l'énergie à la particule.

Si la particule porte une charge électrique **négative**, les signes et natures de ces travaux sont à inverser.

EXEMPLE

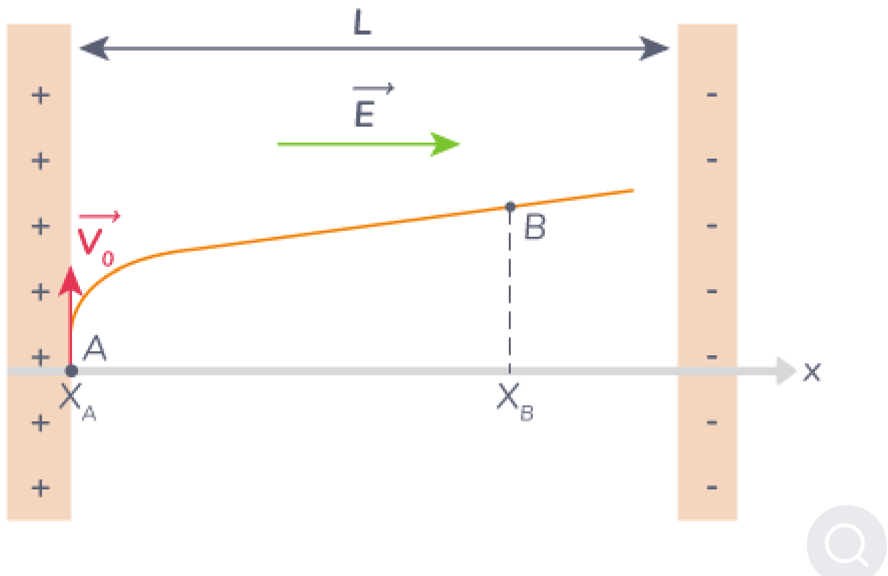
Lorsque dans le champ électrique uniforme d'un condensateur plan de valeur $E = 150 \text{ V.m}^{-1}$ une particule portant une charge électrique $q = -3{,}20 \times 10^{-19} \text{ C}$ négative se déplace d'un point A d'abscisse $x_A = 0 \text{ m}$ à un point B d'abscisse $x_B = 3{,}5 \text{ cm}$, en se rapprochant de l'armature négative, le travail de la force électrique est résistant et sa valeur est :

$$W_{AB}\left(\overrightarrow{F_e}\right)_{(\text{J})} = q_{(\text{C})} \times E_{(\text{V.m}^{-1})} \times (x_{B(\text{m})} - x_{A(\text{m})})$$

$$W_{AB}\left(\overrightarrow{Fe}\right) = -3{,}20 \times 10^{-19} \times 150 \times (3{,}5 \times 10^{-2} – 0)$$

$$W_{AB}\left(\overrightarrow{Fe}\right) = -1{,}7 \times 10^{-18} \text{ J}$$

On retrouve bien le cas énoncé précédemment pour une particule chargée négativement, le travail est résistant et il fait perdre de l'énergie à la particule.



Cas d'une particule chargée négativement se rapprochant de l'armature négative du condensateur plan

