III. Lois de Newton

Prof. Cécile Hébert

27 août 2021

Plan du cours

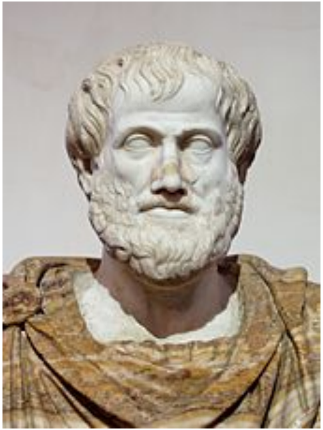
Table des matières

1 - introduction

~~$\vec{F} = \vec{cte} \Rightarrow \vec{v} = \vec{cte}$~~

$\vec{v} = \vec{cte}$ $\vec{F} = \vec{0}$

1687



Aristote :
384 av.JC – 322 Av. JC

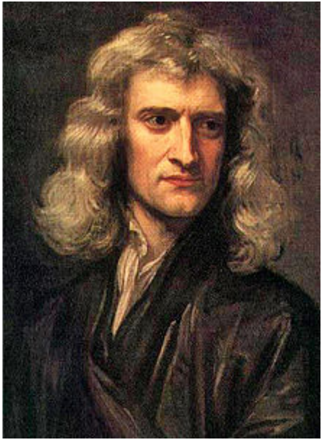
mesure du temps

↓

Galilée chute des corps

↓

$\vec{a} = \vec{cte}$



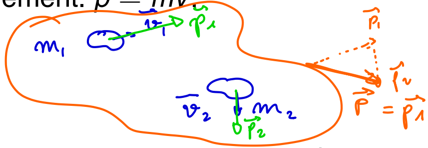
Newton :
1642 – 1726

2 - Masse et quantité de mouvement

- La masse représente la quantité de *matière* . C'est une grandeur extensive et, en mécanique classique, conservée.

$m_1 + m_2 = m$

- La quantité de mouvement est une grandeur *vectorielle* extensive qui caractérise l'état du mouvement. $\vec{p} = m\vec{v}$.



$\vec{P} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$

- la quantité de mouvement est une grandeur conservée

3 - Première loi de Newton = principes

- Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite à moins qu'une force quelconque n'agisse sur lui et ne le contraigne à changer d'état

état du mouvement $= \vec{p} = m\vec{v}$

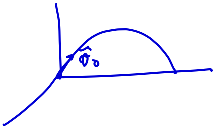
si $\vec{F} = \vec{0}$ alors $\vec{p} = \vec{cte}$

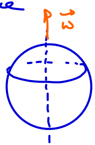
- Bien choisir son référentiel !

Référentiel d'inertie référentiel galiléen

référentiel au repos ou en translation rectiligne uniforme

- Référentiel d'inertie · dépend du problème





mvt auditoire = circulaire uniforme

Notion de force

Action exercée par un corps sur un autre.

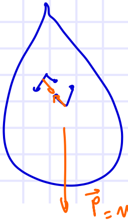
Forces fondamentales
- gravitation
- l'électromagnétisme
- nucléaire faible
- " forte

Forces phénoménologiques
- Frottements
- tension dans une corde...

Forces d'inertie ou fictives
- ressentie par un observateur dans un référentiel non galiléen

Forces internes /forces externes

Goutte d'eau



$\vec{P} = m\vec{g}$

4 - Deuxième loi de Newton

- Les changements de mouvements sont proportionnels à la force motrice, et se font dans la ligne droite dans laquelle cette force est imprimée à l'objet.

