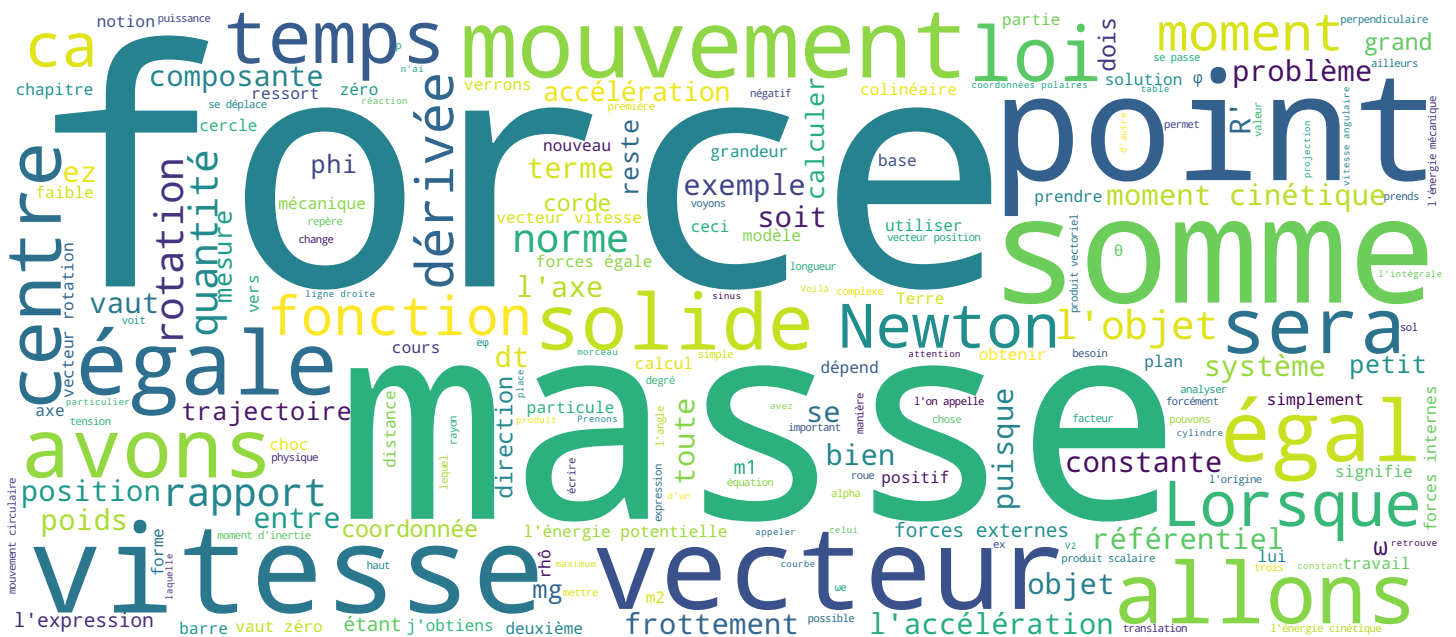


### Isaac Newton 1643-1727

## Prof. Cécile Hébert





Bonjour à tous. Dans ce chapitre, nous allons voir les lois de Newton. Ces principes de la physique vont être ceux qui vont nous permettre de remonter des causes, à savoir les forces, aux effets qui sont les mouvements que l'on souhaite prédire, analyser et comprendre. Ce sont des principes de la physique. Cela signifie que ce ne sont pas des choses que je peux vous démontrer, mais ce sont des propositions qui sont posées là et on dit : « On pense que c'est ça qui régit les lois de la physique. Maintenant, déduisons-en ce qui se passe et vérifions que c'est bien le cas. » Dans le monde qui nous entoure, en mécanique du solide, les lois de Newton ont montré qu'elles sont très robustes, elles fonctionnent très bien. Elles nous permettront donc d'analyser toute la mécanique du point et la mécanique du solide que nous allons faire dans ce cours.

Notes

Summary



0m 05s

## Plan du cours

- I - Cinématique
- II - Référentiel accélérés
- ➔ III - Lois de Newton
- IV - Balistique – effet d’une force constante et uniforme
- V - Forces ; application des lois de Newton
- VI - Travail, Energie, principes de conservation
- VII - Chocs, systèmes de masse variable
- VIII - Oscillateur harmonique
- IX - Moment cinétique ; Gravitation
- X - Solide indéformable
- XI - Application du solide indéformable

2

Nous sommes dans le chapitre 3 : lois de Newton.