THÉORÈME

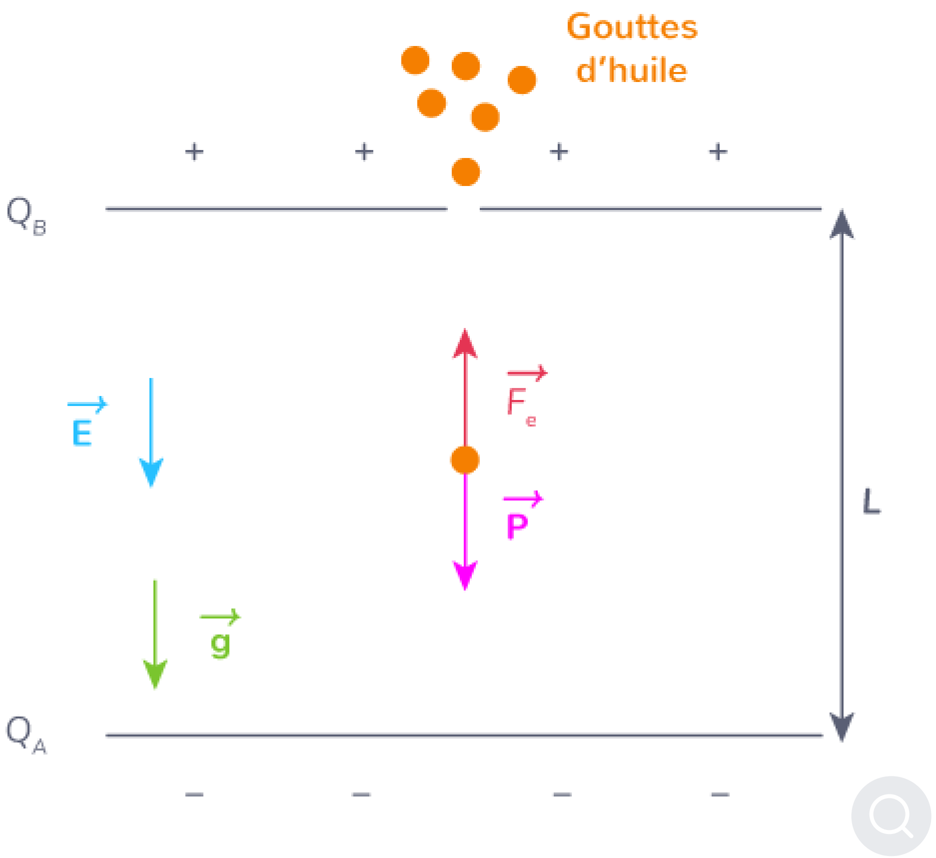
Théorème de l'énergie cinétique

Dans un référentiel galiléen, la variation de l'énergie cinétique d'un système de masse m se déplaçant d'un point A à un point B est égale à la somme des travaux $\sum_i W_{AB}\left(\overrightarrow{F_{ext}}\right)$ des forces extérieures qu'il subit :

$$\Delta_{AB} E_c = \sum_i W_{AB}\left(\overrightarrow{F_{ext}}\right)$$

EXEMPLE

Dans l'expérience de Millikan, des gouttes d'huile portant une charge électrique **négative** sont maintenues en mouvement rectiligne et uniforme dans un condensateur plan. Ces gouttes étant placées à la fois dans un champ de pesanteur et dans un champ électrique, les forces qu'elles subissent sont leur poids $\overrightarrow{P}$ et la force électrique $\overrightarrow{F_e}$.



Expérience de Millikan

La variation d'énergie cinétique des gouttes entre les deux bornes du condensateur est donc égale à la somme des travaux entre A et B de ces deux forces :

$$\Delta_{AB}E_c = W_{AB}\left(\overrightarrow{P}\right) + W_{AB}\left(\overrightarrow{F_e}\right)$$

La vitesse des gouttes étant constante, leur variation d'énergie cinétique est nulle. On en déduit que les travaux de ces forces se compensent :

$$W_{AB}\left(\overrightarrow{P}\right) + W_{AB}\left(\overrightarrow{F_e}\right) = 0 \text{ J}$$

Soit :

$$m_{\text{ (kg)}} \times g_{(\text{m.s}^{-2})} \times \left(y_{A(\text{m})} - y_{B(\text{m})}\right) + q_{\text{ (C)}} \times E_{(\text{V.m}^{-1})} \times L_{(\text{m})} = 0$$

Les gouttes d'huile portent une charge électrique négative, multiple de la charge élémentaire e. Ainsi, en connaissant les grandeurs intervenant dans cette équation (E, g, L, etc.), cette expérience a permis de déterminer la valeur du rapport $\dfrac{e}{m_{\text{électron}}}$.

