

Chapitre 11

Forces et mouvements

1. Principe d'inertie

1.1 - Forces et mouvement

Un point matériel est un système qu'il est possible de modéliser par un point géométrique M auquel est associée sa masse m .

L'action d'un objet A sur un objet B, modélisée par une force $\overrightarrow{F_{A/B}}$, peut modifier le mouvement de l'objet B, c'est-à-dire modifier sa vitesse et/ou sa trajectoire. Par exemple, à proximité d'une planète, la trajectoire et la vitesse d'une sonde spatiale sont modifiées.

Des forces exercées sur un même système se compensent si leur somme vectorielle est égale au vecteur nul, ce qui se note $\Sigma \overrightarrow{F_{\text{ext}}} = \vec{0}$. La situation est équivalente au cas où le système n'est soumis à aucune force.

Remarque

La somme vectorielle des forces exercées sur un même système peut s'écrire $\Sigma \overrightarrow{F_{\text{ext}}}$ ou encore $\Sigma \vec{F}$.

1.2 - Énoncé du principe d'inertie

Le principe d'inertie permet d'établir un lien entre le mouvement d'un système et les actions extérieures auxquelles il est soumis. Galilée (né en 1564, mort en 1642) en a l'intuition le premier dès 1639, mais c'est Newton (né en 1642, mort en 1727) qui

énonce le principe d'inertie en 1686 de la manière suivante : « Tout corps persévère dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme si les forces qui s'exercent sur lui se compensent. »

Aujourd'hui, le principe d'inertie peut s'exprimer de la façon suivante : Dans un référentiel galiléen, si les forces qui s'exercent sur un système, modélisé par un point matériel, se compensent, alors :

- il est immobile s'il n'a pas de vitesse initiale ;
- il a un mouvement rectiligne uniforme s'il possède une vitesse initiale (c'est-à-dire que son vecteur vitesse, de norme non nulle, ne varie pas)

Exemple

Loin de tout astre, on peut considérer en première approximation qu'une sonde spatiale n'est soumise à aucune force : elle est en mouvement rectiligne uniforme dans le référentiel héliocentrique.

Réciproquement, si un système, modélisé par un point matériel, est immobile ou en mouvement rectiligne uniforme dans un référentiel galiléen, alors les forces qui s'exercent sur lui se compensent.

Exemple

Lorsqu'il atteint une vitesse constante, un parachutiste qui tombe verticalement est en mouvement rectiligne uniforme dans le référentiel terrestre, donc les forces qui s'exercent sur lui se compensent :

$$\overrightarrow{F_{\text{air/parachute}}} = -\vec{P}$$

Pour un système immobile, le vecteur vitesse \vec{v} est nul (donc constant) et, pour un système en mouvement rectiligne uniforme, \vec{v} est constant. Ainsi, le principe d'inertie peut s'écrire, avec $\Delta\vec{v}$ appelée variation du vecteur vitesse entre deux instants voisins :

$$\vec{v} = \overrightarrow{\text{vecteur constant}} \Leftrightarrow \Delta\vec{v} = \vec{0} \Leftrightarrow \Sigma \overrightarrow{F_{\text{ext}}} = \vec{0}.$$

Remarque

Le principe d'inertie n'est applicable que dans certains référentiels, qualifiés de référentiels galiléens, comme le référentiel géocentrique (défini par le centre de la Terre et des étoiles lointaines considérées comme fixes) et le référentiel terrestre. Pour ce dernier, il faut se limiter à des mouvements de courte durée. Pour l'étude des mouvements des planètes dans le Système solaire, le principe d'inertie est applicable dans le référentiel héliocentrique (défini par le centre du Soleil et des étoiles lointaines considérées comme fixes).

Dépasser ses idées fausses

Si un objet A interagit avec un objet B, alors les forces vecteur $\overrightarrow{F_{A/B}}$ et $\overrightarrow{F_{B/A}}$ sont opposées (principe des actions réciproques), mais ce ne sont pas des forces qui se compensent car elles ne s'appliquent pas sur le même système.

2. Contraposée du principe d'inertie

2.1 - Énoncé de la contraposée du principe d'inertie

Dans un référentiel galiléen, si les forces qui s'exercent sur un système, modélisé par un point matériel, ne se compensent pas, alors il n'est ni immobile, ni en mouvement rectiligne uniforme (c'est-à-dire que son vecteur vitesse varie).

Exemple

Lorsqu'elle est soumise à la seule action du Soleil, une sonde spatiale n'est pas soumise à des forces qui se compensent, donc elle n'est pas en mouvement rectiligne uniforme dans le référentiel héliocentrique.

Réciproquement, si un système, modélisé par un point matériel, n'est ni immobile, ni en mouvement rectiligne uniforme dans un référentiel galiléen (c'est-à-dire si son vecteur vitesse varie), alors les forces qui s'exercent sur lui ne se compensent pas.

Exemple

En début de saut, un parachutiste n'est pas en mouvement rectiligne uniforme dans le référentiel terrestre (la valeur de sa vitesse augmente), donc il est soumis à des forces qui ne se compensent pas (la norme de son poids \vec{P} est plus grande que celle de la force $\overrightarrow{F_{\text{air/parachute}}}$).

Si le vecteur vitesse \vec{v} d'un système varie, alors la somme vectorielle $\Sigma \overrightarrow{F_{\text{ext}}}$ des forces extérieures qui s'exercent sur le système n'est pas nulle, et réciproquement.

Ceci peut s'écrire : $\Delta \vec{v} \neq \vec{0} \Leftrightarrow \Sigma \overrightarrow{F_{\text{ext}}} \neq \vec{0}$.

De plus, la direction et le sens de la variation $\Delta\vec{v}$ entre deux instants voisins du vecteur vitesse dans un référentiel galiléen sont ceux de la somme vectorielle $\Sigma \vec{F}_{\text{ext}}$ des forces extérieures.

Remarques

- Comme pour le principe d’inertie, la contraposée du principe d’inertie n’est applicable que dans certains référentiels, qualifiés de référentiels galiléens.
- La contraposition est un type de raisonnement consistant à affirmer l’implication « si non B, alors non A » à partir de l’implication « Si A, alors B ». L’implication « Si non B, alors non A » est appelée contraposée de « Si A, alors B ».

2.2 - Application à la chute libre

En physique, un système est en chute libre si son poids \vec{P} est la seule force qui s’exerce sur lui. On a donc : $\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{P}$.

Exemple

Lorsqu’un enfant jouant au trampoline n’est plus en contact avec le trampoline, on peut considérer qu’il n’est soumis qu’à son poids, donc entre deux instants voisins $\Delta\vec{v}$ est verticale vers le bas dans le référentiel terrestre ; ce qui explique que le mouvement est rectiligne ralenti lors de la montée, puis rectiligne accéléré lors de la descente.

Ainsi, pour une chute libre dans le référentiel terrestre supposé galiléen, la variation $\Delta\vec{v}$ entre deux instants voisins du vecteur vitesse est verticale vers le bas, comme \vec{P} .

Dépasser ses idées fausses

Le principe d'inertie contredit parfois notre intuition : il faut donc l'appliquer rigoureusement. En effet, il ne faut pas confondre la direction et le sens du vecteur vitesse \vec{v} d'un objet avec ceux de la force \vec{F} qu'il subit car ils peuvent être différents.