Notes

Summary



1m 00s

#### Table des matières

- 1 - introduction
- 2 - Masse et quantité de mouvement
- 3 - Première loi de Newton
- 4 - Deuxième loi de Newton
- 5 - Troisième loi de Newton
- 6 - Bilan des forces
- 7 - Référentiel non galiléens

3

Notes

Summary



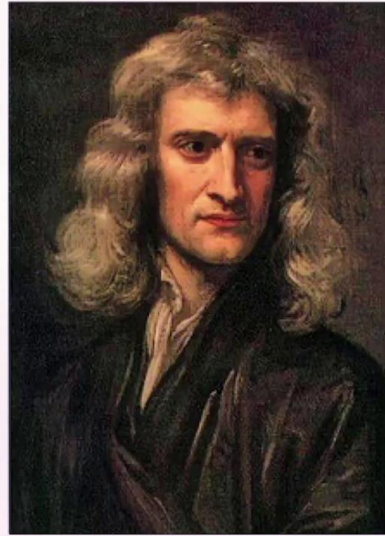
1m 02s

1 - introduction

$$\vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{v} = \vec{a}t$$



Aristote :  
384 av.JC – 322 Av. JC



Newton :  
1642 – 1726

4

Nous allons commencer par les six premiers paragraphes de l'introduction à la notion de bilan des forces. En introduction, je vais vous faire un petit rappel historique qui sera extrêmement simplifié. Bien évidemment, avant l'arrivée des lois de Newton, les physiciens s'étaient déjà posés la question sur ce qui causait les mouvements. En particulier, cela avait déjà été bien décrit par Aristote, donc dans les années 300 av.J.-C, dans un modèle dans lequel une force permet de maintenir le mouvement. Dans ce modèle-là, lorsque la force est constante, la vitesse est constante. Ce modèle permettait déjà de comprendre l'attraction universelle par la Terre, donc la gravitation, mais uniquement parce que la chute des corps étant trop rapide, il n'était pas possible d'analyser exactement leur vitesse. Lorsque vous lâchez un objet, vous avez vite l'impression que sa vitesse est constante. Nous verrons en plus qu'avec l'effet des frottements de l'air, un objet atteint effectivement une vitesse constante dans sa chute. Puis, intuitivement, lorsque vous poussez un chariot, par exemple, un caddie de supermarché, vous savez bien que vous devez continuellement le pousser pour qu'il continue à avancer à vitesse constante.

Notes

Summary



1m 04s



### III. Lois de Newton 1 - introduction

#### 1 - introduction

$$\vec{F} = m\vec{a} \rightarrow \vec{v} = \vec{a}t$$

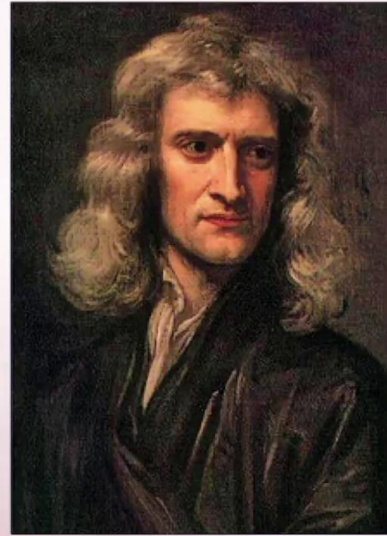
$$\vec{v} = \vec{a}t \quad \vec{F} = \vec{0} \quad 1687$$



Aristote :  
384 av.JC – 322 Av. JC



mesure du temps  
↓  
petite chute des corps  
↓  
 $\vec{a} = \vec{a}t$



Newton :  
1642 – 1726

4

Si vous ne considérez que la force que vous exercez, vous, vous pouvez avoir l'impression que ce modèle est bon. La problématique, ici, c'est qu'on néglige les forces de frottement entre les roues et le sol. Gardez en mémoire que si ce modèle est faux, ça n'est pas forcément toujours aussi évident. Cela signifie que si vous suivez votre intuition, vous risquez fort à un moment de repartir là-dedans et de faire des erreurs. Entre Aristote et Newton, il s'est passé beaucoup de temps. En particulier, certains développements comme le développement de la mesure du temps, les expériences de Galilée sur la chute des corps et la constatation qu'un objet en chute libre a une accélération qui est constante et non une vitesse constante. Il y a eu aussi toutes les mesures astronomiques : Galilée, Tycho Brahe, les lois de Kepler, etc. La force de Newton a été de formaliser que si la vitesse d'un objet est constante, c'est que la force exercée dessus, va être : la somme des forces est nulle. L'établissement des lois de Newton a comme date 1687. Dans ce modèle, une force constante implique une accélération constante. Nous l'utiliserons énormément pour des analyses conceptuelles, mais comme je le disais précédemment, méfiez-vous de votre intuition qui risque parfois de vous ramener à Aristote.