$\Delta\vec{p} \propto \vec{F}\Delta t$ $\Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t$

- Si $\vec{F}$ est la force, $\vec{F}\Delta t$ est la *force motrice*

$d\vec{p} = \vec{F}\,dt$ $\vec{F}$ = somme de toutes les forces externes

- Formulation générale : $\boxed{\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}}$ $\vec{p} = m\vec{v}$ $\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt}$

Si m = cte $\frac{d\vec{p}}{dt} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$

- $\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$ Relation fondamentale de la dynamique

1687 : lois de Newton

PRL **98,** 150801 (2007) PHYSICAL REVIEW LETTERS week ending 13 APRIL 2007

Laboratory Test of Newton's Second Law for Small Accelerations

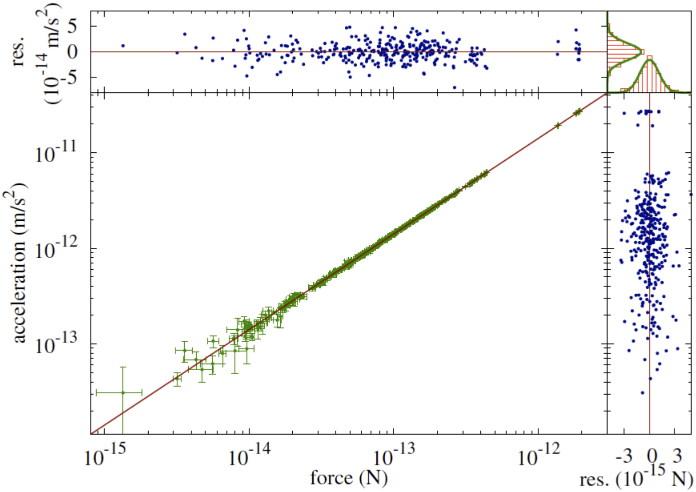
J. H. Gundlach, S. Schlamminger, C. D. Spitzer, and K.-Y. Choi
Center for Experimental Nuclear Physics and Astrophysics, University of Washington, Seattle, Washington 98195, USA

B. A. Woodahl
Physics Department, Indiana University-Purdue University, Indianapolis, Indiana 46202, USA

J. J. Coy
Earth and Space Science Department, Saint Joseph's College, Rensselaer, Indiana 47978, USA

E. Fischbach
Physics Department, Purdue University, West Lafayette, Indiana 47907, USA
(Received 12 February 2007; published 13 April 2007)

We have tested the proportionality of force and acceleration in Newton's second law, $F = ma$, in the limit of small forces and accelerations. Our tests reach well below the acceleration scales relevant to understanding several current astrophysical puzzles such as the flatness of galactic rotation curves, the Pioneer anomaly, and the Hubble acceleration. We find good agreement with Newton's second law at accelerations as small as 5×10^{-14} m/s^2.



10^{-12} m s^{-2}

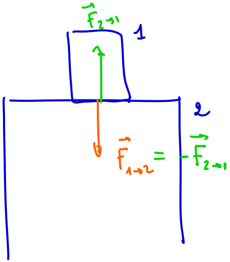
$v = 0$ → $v = 1$ km/h

10'000 ans ?

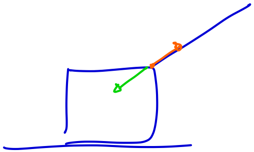
$F = ma$

5 Troisième loi de Newton

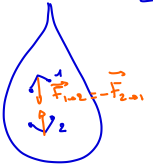
- A toute action, il y a toujours une réaction égale qui lui est opposée.
- Doigt sur une table ; pierre tirée par une corde.



attention : pas de temporalité !



$$\sum \vec{F}_{int} = \vec{0}$$



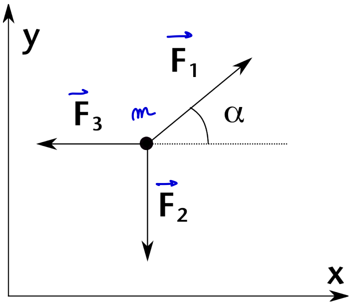
$$\sum \vec{F} = \sum \vec{F}^{ext} + \underbrace{\sum \vec{F}^{int}}_{\vec{0}}$$

6 - Bilan des forces

Dans un référentiel d'inertie, $\sum \vec{F}^{\text{ext}} = m\vec{a}$

L'unité de force est le Newton [N]. 1 N = 1 kg·m·s^{-2}

Pour l'instant le solide est considéré comme un point, les forces s'appliquent en ce point.