PROPRIÉTÉ

Les travaux du poids $\overrightarrow{P}$ et de la force électrique $\overrightarrow{F_e}$ ne dépendent pas du chemin suivi par le système : ce sont des forces conservatives. Elles dérivent donc d'une énergie potentielle :

- L'énergie potentielle associée au poids est l'énergie potentielle de pesanteur, d'expression $E_{PP\text{ (J)}} = m_{\text{ (kg)}} \times g_{(\text{N.kg}^{-1})} \times y_{(\text{m})}$ (à une constante près). Ainsi, lors d'un déplacement AB :

$$W_{AB}\left(\overrightarrow{P}\right) = -\Delta E_{PP}$$

$$W_{AB}\left(\overrightarrow{P}\right) = -\left(E_{\text{PP}}(B) - E_{\text{PP}}(A)\right)$$

$W_{AB}\left(\overrightarrow{P}\right) = -m \times g \times y_B + m \times g \times y_A$

$W_{AB}\left(\overrightarrow{P}\right) = m \times g \times (y_A - y_B)$

- L'énergie potentielle associée à la force électrique est l'énergie potentielle électrique, d'expression $E_{PE\text{ (J)}} = q_{\text{ (C)}} \times V_{\text{(V)}}$, où V est le potentiel électrique du point. Ainsi, lors d'un déplacement AB :
  $W_{AB}\left(\overrightarrow{F_e}\right) = -\Delta E_{PE}$
  $W_{AB}\left(\overrightarrow{F_e}\right) = -\left(E_{\text{PP}}(B) - E_{\text{PP}}(A)\right)$
  $W_{AB}\left(\overrightarrow{F_e}\right) = -q \times V_B + q \times V_A$
  $W_{AB}\left(\overrightarrow{F_e}\right) = q \times U_{AB}$

DÉFINITION

Énergie mécanique

L'énergie mécanique d'un système est égale à la somme de :

- son énergie cinétique : $E_{c\text{ (J)}} = \dfrac{1}{2} \times m_{\text{ (kg)}} \times v^2_{\text{(m.s}^{-1})}$;
- son énergie potentielle de pesanteur : $E_{PP\text{ (J)}} = m_{\text{ (kg)}} \times g_{(\text{N.kg}^{-1})} \times y_{(\text{m})}$;
- son énergie potentielle électrique : $E_{PE\text{ (J)}} = q_{\text{ (C)}} \times V_{(\text{V})}$.

$$E_{M\text{ (J)}} = E_{c\text{ (J)}} + E_{PP\text{ (J)}} + E_{PE\text{ (J)}}$$

$$E_{M\text{ (J)}} = \dfrac{1}{2} \times m_{\text{ (kg)}} \times v^2_{(\text{m.s}^{-1})} + m_{\text{ (kg)}} \times g_{(\text{N.kg}^{-1})} \times y_{(\text{m})} + q_{\text{ (C)}} \times V_{(\text{V})}$$

EXEMPLE

Dans l'expérience de Millikan, l'énergie mécanique des gouttes d'huile est :

$E_{M\text{ (J)}} = \dfrac{1}{2} \times m_{\text{ (kg)}} \times v^2_{(\text{m.s}^{-1})} + m_{\text{ (kg)}} \times g_{(\text{N.kg}^{-1})} \times y_{(\text{m})} + q_{\text{ (C)}} \times V_{(\text{V})}$

THÉORÊME

Théorème de l'énergie mécanique

Au cours d'un mouvement d'un système entre un point A et un point B, la variation d'énergie mécanique $\Delta_{AB}E_m$ d'un système est égale au travail des forces non conservatives $W_{AB}\left(\overrightarrow{F_{nc}}\right)$. Dans le cas d'un système soumis à un champ uniforme de pesanteur $\overrightarrow{g}$ ou électrique $\overrightarrow{E}$, les forces subies (respectivement $\overrightarrow{P}$ et $\overrightarrow{F_e}$) sont conservatives. Il en découle que $W_{AB}\left(\overrightarrow{F_{nc}}\right) = 0 \text{ J}$ et donc que l'énergie mécanique du système se conserve :

$$\Delta_{AB}E_m = 0 \text{ J}$$

EXEMPLE

Dans l'expérience de Millikan, les gouttes d'huile étant soumises uniquement à leur poids $\overrightarrow{P}$ et à la force électrique $\overrightarrow{F_e}$, leur énergie mécanique se conserve.