Notes

Summary



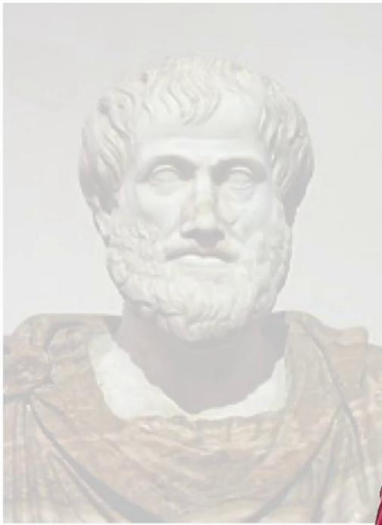
2m 27s

### III. Lois de Newton 1 - introduction

#### 1 - introduction

$$\vec{F} = m \vec{a} \rightarrow \vec{v} = \vec{a} t$$

$$\vec{v} = \vec{a} t \quad \vec{F} = \vec{0} \quad 1687$$



Aristote :  
384 av.JC – 322 Av. JC



Newton :  
1643 – 1726

4

Je vous ai fait un résumé simplifié dans lequel on peut avoir l'impression qu'un matin, Newton s'est réveillé et il a sorti les lois et a renversé tout ce qui se passait avant. Si vous vous intéressez un peu à l'histoire de cette partie des sciences, vous constaterez que tout est, bien sûr, beaucoup plus compliqué, fait aussi de petites découvertes avant, d'avancées significatives, techniques aussi, par exemple, comme la mesure du temps. Parfois d'avancées et de reculs et de beaucoup d'interactions. Il ne faut pas oublier les contributions de Galilée, la lunette, l'observation des astres, les mesures de Tycho Brahe qui a enregistré le mouvement des planètes pendant des dizaines d'années, ce qui a permis à Kepler d'utiliser cette masse de données pour formuler ses lois de Kepler, donc finalement simplifier le mouvement des planètes qui semblait si complexe. C'est tout ceci que Newton avait aussi à sa disposition pour réfléchir. L'histoire après, a, bien entendu, donné raison à Newton et c'est pour ça qu'on parle des lois de Newton et qu'il est mis en avant. Cela n'enlève rien à son génie, mais il n'était pas non plus tout seul contre tous.

Notes

Summary



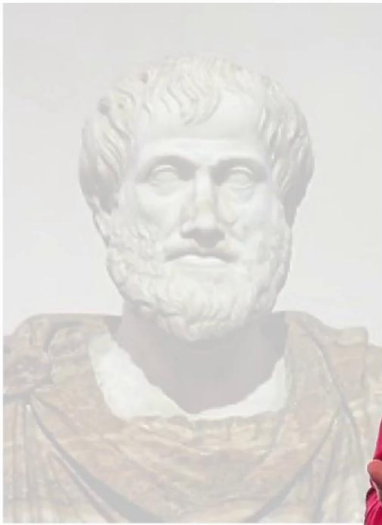
4m 06s

### III. Lois de Newton 1 - introduction

#### 1 - introduction

$$\vec{F} = m \vec{a} \rightarrow \vec{v} = \vec{a} \cdot t$$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad \vec{F} = \vec{0} \quad 1687$$



Aristote :  
384 av.JC – 322 Av. JC



Newton :  
1642 – 1726

4

Il y a aussi autre chose qu'il ne faut pas négliger dans le développement de ces lois de la mécanique. Certes, c'est de la science et c'est pour l'avancée de la science que ça a été fait, mais il y avait aussi des enjeux politiques, financiers, géopolitiques, etc. En particulier, un des grands problèmes de cette époque de la navigation à voile était la détermination de la longitude. La latitude, donc est-ce qu'on est plus près du Pôle Nord, du Pôle Sud ou de l'Équateur, ne posait pas de problème avec la position du soleil à midi. Le problème de la latitude, c'est qu'il est lié aussi à la mesure du temps. On peut s'en sortir aussi avec une mesure très précise et prédictive de la position des planètes, mais ça, ça demande les lois de la mécanique. Il y avait quand même des enjeux autour, d'une part, du développement de chronomètres et d'autre part, de développement de la mécanique céleste.

