

Cadre de référence de la leçon

- PH4.2.10** Appliquer la deuxième loi de Newton pour établir l'équation différentielle du mouvement du centre d'inertie d'un système sur un plan horizontal ou incliné et déterminer les grandeurs cinématiques et dynamiques caractéristiques du mouvement.
- PH4.2.11** Exploiter un document représentant la trajectoire d'un projectile dans un champ de pesanteur uniforme pour déterminer le type de mouvement (plan), représenter les vecteurs vitesse et accélération, et déterminer les conditions initiales et quelques paramètres caractérisant le mouvement.
- PH4.2.12** Appliquer la deuxième loi de Newton dans le cas d'un projectile pour établir les équations différentielles du mouvement, en déduire les équations horaires et les exploiter, trouver l'équation de la trajectoire, établir et exploiter les expressions de la portée et de la flèche.
- PH4.2.13** Connaître les caractéristiques de la force de Lorentz et la règle permettant de déterminer son sens.
- PH4.2.14** Appliquer la deuxième loi de Newton dans le cas d'une particule chargée placée dans un champ magnétique uniforme, avec $\vec{B}$ perpendiculaire à $\vec{v}_G$, pour déterminer la nature du mouvement et calculer la déflexion magnétique.

Travaux pratiques

- TP-PH4.3** Mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur uniforme.

Compétence ciblée

- CC4** La mécanique. Analyser, suivre et prévoir l'évolution d'un système mécanique en adoptant un modèle simple. Résoudre une situation-problème liée à un système mécanique en mouvement par une étude dynamique ou énergétique.

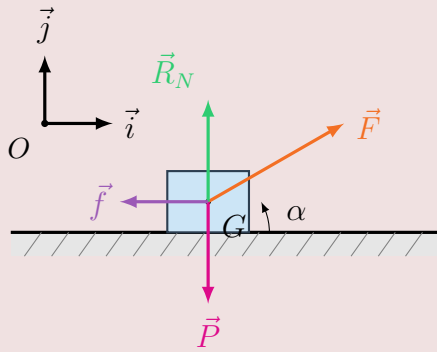
1

Mouvement sur un plan horizontal ou incliné

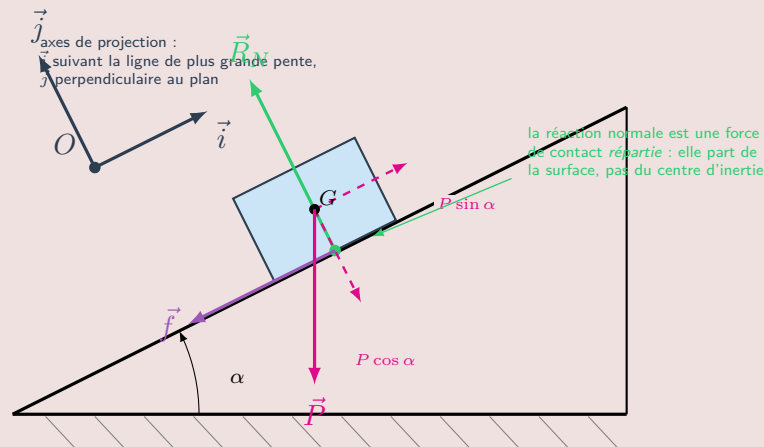
Cadre de référence : PH4.2.10

1) Solide en translation sur un plan horizontal

Un solide de masse m est tiré sur un plan horizontal par une force $\vec{F}$ faisant un angle α avec l'horizontale. Le plan exerce une réaction $\vec{R} = \vec{R}_N + \vec{f}$, où $\vec{f}$ est la composante tangentielle (frottement).



Solide tiré sur un plan horizontal : $(\vec{i}, \vec{j})$ sont les axes de projection



Plan incliné : $\vec{R}_N$ et $\vec{f}$ s'appliquent à la surface de contact ; $(\vec{i}, \vec{j})$ sont les axes de projection

2) Étude dynamique sur un plan horizontal

Système : le solide (S). Référentiel : terrestre supposé galiléen. Bilan des forces : $\vec{P}$, $\vec{R}_N$, $\vec{f}$ et $\vec{F}$. La deuxième loi de Newton s'écrit :

$$\vec{P} + \vec{R}_N + \vec{f} + \vec{F} = m \vec{a}_G$$

Projection sur $\vec{i}$ (axe du mouvement) :

$$F \cos \alpha - f = m a_G$$

Projection sur $\vec{j}$ (perpendiculaire au plan) :

$$R_N + F \sin \alpha - P = 0 \implies R_N = mg - F \sin \alpha$$

D'où l'accélération :

$$a_G = \frac{F \cos \alpha - f}{m}$$

Elle est constante : le mouvement est **rectiligne uniformément varié**.