- Identification du système
- Choix référentiel
- Choix repère orthonormé direct
- Dessin
- Projection des forces
- Liste des conditions initiales
- On résoud

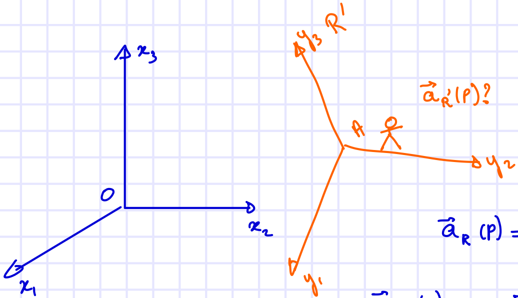
Un système peut être *isolé* ou bien parfois dit *pseudo - isolé* .

Un système isolé n'a aucune interactions avec l'extérieur. Donc il ne subit aucune force. Un système parfaitement isolé n'existe évidemment pas. Mais cela peut être une bonne approximation. Par exemple le système solaire peut être considéré comme isolé si on néglige l'influence des autres étoiles de la galaxie.

Parfois on parle de système "pseudo-isolé". On entend par là un système pour lequel somme les forces extérieures vaut 0. Cela dit, c'est une notion un peu "dangereuse", en effet il ne faut pas oublier que même si $\sum \vec{F} = \vec{0}$, ces forces peuvent avoir une action sur le système et être le vecteur d'un échange d'énergie...

7. Référentiel non galiléens (translation de A + rotation avec $\vec{\omega}$=cte)

Pour un observateur dans $\mathcal{R}'$ (point de vue du passager de la voiture)



translation

rotation $\vec{\omega} = \vec{cte}$

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} = m\,\vec{a}_R(P)$$

$$\vec{a}_R(P) = \vec{a}_{R'}(P) + \vec{a}_R(A) \cancel{+\dot{\vec{\omega}}\wedge\vec{AP}} + \vec{\omega}\wedge(\vec{\omega}\wedge\vec{AP}) + 2\vec{\omega}\wedge\vec{v}_{R'}(P)$$

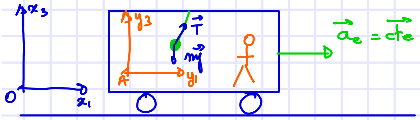
$$m\,\vec{a}_{R'}(P) = m\vec{a}_R(P) - m\vec{a}_R(A) - m\vec{\omega}\wedge(\vec{\omega}\wedge\vec{AP}) - m2\vec{\omega}\wedge\vec{v}_{R'}(P)$$

$$= \sum\vec{F} - m\vec{a}_R(A) - m\vec{\omega}\wedge(\vec{\omega}\wedge\vec{AP}) - 2m\,\vec{\omega}\wedge\vec{v}_{R'}(P)$$

$$m\vec{a}_{\mathcal{R}'}(P) = \sum \vec{F}_{\text{ext}} \overbrace{\underbrace{- m\vec{a}_{\mathcal{R}}(A) - m\vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \overrightarrow{AP})}_{\text{" Forces d'entraînement "}} \underbrace{- 2m\vec{\omega} \wedge \vec{v}_{\mathcal{R}'}(P)}_{\text{Force de Coriolis}}}^{\text{dimension d'une force}}$$

forces d'inerties

Exemple 1 : train avec accélération constante, sans rotation



$\mathcal{R}$ galiléen muni de $(O x_1 x_2 x_3)$

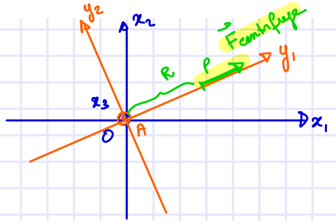
$\mathcal{R}'$ lié au wagon muni de $(A, y_1 y_2 y_3)$