Notes

Summary



5m 19s

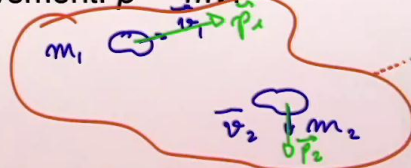


## 2 - Masse et quantité de mouvement

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



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



- la quantité de mouvement est une grandeur conservée

5

Mais revenons à notre cours. Afin d'énoncer les lois de Newton sous une forme mathématique qui nous permettront de les utiliser, nous avons besoin de définir : masse et quantité de mouvement. La masse représente la quantité de matière. C'est ce qu'on appelle une grandeur extensive. C'est-à-dire que si j'ai deux objets de masse  $m_1$  et de masse  $m_2$ , et que mon système regroupe ces deux objets, la masse totale du système est :  $m_1$  plus  $m_2$ . En mécanique classique, cette grandeur est conservée. On ne peut pas détruire de masse. La deuxième grandeur dont nous aurons besoin est la quantité de mouvement. La quantité de mouvement est une grandeur vectorielle extensive, définie par :  $p$  égale la masse multipliée par la vitesse de l'objet. Vectorielle et extensive signifie que si j'ai à nouveau mes deux objets de masse  $m_1$  et  $m_2$ , animés d'une vitesse  $v_1$  et  $v_2$ , leur quantité de mouvement colinéaire à  $v$  et proportionnelle à  $m$  seront  $p_1$  et  $p_2$ . Lorsque je prends comme système total la somme de mes deux masses, la quantité de mouvement sera la somme des deux quantités de mouvement. Je dois donc vectoriellement sommer  $p_1$  et  $p_2$  pour obtenir  $P$ , la quantité de mouvement totale du système.

Notes

Summary

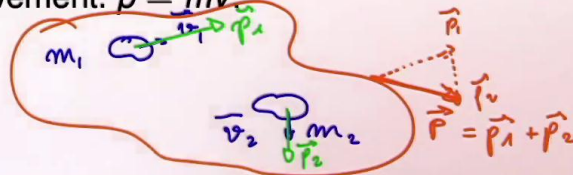


## 2 - Masse et quantité de mouvement

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



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



- la quantité de mouvement est une grandeur conservée

5

Alors que la masse et la vitesse sont des grandeurs qu'on se représente facilement. Lorsque vous voyez passer voiture, vous voyez bien qu'elle est plus lourde qu'un vélo et moins lourde qu'un camion. Vous voyez aussi si elle roule plus ou moins vite que le vélo ou le camion. Mais pour analyser les interactions de ces différents objets, ce qui est important, c'est la quantité de mouvement  $p$ , et non, individuellement, la vitesse ou la masse. C'est le début de l'abstraction dans cette mécanique du solide. La quantité de mouvement est une grandeur conservée en mécanique classique, mais aussi en mécanique relativiste. Nous verrons plus tard ce que cela signifie.

Notes

Summary



### 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

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

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

- ▶ Bien choisir son référentiel !

Référentiel d'inertie      référentiel galiléen  
référentiel au repos ou en translation rectiligne uniforme

- ▶ Référentiel d'inertie

6

Munis de ces outils, nous pouvons attaquer les lois de Newton. Nous commençons par la première loi de Newton. Je rappelle que ces lois sont des principes, c'est-à-dire que je ne vais pas vous les démontrer, mais vous les énoncer. Nous les accepterons et nous verrons quelles sont leurs conséquences. Cette première loi est formulée de manière historique de la manière suivante. « 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 ». Il nous faut maintenant essayer de définir ces termes. Qu'est-ce qui est appelé « état du mouvement » ? C'est tout simplement la quantité de mouvement  $p$ , soit  $mv$ . Reformulée de manière mathématique, c'est tout simplement : si la somme des forces sur un objet vaut zéro, alors, la quantité de mouvement ne change pas, elle est constante. Pour que cela s'applique, il faut bien choisir son référentiel. On doit être dans un référentiel d'inertie ou référentiel galiléen. C'est un référentiel au repos ou en translation rectiligne uniforme. Comme toujours dans la vraie vie, les choses ne sont pas 100 % noir et blanc.

