

## Forces et interactions

- Il existe quatre interactions fondamentales qui régissent la physique :
  - l’interaction gravitationnelle, de portée infinie et dominante à l’échelle astronomique ;
  - l’interaction électromagnétique, de portée infinie et dominante à l’échelle atomique et humaine, responsable de la cohésion de la matière et des frottements ;
  - l’interaction forte, de portée très courte  $\sim 10^{-14}$  m, cohésion des noyaux ;
  - l’interaction faible, de portée très courte  $\sim 10^{-18}$  m, nucléons.
- Une force modélise l’action mécanique exercée par un système sur un autre. Elle est représentée par un vecteur  $\vec{F}$  caractérisé par : une direction, un sens et une norme (intensité en Newton N).
- On distingue les forces de contact (nécessitant un contact physique, ex : tension, frottement) des forces à distance (champ de force, ex : poids, force électrique).

### Interactions usuelles

- La force exercée par un point matériel  $M_1$  sur  $M_2$  (masses  $m_1, m_2$ ) séparés d’une distance  $r$  est

$$\vec{F}_{1 \rightarrow 2} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{u}_{12},$$

avec  $G = 6,67 \times 10^{-11}$  m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>.s<sup>-2</sup> et  $\vec{u}_{12}$  vecteur unitaire de 1 vers 2.

Cas particulier : la force d’attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur un objet ponctuel  $M$  de masse  $m$  s’appelle le poids et vérifie  $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$ .

- La force electrostatique exercée par une particule de charge  $q_1$  sur une autre de charge  $q_2$  séparées d’une distance  $r$  est

$$\vec{F}_{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_{12},$$

où  $\epsilon_0$  est la permittivité du vide.

- Pour un fil inextensible de masse négligeable, la tension  $\vec{T}$  est dirigée le long du fil, de l’objet vers le point d’attache. Si le fil n’est pas tendu,  $\vec{T} = \vec{0}$ .
- Soit un ressort de masse négligeable, de constante de raideur  $k$  et de longueur à vide  $\ell_0$ . Si sa longueur est  $\ell$ , il exerce une force de rappel

$$\vec{F} = -k(\ell - \ell_0)\vec{u},$$

où  $\vec{u}$  est le vecteur unitaire orienté dans le sens de l’allongement.

- La réaction  $\vec{R}$  d’un support solide se décompose en une composante normale  $\vec{R}_n$  et une composante tangentielle  $\vec{R}_t$  (force de frottement).

Les lois de Coulomb (frottements solides) permettent de relier leurs normes via le coefficient de frottement  $f$  :

- absence de glissement (statique) :  $\|\vec{R}_t\| \leq f\|\vec{R}_n\|$  ;
- glissement avéré (dynamique) :  $\|\vec{R}_t\| = f\|\vec{R}_n\|$ .

- La force de frottement fluide s’exerce sur un solide se déplaçant dans un fluide. C’est une force de freinage opposée au vecteur vitesse. On distingue le modèle linéaire  $\vec{F}_f = -\lambda \vec{v}$  (faibles vitesses) du modèle quadratique  $\vec{F}_f = -kv\vec{v}$  (grandes vitesses).

- La poussée d’Archimède est la force exercée par un fluide sur un volume immergé  $V$ . Elle est égale à l’opposé du poids du volume de fluide déplacé :

$$\vec{\Pi} = -\rho V \vec{g}.$$

## Lois de Newton

- Dans un référentiel  $\mathcal{R}$ , le vecteur quantité de mouvement d’un point  $M$  de masse  $m$  est défini par la relation

$$\vec{p}_{M/\mathcal{R}} = m \cdot \vec{v}_{M/\mathcal{R}}.$$

- Première loi : principe d’inertie

Il existe des référentiels privilégiés, appelés référentiels galiléens, dans lesquels un point matériel isolé, soumis à aucune force, est soit au repos, soit en mouvement rectiligne uniforme. C’est que

$$\vec{p}_{M/\mathcal{R}} = cte ; \quad \frac{d\vec{p}_{M/\mathcal{R}}}{dt} = \vec{0}.$$

- Deuxième loi : principe fondamental de la dynamique

Dans un référentiel galiléen,

$$\frac{d\vec{p}_{M/\mathcal{R}}}{dt} = \sum \vec{F}_{ext \rightarrow M}.$$

Dans le cas où la masse est constante, cette loi s’écrit :

$$m\vec{a}_{M/\mathcal{R}} = \sum \vec{F}_{ext \rightarrow M}.$$

- Troisième loi : principe des actions réciproques

Si un système  $A$  exerce une force sur un système  $B$ , alors  $B$  exerce simultanément sur  $A$  une force de même direction, de même intensité, mais de sens opposé :

$$\vec{F}_{A \rightarrow B} = -\vec{F}_{B \rightarrow A}.$$

## Applications