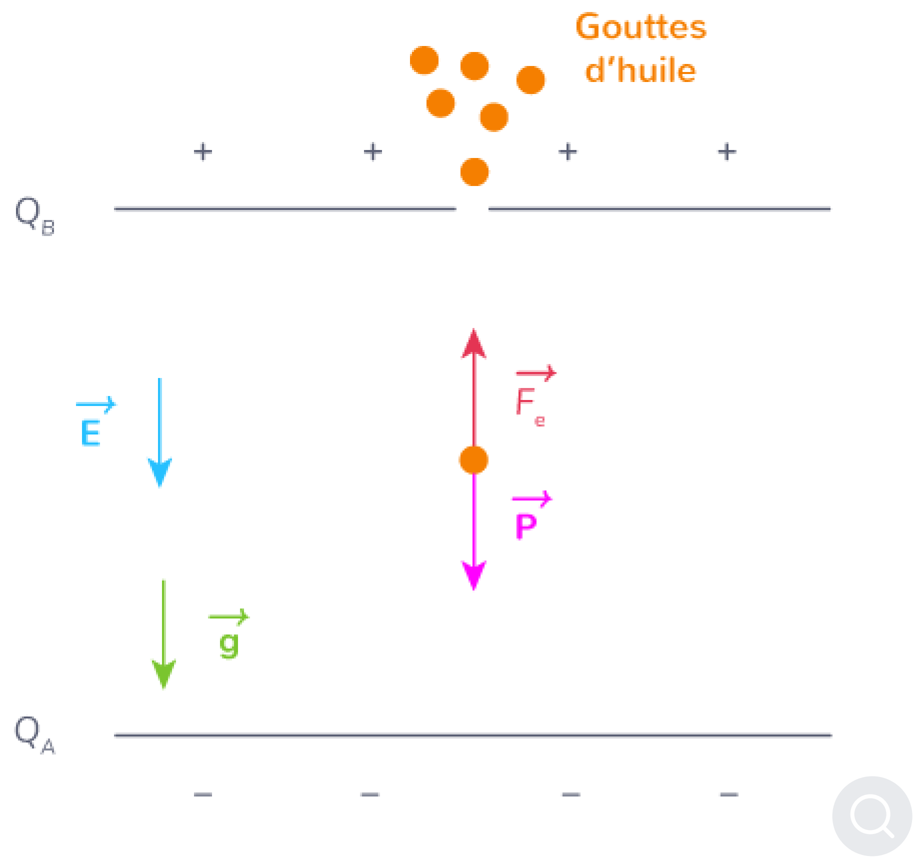
On peut donc écrire :

$$\Delta_{AB}E_m = 0 \text{ J}$$

$$E_M(B) - E_M(A) = 0 \text{ J}$$

D'où :

$$E_c(B) + E_{PP}(B) + E_{PE}(B) = E_c(A) + E_{PP}(A) + E_{PE}(A)$$



Goutte d'huile en chute libre dans un condensateur plan

B L'évolution des grandeurs énergétiques dans un champ uniforme

Le théorème de l'énergie cinétique et mécanique permet de connaître l'évolution de certaines grandeurs énergétiques au cours d'un mouvement et de les identifier sur un graphique.