Notes

Summary



8m 33s

### 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

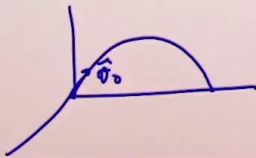
$$\text{état du mouvement} = \vec{p} = m\vec{v}$$

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

- 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

6

Souvent, la question de savoir si un référentiel est un référentiel d'inertie ou pas dépendra du problème qu'on analyse. Prenons le référentiel du laboratoire ou celui de l'auditoire. Si je m'intéresse à un mouvement balistique, par exemple, la chute d'une balle que j'ai lancée avec une vitesse  $v_0$ , pour analyser la trajectoire de cet objet, je peux considérer l'auditoire comme un référentiel galiléen. Le temps de cette expérience est de quelques secondes et pendant ces quelques secondes, on n'a pas besoin de tenir compte, par exemple, de la rotation de la Terre. En revanche, si je fais une expérience comme le Pendule de Foucault, que nous verrons aussi, à ce moment-là, c'est une manip qui s'étend sur plusieurs heures. En plusieurs heures, le fait d'être situé sur la Terre qui tourne avec un vecteur rotation  $\omega$  implique que nous décrivons une portion de cercle. Le mouvement de l'auditoire est un mouvement circulaire uniforme. Il n'est donc pas en translation. Ça ne sera donc pas un référentiel d'inertie ou référentiel galiléen. Mais pour en voir les effets, l'expérience devrait être faite sur un temps suffisamment long pour qu'une portion non négligeable du cercle ait été décrite.

Notes

Summary





## Notion de force

Action exercée par un corps sur un autre.

Forces fondamentales

gravitation  
électromagnétisme  
nucléaire faible  
" forte

Forces phénoménologiques

Frottements  
tension dans une corde...

Forces d'inertie ou fictives

Forces internes / forces externes

7

Cela nous amène à préciser les notions de forces. Ces forces sont des actions exercées par un corps sur un autre. Nous verrons plusieurs types de forces. Il y a les forces fondamentales de la nature. Elles sont au nombre de quatre : la gravitation, l'électromagnétisme, la force nucléaire faible, et la force nucléaire forte. Tous les effets que nous verrons dans ce cours sont uniquement liés aux deux premières. Mais il est clair que ça ne va pas être possible de tout expliquer uniquement avec ces deux forces. Nous allons donc utiliser certaines de ces forces, seulement la deuxième, et générer avec des forces phénoménologiques. C'est une description d'un phénomène, par exemple, les frottements, la tension dans une corde qui est liée, ici, à l'électromagnétisme, mais pour laquelle décrire ces forces avec l'interaction des atomes par l'électromagnétisme serait bien trop complexe. Toutes ces forces phénoménologiques sont donc des modèles et en tant que tels, il est possible qu'ils aient des limites. Enfin, il y a ce que l'on appelle les forces d'inertie ou forces fictives. Celles-là ne sont pas exercées par un corps sur un autre et c'est pour ça qu'on dit parfois que ces forces n'existent pas.

Notes

Summary





## Notion de force

Action exercée par un corps sur un autre.

Forces fondamentales

gravitation  
électromagnétisme  
nucléaire faible  
" forte

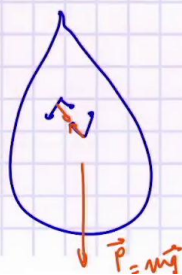
Forces phénoménologiques

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

Elles ne sont ressenties que par un observateur lorsqu'il est dans un référentiel non galiléen. C'est le cas de la force centrifuge. Pour finir, toutes ces forces peuvent être catégorisées en ce que l'on appelle forces internes et forces externes. Prenons l'exemple d'une goutte d'eau. Si elle est en train de tomber, elle est soumise à son poids  $mg$ , mais elle est aussi composée de molécules d'eau et ces molécules d'eau ont des interactions entre elles. J'ai donc les forces des molécules les unes sur les autres. Le poids est une force externe. Les forces exercées par les parties de ce système les unes sur les autres sont des forces internes.

Notes

Summary



#### 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*

$$d\vec{p} = \vec{F} dt$$

- Formulation générale :

$$\Sigma \vec{F} = m \vec{a}$$

8

Nous pouvons donc maintenant passer à la deuxième loi de Newton. Formulée de manière littéraire, elle nous dit que : « Les changements de mouvement sont proportionnels à la force motrice et se font dans la ligne droite dans laquelle cette force est imprimée à l'objet. » La nature du mouvement, c'était la quantité de mouvement  $p$ . Les changements de mouvement sont donc une variation de la quantité de mouvement :  $\Delta p$ . Ces changements du mouvement sont proportionnels à la force motrice, ce que l'on appelle la force motrice est :  $F \Delta t$ ,  $\Delta t$  étant l'intervalle de temps pendant lequel la force agit, proportionnelle en norme et dans la ligne droite dans laquelle cette force est imprimée à l'objet, cela signifie que c'est vectoriellement proportionnel. En choisissant les bonnes unités, le facteur de proportionnalité peut être 1 et on peut donc écrire :  $\Delta p = F \Delta t$ . Je rappelle ici que si  $F$  est la force,  $F \Delta t$  est alors la force motrice. Pour une petite variation de  $t$ ,  $dt$ , on a une petite variation de  $p$  et je peux donc écrire que  $dp$  est dans ce cas égale à  $F dt$ . Dans ce cas-là,  $F$  représente la somme de toutes les forces externes.