$\vec{a}_{\mathcal{R}}(A) = \vec{a}_e = \vec{cte}$ $\qquad \vec{\omega} = \vec{0}$

$$m\vec{a}_{\mathcal{R}'}(P) = m \underbrace{\vec{a}_{\mathcal{R}}(P)}_{\Sigma \vec{F}^{ext} = m\vec{g} + \vec{T}} - m \underbrace{\vec{a}_{\mathcal{R}'}(A)}_{\vec{a}_e} - \cancel{m\,\vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \vec{AP})} - \cancel{m\,2\,\vec{\omega} \wedge \vec{v}_{\mathcal{R}'}(P)} \qquad (\vec{\omega} = \vec{0})$$

Observateur dans $\mathcal{R}'$ $\qquad m\vec{a}_{\mathcal{R}'}(P) = \Sigma \vec{F}^{ext} + (-m\vec{a}_e)$

Exemple 2 : objet immobile dans un référentiel en rotation uniforme



R fixe avec $(O\, x_1\, x_2\, x_3)$

R' en rotation autour de (Ox_3) $\vec{\omega} = \vec{cte}$

$(A, y_1\, y_2\, y_3)$

A est confondu avec O

P immobile sur $(A y_1)$ à la distance R de A

$\vec{\omega} = \omega \vec{e}_{y_3} = \omega \vec{e}_{x_3}$ P décrit un mouvement circulaire uniforme

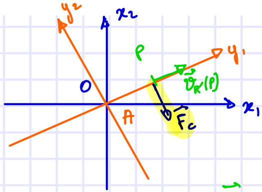
$$m\vec{a}_{R'}(P) = \sum \vec{F}^{ext} - m\cancel{\vec{a}_R(A)} - m\vec{\omega}\wedge(\vec{\omega}\wedge\vec{AP}) - \cancel{2m\vec{\omega}\wedge\vec{v}_{R'}(P)}$$

$\vec{0}$ $\vec{0}$

$$m\vec{a}_{R'}(P) = \sum \vec{F}^{ext} + \left[-m\vec{\omega}\wedge(\vec{\omega}\wedge\vec{OP})\right] = \sum \vec{F}^{ext} + \left[-mR\omega^2\, \vec{e}_{y_3}\wedge(\vec{e}_{y_3}\wedge\vec{e}_{y_1})\right] = \sum \vec{F}^{ext} + mR\omega^2\vec{e}_{y_1}$$

P a un mouvement circulaire uniforme dans R $\Rightarrow$ accélération centripète $\vec{a}_R(P) = -R\omega^2\vec{e}_{y_1}$
elle se traduit par une "force centrifuge" dans R' $mR\omega^2\vec{e}_{y_1}$

Exemple 3 : objet en mouvement dans un référentiel en rotation uniforme



$$m\vec{a}_{R'}(P) = \sum \vec{F}^{ext} - \underset{\vec{0}}{m\vec{a}_R(A)} - \underset{-m\vec{\omega}\wedge(\vec{\omega}\wedge\vec{OP})}{m\vec{\omega}\wedge(\vec{\omega}\wedge\vec{AP})} - 2m\vec{\omega}\wedge\vec{v}_{R'}(P)$$

$$m\vec{a}_{R'}(P) = \sum \vec{F}^{ext} + \left[-m\vec{\omega}\wedge(\vec{\omega}\wedge\vec{OP})\right] + \underbrace{\left[-2m\vec{\omega}\wedge\vec{v}_{R'}(P)\right]}_{\text{Force de Coriolis}}$$

$$\vec{v}_{R'}(P) = v_0\,\vec{e}_{y_1}$$

$$\vec{\omega}\wedge\vec{v}_{R'}(P) = \omega v_0\,\vec{e}_{y_3}\wedge\vec{e}_{y_1} = \omega v_0\,\vec{e}_{y_2}$$

alors $m\vec{a}_{R'}(P) = \sum \vec{F}^{ext} + \left[-m\vec{\omega}\wedge(\vec{\omega}\wedge\vec{OP})\right] + \left[-2m\omega v_0\,\vec{e}_{y_2}\right]$