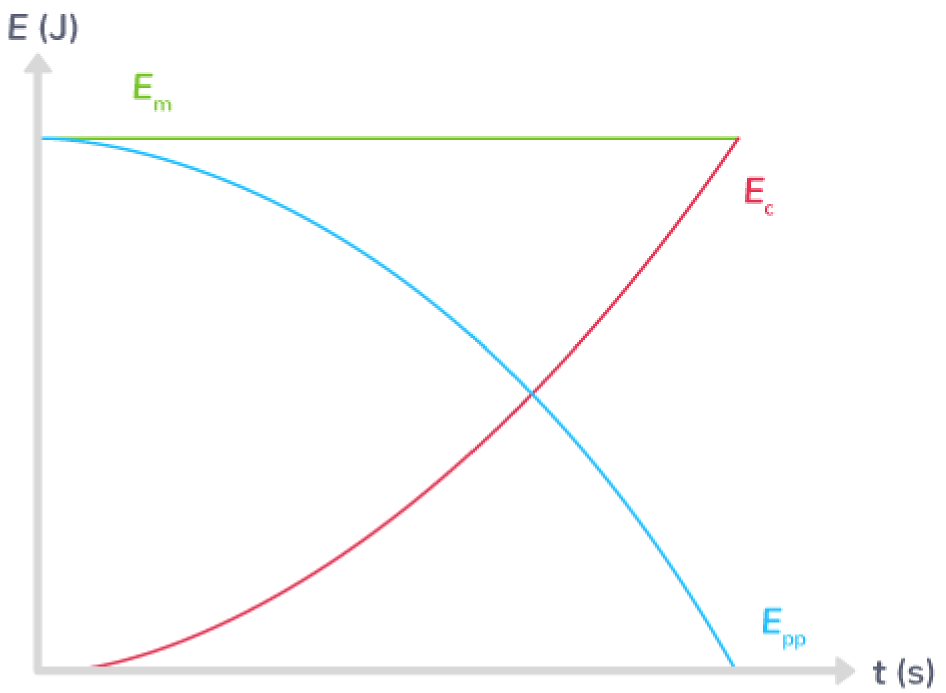
PROPRIÉTÉ

On représente souvent l'évolution des différentes énergies d'un système en fonction du temps sur un graphique. Les théorèmes de l'énergie cinétique et de l'énergie mécanique permettent alors d'identifier chacune des énergies :

- L'énergie cinétique E_c augmente avec la vitesse v du système.
- L'énergie potentielle de pesanteur E_{PP} augmente avec l'altitude y du système.
- L'énergie potentielle électrique E_{PE} augmente avec le potentiel électrique V du système.
- L'énergie mécanique E_M étant la somme des énergies précédentes, elle est la plus importante.

EXEMPLE

Au cours d'une chute libre, on observe les évolutions suivantes :



Variations des énergies cinétique, potentielle de pesanteur et mécanique lors de la chute libre d'une balle

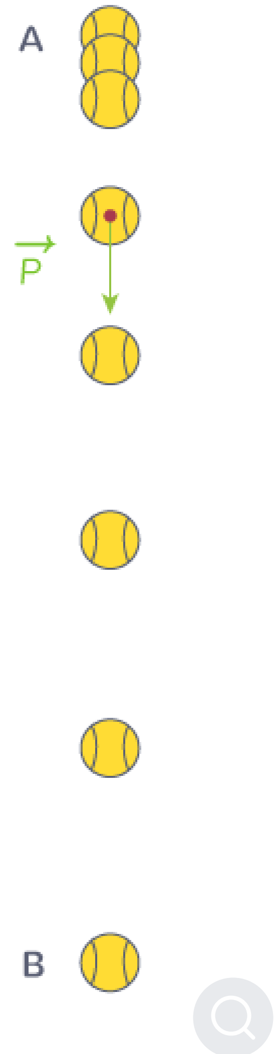
En effet, le système étant en chute libre, il n'est soumis qu'à son poids $\overrightarrow{P}$, son énergie mécanique se conserve :

$$\Delta_{AB}E_m = 0 \text{ J}$$

Les énergies que possède ce système sont l'énergie cinétique et l'énergie potentielle de pesanteur. On peut donc écrire :

$$\Delta E_c + \Delta E_{PP} = 0 \text{ J}$$

Ainsi, au cours du mouvement, lorsque l'énergie cinétique augmente, l'énergie potentielle de pesanteur diminue, et inversement. Il y a transfert d'énergie potentielle de pesanteur en énergie cinétique et inversement.