Notes

Summary



#### 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.

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

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

$$d\vec{p} = \vec{F} dt \quad \vec{F} = \text{somme de toutes les forces extérieures}$$

- Formulation générale :

$$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt}$$

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

- $\sum \vec{F} = m\vec{a}$

Relation fondamentale de la dynamique

8

En passant le dt de l'autre côté, j'obtiens la formulation générale, F égale à dp sur dt, ou bien pour avoir la somme de toutes les forces : somme des forces égale dp sur dt. Ici, p est égal à mv. dp sur dt est donc égale à d(mv) sur dt. Si de plus m égale constante, je peux le sortir de cette dérivation et obtenir dp sur dt égale m(dv sur dt). C'est donc égal à ma, a étant l'accélération. Lorsque m égale constante, cette écriture mathématique de la loi de Newton devient donc, somme des forces égale ma. C'est aussi appelé la relation fondamentale de la dynamique. Nous verrons dans ce cours principalement des cas où m est constant. Dans ce cas-là, on peut utiliser, somme des forces égale ma. Mais nous verrons quelques systèmes pour lesquels la masse varie et nous devons remonter à somme des forces égale dp sur dt.

Notes

Summary



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  $5 \times 10^{-14} \text{ m/s}^2$ .

9

1687 : on pourrait dire que ces lois de Newton sont bien établies et qu'il n'y a plus besoin de se poser de questions dessus. Cela dit, comme ce sont des principes de la physique, j'ai dit qu'il était impossible de les prouver. On ne peut que les vérifier ou tenter de les mettre en défaut. Cela reste donc d'actualité. Nous voyons ici un article qui a été publié dans une revue scientifique sérieuse en 2007, soit 320 ans après les lois de Newton, et dont le but est de tester cette seconde loi de Newton, mais pour des accélérations très faibles. Très faibles, mais très faibles comment ?

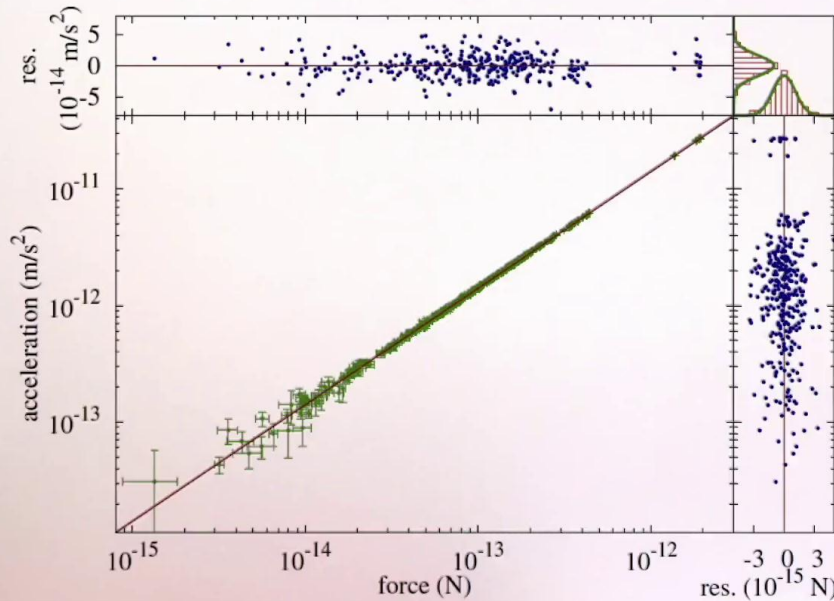
Notes

Summary

16m 09s



### III. Lois de Newton 4 - Deuxième loi de Newton



$10^{-12} \text{ m.s}^{-2}$   
 $v=0 \rightarrow v = 1 \text{ km/h}$   
 $10'000 \text{ ans?}$   
 $F = ma$

