M2 Quantité de mouvement

Introduction

Depuis 4e, les forces sont présentées comme causes de modification d'un mouvement :accélération, freinage, déviation.

Pour développer sa nouvelle mécanique, Newton a défini les grandeurs physiques qu'il allait utiliser :

1) la masse (quantité de matière)
2) la quantité de mouvement d'une corps
3) la force qui s'exerce sur le corps

La quantité de mouvement (en allemand : Impuls, en anglais : momentum) traduit en termes scientifiques ce qu'on pourrait intuitivement entendre par « élan, 'Schwung' ».

Système isolé ou pseudo-isolé :

On appelle système isolé un ensemble de particules qui peuvent interagir entre eux **sans être influencés par des forces extérieures** au système. En réalité on doit se contenter d'un système pseudo-isolé où les forces extérieures se compensent. (p.ex. poids compensé par le coussin d'air, bateau sur l'eau à petite vitesse, solide sur étang glacé).

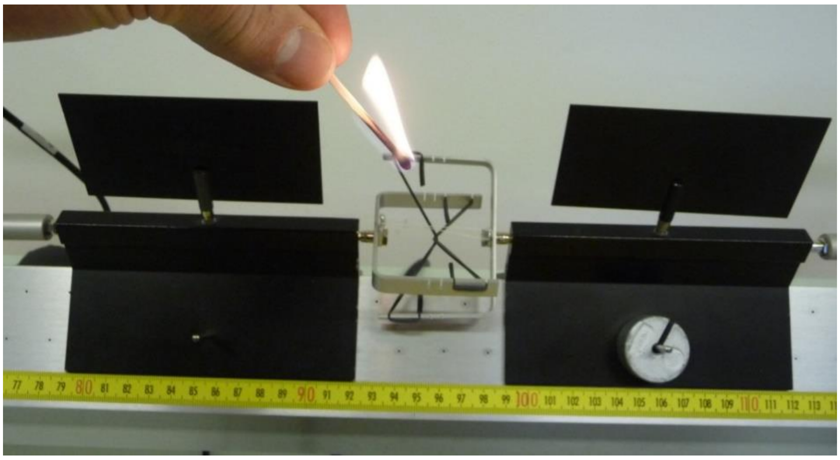
Forces extérieures. Forces intérieures

Toute force exercée par un corps extérieur au système matériel considéré est une force extérieure. Toute force exercée par une partie du système sur une autre partie du système est une force intérieure. La notion de extérieur et interieur dépend de la définition du système.

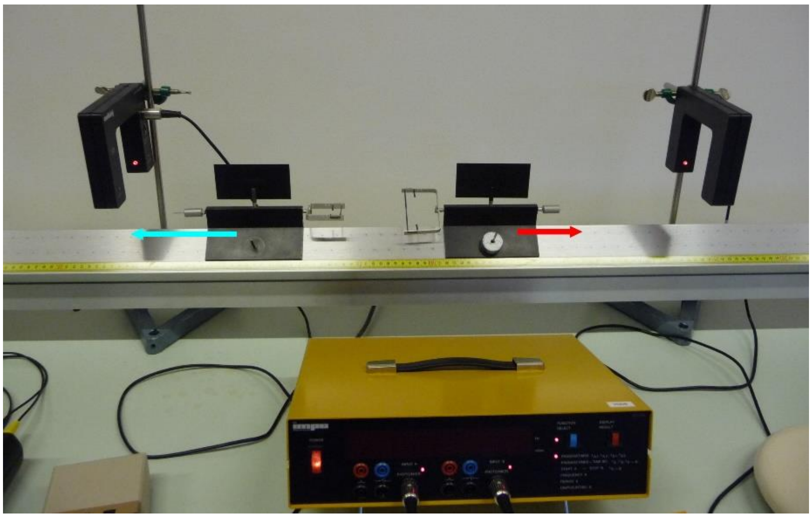
1. Explosion d'un système isolé en 2 fragments

Deux chariots de masses m_1 et m_2, munis d'élastiques sont initialement en contact et immobiles au centre d'un rail à cousin d'air. Lorsqu'on les lâche en brûlant ou coupant le fil sans toucher les chariots, ils se repoussent brutalement (= explosion) avec des forces égales en norme (principe des actions réciproques). Le système constitué des deux chariots peut être considéré comme système (pseudo-)isolé.

Avant l'explosion les deux glisseurs sont immobiles.



Après l'explosion chacun des chariots décrit un mouvement rectiligne uniforme (principe d'inertie). Les vitesses v_1 et v_2 des chariots sont mesurées chacune à l'aide d'un fanion de largeur 10 cm défilant à travers une cellule photoélectrique connectée à un chronomètre.