3) Étude dynamique sur un plan incliné

Le solide glisse sur un plan incliné d'un angle α par rapport à l'horizontale. En prenant l'axe $(O, \vec{i})$ suivant la ligne de plus grande pente, orienté vers le bas :

$$\vec{P} + \vec{R}_N + \vec{f} = m \vec{a}_G$$

Projection sur $\vec{i}$:

$$mg \sin \alpha - f = m a_G$$

Projection sur $\vec{j}$:

$$R_N - mg \cos \alpha = 0 \implies R_N = mg \cos \alpha$$

Donc :

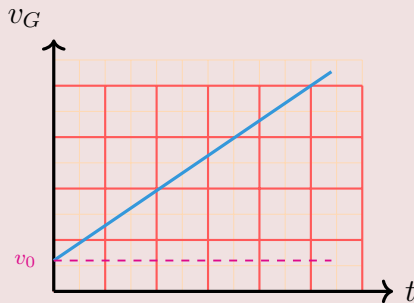
$$a_G = g \sin \alpha - \frac{f}{m}$$

Cas particulier : si les frottements sont négligeables, $f = 0$ et

$$a_G = g \sin \alpha = \text{constante}$$

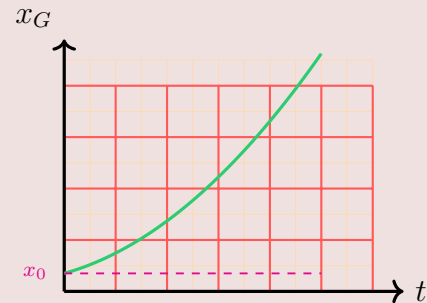
Le mouvement est rectiligne uniformément varié, d'équations horaires :

$$v_G(t) = a_G t + v_0, \quad x_G(t) = \frac{1}{2} a_G t^2 + v_0 t + x_0$$



droite : coefficient directeur a_G

Diagramme des vitesses



parabole de concavité tournée vers a_G

Diagramme des espaces

2

Mouvement d'un projectile dans le champ de pesanteur uniforme

Cadre de référence : PH4.2.11, PH4.2.12

Un projectile de masse m est lancé en un point O avec une vitesse initiale $\vec{V}_0$ faisant un angle α avec l'horizontale.

Dans le repère $R(O, \vec{i}, \vec{j})$, la seule force exercée sur le projectile est son poids :

$$\vec{P} = m\vec{g} = -mg\vec{j}$$

Les conditions initiales sont :

$$V_{0x} = V_0 \cos \alpha, \quad V_{0y} = V_0 \sin \alpha$$

$$x_0 = 0, \quad y_0 = 0$$

Projection sur l'axe (Ox) :

$$a_x = 0$$

$$V_x(t) = V_0 \cos \alpha$$

$$x(t) = V_0 \cos \alpha t$$

Projection sur l'axe (Oy) :

$$a_y = -g$$

$$V_y(t) = -gt + V_0 \sin \alpha$$

$$y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + V_0 \sin \alpha t$$

Caractéristiques de la trajectoire

a) Équation de la trajectoire

$$y = -\frac{g}{2V_0^2 \cos^2 \alpha} x^2 + \tan \alpha x$$

Il s'agit de l'équation d'une parabole.

b) La portée x_P

$$x_P = OP = \frac{2V_0^2 \cos \alpha \sin \alpha}{g}$$

La portée est maximale pour $\alpha = 45^\circ$.

c) Le sommet S de la trajectoire

$$t_S = \frac{V_0 \sin \alpha}{g}$$

Les coordonnées du sommet sont :

$$x_S = \frac{V_0^2 \cos \alpha \sin \alpha}{g}, \quad y_S = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

3

Particule chargée dans un champ électrique uniforme

Cadre de référence : PH4.2.11, PH4.2.12

1) Le champ électrique entre deux plaques

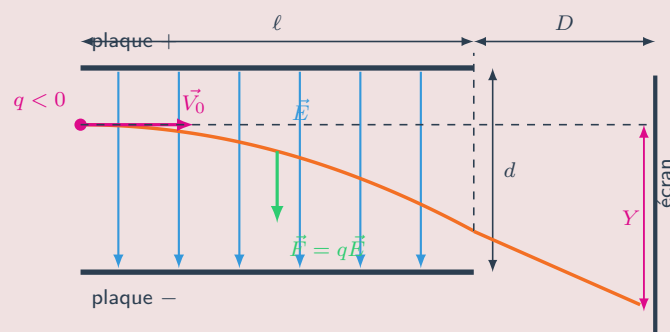
Entre deux plaques parallèles distantes de d et soumises à la tension U , le champ électrique est **uniforme** : même direction, même sens et même valeur en tout point. Il est dirigé de la plaque positive vers la plaque négative et sa valeur est

$$E = \frac{U}{d}$$

Une particule de charge q y subit la force électrique

$$\vec{F} = q \vec{E}$$

de même sens que $\vec{E}$ si $q > 0$, de sens opposé si $q < 0$. Devant cette force, le poids est presque toujours négligeable.