10

Juste pour vous donner une idée de cette accélération, prenons une accélération de  $(10 \text{ puissance } -12) \text{ m.s}^{-2}$ . Vous passez de  $v$  égale zéro et vous souhaitez arriver à une vitesse de  $1 \text{ km/h}$ . Avec cette accélération, il vous faut  $10\,000$  ans pour y arriver. C'est donc des domaines dans lesquels les mesures doivent être extrêmement fines et précises et n'importe quelle perturbation peut perturber la mesure. Le but est de tester la relation  $F$  égale  $ma$  en norme. Ce graphe trace l'accélération mesurée en fonction de la force exercée. Les résultats se trouvant sur une ligne droite confirment bien la proportionnalité. On remarque que les mesures sont bien placées sur la ligne droite lorsque les accélérations et les forces ne sont pas encore trop microscopiques. Au fur et à mesure qu'on va vers les forces et les accélérations plus faibles, il y a des erreurs de mesure et les points se retrouvent séparés de part et d'autre de la courbe. Mais pris ensemble, statistiquement, ils permettent quand même de conclure que jusque vers ces  $(10 \text{ puissance } -13) \text{ m.s}^{-2}$ , la proportionnalité est conservée. Cela peut être fait grâce à des analyses statistiques fines et c'est pour ça qu'il est important de voir les statistiques en maths.

Notes

Summary

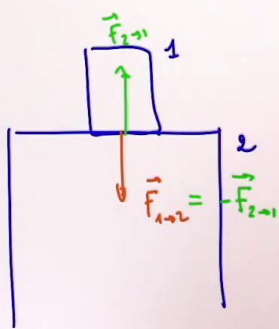
16m 49s



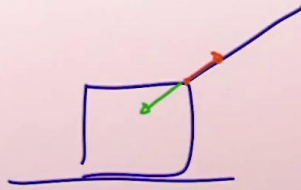


## 5 Troisième loi de Newton

- ▶ 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!



11

Pour finir, nous allons maintenant voir la troisième loi de Newton. Celle-ci nous dit : « À toute action, il y a toujours une réaction égale qui lui est opposée. » Par exemple, si j'ai un objet ou un doigt posé sur une table, j'ai la force de l'objet sur la table, je vais appeler 1 l'objet et 2 la table, que je vais appeler  $F$  de 1 sur 2, et la force de la table sur l'objet qui est  $F$  de 2 sur 1. J'ai à tout moment  $F$  de 1 sur 2 qui est égal à  $-F$  de 2 sur 1. Attention, parce qu'il y a une erreur conceptuelle générale assez facile à faire. Il n'y a pas de temporalité entre ces deux forces. Ça n'est pas : « D'abord, je pose l'objet et j'ai la force 1 sur 2 et ensuite, la table réfléchit et exerce 2 sur 1. » Non, c'est toujours au même moment, ces deux forces qui sont toujours égales en norme et opposées en direction. Un autre exemple est celui d'une pierre tirée par une corde. La force de la corde sur la pierre est à tout moment égale en norme et opposée en direction à la force de la pierre sur la corde. Cela va nous permettre de conclure quelque chose de très important pour nos forces internes et forces externes. Reprenons notre goutte d'eau d'avant.

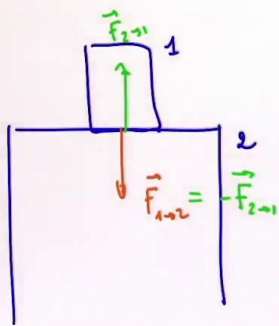
Notes

Summary

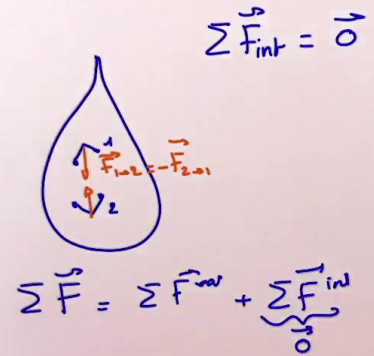
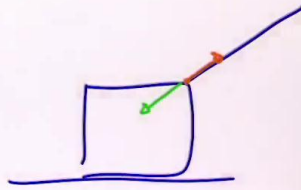


## 5 Troisième loi de Newton

- ▶ 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!



11

J'ai ici les molécules de la goutte d'eau qui exercent des forces les unes sur les autres. La loi de Newton me dit que deux par deux, si je numérote mes molécules, à chaque fois, la force de 1 sur 2 sera égale à moins la force de 2 sur 1. Je peux faire ça pour toutes mes molécules d'eau. Au final, lorsque je ferai la somme de toutes les forces internes, ces forces, je vais pouvoir les grouper deux par deux et leur somme va valoir zéro. Finalement, la somme des forces internes est égale à zéro. Lorsque je ferai la somme de toutes les forces sur cet objet, qui est la somme des forces externes plus la somme des forces internes, les forces internes s'annulent et il ne reste que les forces externes.