Pour le **signe des vitesses** on respecte le sens positif vers la droite.

L'expérience est répétée pour plusieurs valeurs différentes des masses m_1 et m_2.

Observations et mesures (chronométrage)

Résumons les résultats de mesure dans un tableau de mesure. dx=100mm

No	m_1 (kg)	m_2 (kg)	dt_1(ms)	dt_2(ms)	v_{1x} (m/s)	v_{2x} (m/s)	m_1v_{1x}	m_2v_{2x}
1								
2								
3								

1) Le chariot de plus faible masse acquiert la plus grande vitesse
   Interprétation: faible masse → faible inertie forte masse → forte inertie

2) Calculons m_1v_1 et m_2v_2:

Aux incertitudes de mesure près: $m_1v_{1x} = - m_2v_{2x}$ (coordonnées suivant x)

Vectoriellement: $m_1\vec{v}_1 = -m_2\vec{v}_2$ resp. $\boxed{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = \vec{0}}$

c) Conclusion

Au cours d'une explosion d'un système isolé initialement immobile en deux fragments de masses m_1 et m_2, les fragments prennent des vitesses $\vec{v}_1$ et $\vec{v}_2$ d'après la relation $m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = \vec{0}$. Dans cette relation, chaque fragment du système intervient par son produit $m\vec{v}$ ou mv_x avec sa coordonnée de vitesse avec signe !

Film explicatif dans le cas d'une fusée. Video LCD

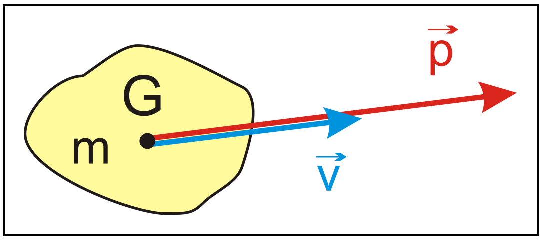
2. Définitions

a) Quantité de mouvement d'un solide

La quantité de mouvement d'un solide de masse m et de vitesse du centre de masse $\vec{v}$ est:

$$\boxed{\vec{p} = m\vec{v}}$$

Point d'application: centre de masse G
Direction: celle de $\vec{v}$
Sens: celui de $\vec{v}$
Norme: p = mv



b) Unité S. I. de la quantité de mouvement

m en kg et v en m/s et donc p en $\frac{kg \cdot m}{s}$

c) Quantité de mouvement d'un système constitué de plusieurs solides

La quantité de mouvement d'un système constitué de plusieurs solides est la somme vectorielle des quantités de mouvement des solides qui constituent le système.

Si le système est formé par n solides sa quantité de mouvement est:

$$\boxed{\vec{p}_{tot} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \ldots \vec{p}_n = \sum m_i \cdot \vec{v}_i = M \cdot \vec{v}_G}$$

avec m_i masse et $\vec{v}_i$ vitesse du centre de masse de chaque corps.

La quantité de mouvement totale correspond alors à la masse totale M mutipliée par le vecteur vitesse du centre de gravité (=centre de masse= centre d'inertie) G du système.

3. Conservation de la quantité de mouvement d'un système isolé

La conclusion de l'expérience précédente de l'explosion peut également s'écrire :

$$\vec{p}_{avant} = \vec{0} \qquad = \qquad \vec{p}_{après} = m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = \vec{0}$$

puisque la vitesse était nulle à cause de la condition remplie par les vitesses.

Cette loi de conservation reste vraie pour tous les systèmes isolés qu'on a pu trouver. Elle intervient aussi dans le principe d'inertie qui dit que le centre de gravité d'un système isolé suit un MRU. Masse et vecteur vitesse invariable => $\vec{p}_{tot} = M \cdot \vec{v}_G$ ne varie pas!

Le vecteur quantité de mouvement d'un système isolé est conservée (ne varie pas).