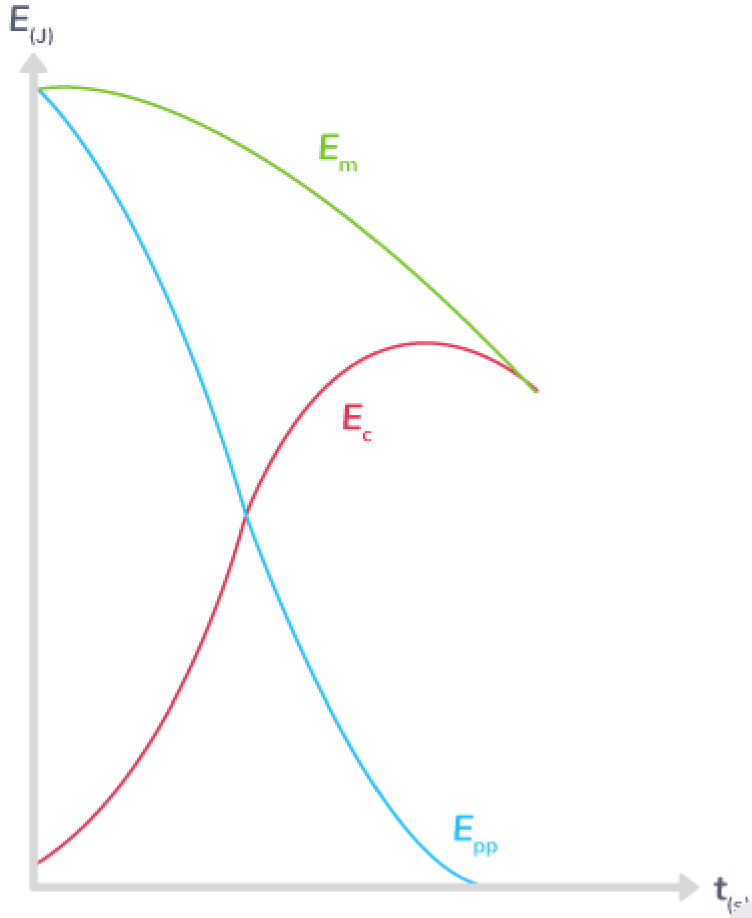
Chute libre d'une balle de tennis

PROPRIÉTÉ

Le graphique représentant l'évolution des grandeurs énergétiques d'un système placé dans un champ uniforme permet de déterminer si celui-ci est soumis à des frottements : si les frottements ne sont pas négligeables, l'énergie mécanique E_M diminue au cours du temps.

EXEMPLE

Lorsqu'un système en mouvement est soumis à des frottements, une partie de son énergie est dissipée. Le transfert de son énergie potentielle de pesanteur en énergie cinétique est alors partiel et l'énergie mécanique du système diminue au cours du temps.



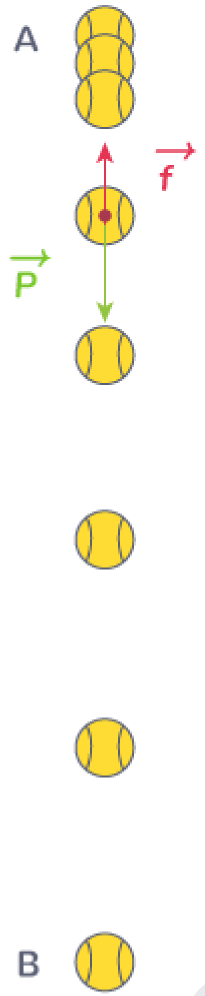
Variations des énergies cinétique, potentielle de pesanteur et mécanique dans le cas d'une chute avec frottements

En effet, le travail de la force de frottements $\overrightarrow{f}$ qui s'exerce sur le système est négatif, ce qui montre que cette force dissipe une partie de l'énergie mécanique :

$$\Delta_{AB}E_m = W_{AB}\left(\overrightarrow{F_{nc}}\right)$$

$$\Delta_{AB}E_m = W_{AB}\left(\overrightarrow{f}\right)$$

$$\Delta_{AB}E_m = -f.AB < O \text{ J}$$



Chute d'une balle de tennis soumise à des frottements