Notes

Summary

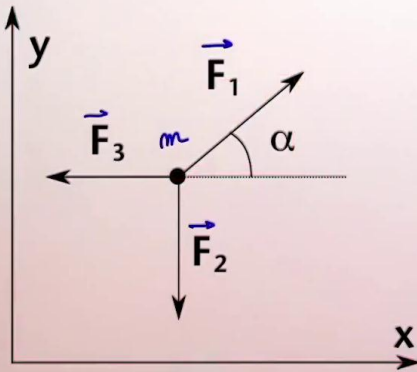


## 6 - Bilan des forces

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

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

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

12

Pour finir, comment utiliser ces lois de Newton ? Nous le ferons en faisant un bilan des forces. Dans un référentiel d'inertie, nous aurons la deuxième loi de Newton qui nous dira que : « Somme des forces est égale à  $ma$  ». L'unité de la force est le Newton. Un Newton étant un  $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Pratiquement, « pour l'instant, le solide étant considéré comme un point, les forces s'appliquent toutes en ce point. » J'ai donc mon solide de masse  $m$  et je dois faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur ce solide. Cela suppose que j'ai identifié le système. C'est ici mon solide. Afin d'aller plus loin, je vais devoir faire le choix d'un référentiel avec son origine et d'un repère orthonormé. Ici, j'ai repris un repère cartésien  $Oxy$  et puis il y aura peut-être l'axe  $z$ . Très important, l'étape de toujours faire un dessin pour se représenter le schéma. Faites un dessin assez grand, ne faites pas des tout petits schémas sur lesquels les projections seront impossibles à faire. Une fois ce dessin fait, je dois projeter des forces. J'ai ici, par exemple, l'angle  $\alpha$  qui me permettra de décomposer les composantes de la force  $F$  dans le repère cartésien. Cette projection des forces me permettra d'écrire : somme des forces égale  $ma$ .

Notes

Summary

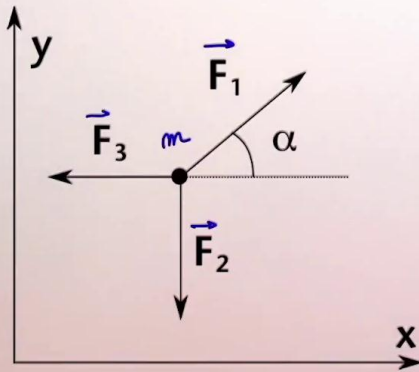


## 6 - Bilan des forces

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

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

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

12

Je dois faire aussi la liste des conditions initiales, à  $t$  égale zéro, où se trouve mon objet, avec quelle vitesse ? Une fois que j'ai les conditions initiales et l'accélération grâce aux forces, je peux remonter à la vitesse et à la position.

Notes

Summary



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...

13

Pour ces systèmes qu'on étudie, on parle de système isolé parfois, et il est possible que vous ayez entendu parler de système « pseudo-isolé ». Un système isolé est un système qui n'a aucune interaction avec l'extérieur. Il ne subit aucune force. Un système parfaitement isolé n'existe évidemment pas, mais ça peut être une bonne approximation. Par exemple, le système solaire, si on néglige les interactions du soleil avec les étoiles voisines, c'est un système assez bien isolé. Parfois, on appelle système « pseudo-isolé » un système pour lequel la somme des forces extérieures vaut zéro. Mais faites attention, c'est une notion un peu dangereuse, car même si somme des forces externes vaut zéro, ces forces peuvent avoir une influence sur le système. Par exemple, si vous avez une roue que vous mettez en rotation, vous pouvez exercer deux forces de part et d'autre. Vous allez la mettre à tourner. Il y aura un échange d'énergie. Pourtant, j'ai bien somme des forces qui vaut zéro. Nous ne parlerons donc jamais de système pseudo-isolé dans ce cours.

Notes

Summary

22m 48s







Vous êtes maintenant munis des lois de Newton. Fondamentalement, avec la cinématique, qui sont les outils mathématiques pour la description des forces, des positions, vitesse et accélération d'une part, et les lois de Newton de l'autre, on a tout. Je pourrais arrêter le cours là, le reste, ça n'est que de l'application. Mais ce n'est pas forcément une application facile. Donc, nous allons voir dans la suite du cours comment le faire, mais il n'y aura pas de nouveaux principes.

Notes

Summary

23m 58s