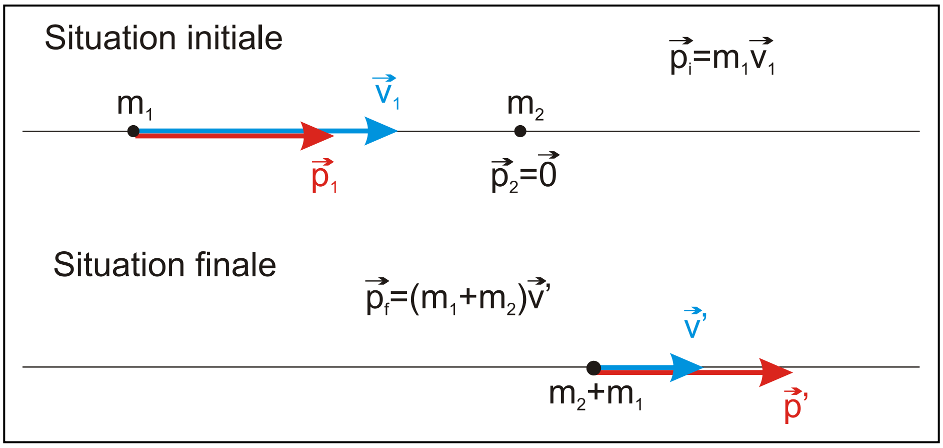
C'est une loi fondamentale de la physique tout comme la conservation de l'énergie.

Elle exprime, par exemple, que la quantité de mouvement d'un système isolé composé de deux mobiles n'est pas modifiée par un choc interne.

Application 1: choc inélastique (avec perte d'énergie)

Un chariot 1 en mouvement avec la vitesse v_1 heurte un chariot 2 au repos (v_2 = 0). Au moment du choc les deux chariots restent accrochés l'un à l'autre et ont la vitesse v'.

Quantité de mouvement initiale: $\vec{p}_i = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_1 = m_1\vec{v}_1$
Quantité de mouvement finale: $\vec{p}_f = \vec{p}\,' = (m_1 + m_2)\vec{v}\,'$



Conservation de $\vec{p}$: $\vec{p}_i = \vec{p}_f$ (i=initial avant ; v f=final après ; v')

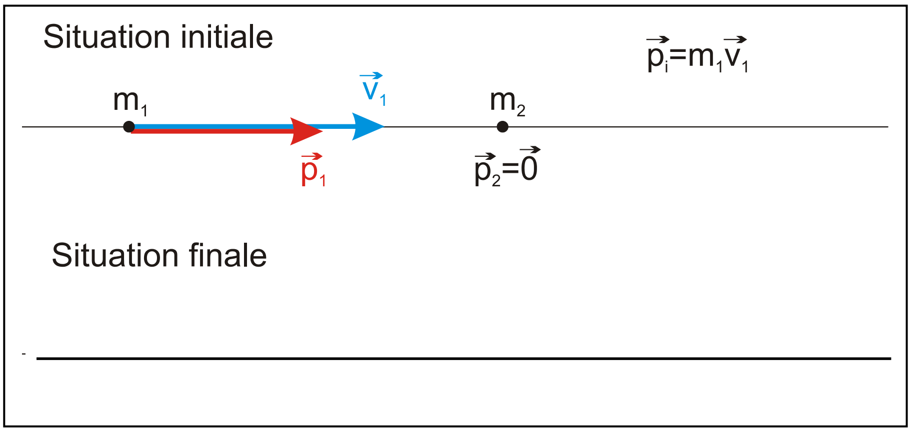
Suivant Ox : $p_{ix} = p_{fx} \Leftrightarrow$ $\mathbf{m_1v_{1x} = (m_1+m_2)v'_x}$ (les vitesses sont des coord. suivant x avec signe)

Application 2: choc élastique (sans perte d'énergie)

Un chariot 1 à la vitesse v_1 rebondit sur le chariot 2 initialement immobile.

Après le choc le chariot 1 a la vitesse v'_1 (evtl. négative s'il recule) et le chariot 2 a la vitesse v'_2.

Quantité de mouvement initiale: $\vec{pi} = m_1\vec{v}_1$
Quantité de mouvement finale: $\vec{p}_f = m_1\vec{v'}_1 + m_2\,\vec{v'}_2$