2) Nature du mouvement

La particule entre en O avec la vitesse $\vec{V}_0$ perpendiculaire à $\vec{E}$. Dans le repère $R(O, \vec{i}, \vec{j})$ où $\vec{i}$ porte $\vec{V}_0$ et $\vec{j}$ est opposé à $\vec{E}$, la deuxième loi de Newton donne :

$$q \vec{E} = m \vec{a} \quad \implies \quad a_x = 0, \quad a_y = -\frac{|q| E}{m}$$

Par intégration, avec $x_0 = y_0 = 0$, $V_{0x} = V_0$ et $V_{0y} = 0$:

$$x(t) = V_0 t, \quad y(t) = -\frac{1}{2} \frac{|q| E}{m} t^2$$

En éliminant le temps, on obtient l'équation de la trajectoire :

$$y = -\frac{|q| E}{2 m V_0^2} x^2$$

Le mouvement est donc **plan, parabolique** : c'est le même type de mouvement qu'un projectile dans le champ de pesanteur, le champ $\vec{E}$ jouant le rôle de $\vec{g}$.

3) La déflexion électrique

À la sortie des plaques, en $x = \ell$, la particule s'écarte de l'axe de

$$y_s = -\frac{|q| E \ell^2}{2 m V_0^2}$$

puis poursuit en ligne droite. Sur un écran placé à la distance D de la sortie du champ, la **déflexion électrique** vaut :

$$Y = \frac{|q| U \ell D}{m d V_0^2}$$

Cette relation est mise à profit dans l'oscilloscope analogique, où la tension à visualiser commande directement la déviation verticale du faisceau d'électrons.

4

Particule chargée dans un champ magnétique uniforme

Cadre de référence : PH4.2.13, PH4.2.14

1) La force de Lorentz

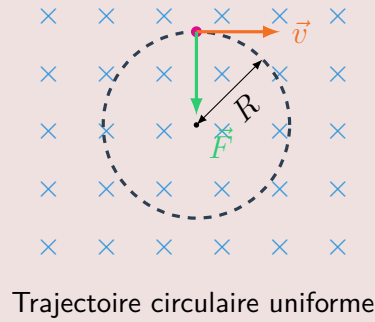
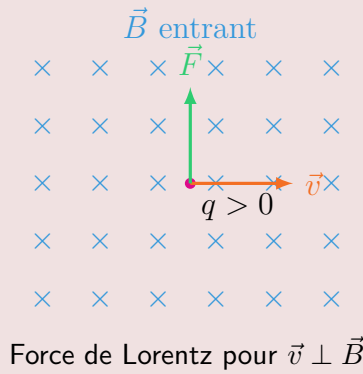
Une particule de charge q , animée de la vitesse $\vec{v}$ dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$, subit la force de Lorentz :

$$\vec{F} = q \vec{v} \wedge \vec{B}$$

Caractéristiques :

- **direction** : perpendiculaire au plan formé par $\vec{v}$ et $\vec{B}$;
- **sens** : donné par la règle des trois doigts de la main droite (ou la règle de la main droite) pour $q > 0$; sens opposé pour $q < 0$;
- **intensité** : $F = |q| v B \sin \theta$, avec $\theta = (\vec{v}, \vec{B})$.

Lorsque $\vec{v} \perp \vec{B}$: $F = |q| v B$.



2) Nature du mouvement

On considère une particule de charge q et de masse m entrant dans un champ uniforme $\vec{B}$ avec une vitesse $\vec{v}_0$ perpendiculaire à $\vec{B}$. Le poids est négligeable devant la force de Lorentz.

La deuxième loi de Newton donne :

$$q \vec{v} \wedge \vec{B} = m \vec{a}$$

Comme $\vec{F} \perp \vec{v}$, la puissance de la force est nulle :

$$\vec{F} \cdot \vec{v} = 0 \implies \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = 0$$

La **vitesse garde une valeur constante** : le mouvement est uniforme, et l'accélération se réduit à sa composante normale.

Dans la base de Frenet :

$$a_N = \frac{v^2}{R} = \frac{|q| v B}{m}$$

d'où le **rayon de la trajectoire** :

$$R = \frac{m v}{|q| B}$$

Le mouvement est donc **circulaire uniforme**, de période :

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{|q| B}$$

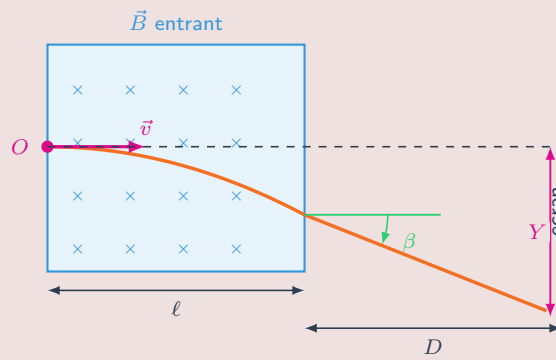
3) La déflexion magnétique

Lorsque la particule ne traverse le champ que sur une longueur ℓ (avec $\ell \ll R$), elle sort déviée d'un angle β tel que :

$$\sin \beta = \frac{\ell}{R} = \frac{|q| B \ell}{m v}$$

Sur un écran placé à la distance D de la sortie du champ, la **déflexion magnétique** vaut :

$$Y = D \tan \beta \simeq \frac{|q| B \ell D}{m v}$$



Cette relation est mise à profit dans le spectrographe de masse et dans les déviateurs magnétiques.