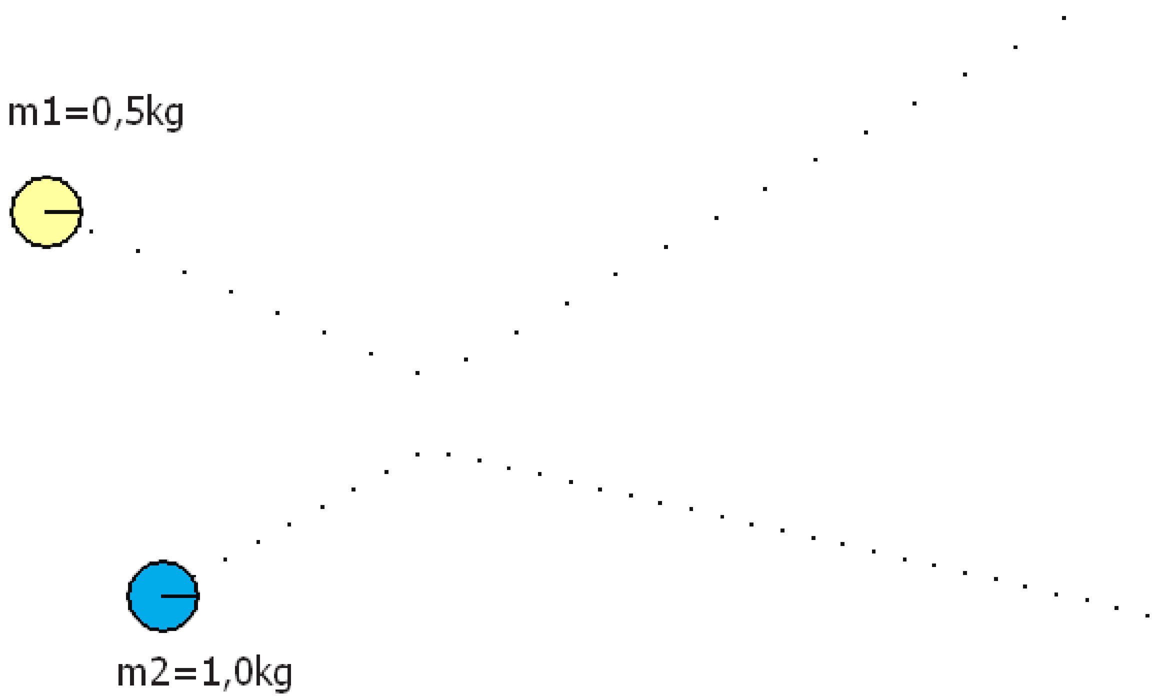
Conservation suivant Ox : $\mathbf{m_1v_{1x} = m_1v'_{1x} + m_2\,v'_{2x}}$

Expériences en TP. Simulation : walter-fendt.de/ ressources.univ-lemans.fr
ou Geogébra : Explosion et Chocs élastique et inélastique

Faire tableau EXCEL :

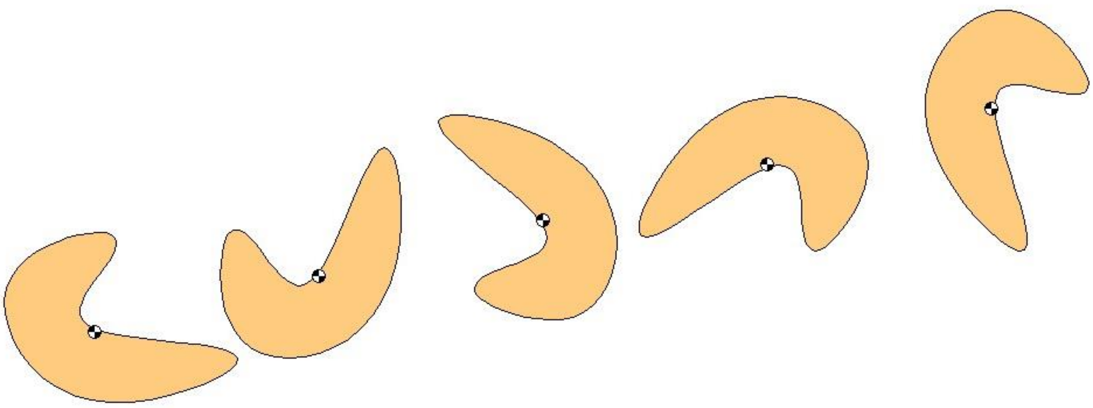
m1	m2	v1x	v2x	v1'x	v2'x	px	p'x	Ecin	E'cin

Application 3 : choc de deux mobiles sur un plan



Le choc élastique entre deux disques sur la table à coussin d'air donne l'enregistrement suivant. L'écart entre deux points vaut $\tau = 0{,}1$s. Calculer les vecteurs vitesse et quantité de mouvement avant et après le choc. Constatation : $\vec{p}_i = \vec{p}_f$ resp $\begin{cases} m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} = m_1 v'_{1x} + m_2 v'_{2x} \\ m_1 v_{1y} + m_2 v_{2y} = m_1 v'_{1y} + m_2 v'_{2y} \end{cases}$

Application 4 : solide de forme irrégulière lancé sur une table à coussin d'air



Le centre de gravité du corps solide lancé suit un mouvement rectiligne uniforme.

$$\vec{p} = M \cdot \vec{v}_G = \overrightarrow{const}$$

Simulation : Objet solide isolé lancé sur plan (lancer sous Lecture)