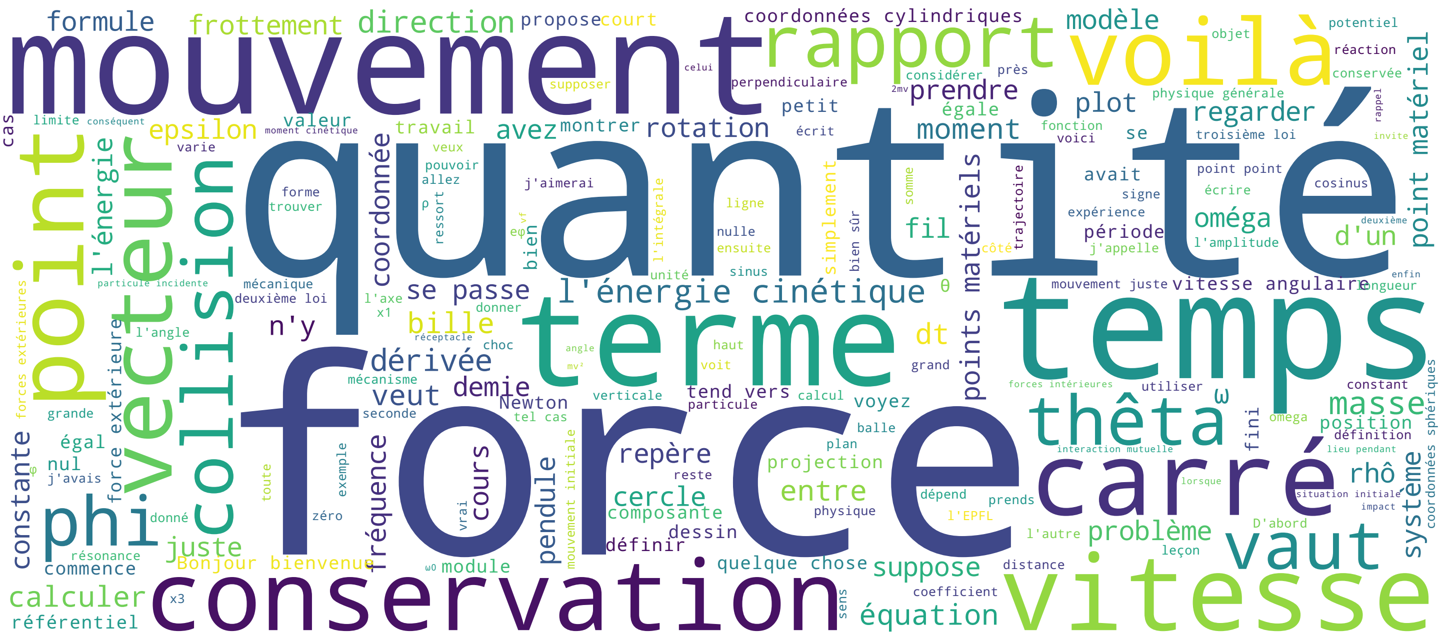
Collisions

Mécanique, cours 12.1

Jean-Philippe Ansermet

http://go.epfl.ch/traite-meca-1-12



Search MOOC

Video

Bonjour, bienvenue au cours de physique générale de l'EPFL. Dans cette leçon, j'aimerais vous montrer comment on peut utiliser la conservation de la quantité de mouvement et la conservation de l'énergie pour conduire une analyse qualitative de la collision entre deux points matériels. Je vais commencer par définir ce que j'appelle en physique : « une collision », ensuite, je vais regarder un cas particulier de collisions en appliquant la conservation de la quantité de mouvements. Cela nous permettra de voir que, dans certains cas, l'énergie cinétique n'est pas conservée. Je finis avec un modèle pour les collisions au sens commun, cela veut dire des chocs avec des impacts qui ont lieu pendant un temps très court.

Notes

Summary

0m 04s

Définitions

Collision :
- interaction mutuelle entre deux objets,
- sans qu'il n'y ait nécessairement impact,
- interaction négligeable quand les objets sont éloignés.

Collision élastique :
- Même valeur de l'énergie cinétique avant et après ('conservée')

Collision inélastique :
- Énergie cinétique pas conservée

Mécanique | 2013 12

Je commence avec ce que j'entends par « collision ». Je veux considérer deux points matériels en interaction mutuelle pendant un certain temps. Je vais supposer qu'il n'y a pas forcément un impact, mais simplement qu'on a une force qui agit entre les deux points matériels. Je suppose que, lorsque les points matériels sont suffisamment éloignés l'un de l'autre, l'interaction entre ces deux points est négligeable. Par conséquent, je peux définir un état initial et un état final entre les deux, il y a un moment où il y a cette interaction mutuelle qui a lieu. Je vais distinguer deux types de collisions, d'abord, les collisions élastiques : c'est les collisions, lorsque l'énergie cinétique avant et après est la même; je dirai que l'énergie est conservée, et dans le cas contraire, on parle d'une collision inélastique.

Notes

Summary

0m 57s

Conservation de la quantité de mouvement

Troisième loi de Newton, système isolé :

$$\frac{d\boldsymbol{p}}{dt} = \boldsymbol{F}^{1\rightarrow 2} + \boldsymbol{F}^{2\rightarrow 1} = 0$$

$$\boldsymbol{p}_i = \boldsymbol{p}_f$$

- C'est une propriété fondamentale des forces.
- C'est une symétrie fondamentale.

Mécanique | 2013 18

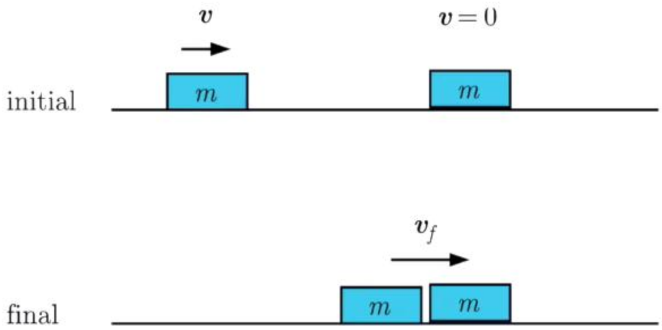
Appliquons la conservation de la quantité de mouvements. D'abord, je fais un rappel. Vous vous souvenez que la troisième loi de Newton nous disait que si on a un système formé de deux objets, ou deux points matériels en interaction l'un avec l'autre, la somme de ces forces est nulle. Si maintenant j'ai un système isolé, alors la quantité de mouvements totale suit la deuxième loi de Newton, s'il n'y a que les forces intérieures qui s'annulent, on a *dp* sur *dt* qui vaut zéro, cela veut dire qu'on a la quantité de mouvement qui est une constante du mouvement. Dans notre problème de collisions, cela veut dire que la quantité de mouvement initiale est égale à la quantité de mouvement finale. J'ai commencé avec la conservation de la quantité de mouvement parce que c'est une propriété fondamentale des forces. On l'avait annoncé, comme la troisième loi de Newton, dans un cours plus avancé, vous aurez peut-être l'occasion de voir que cette conservation de la quantité de mouvement résulte d'une symétrie fondamentale de la nature; pour autant, bien sûr, que le système soit isolé.

Notes

Summary

2m 03s

Exemple : choc totalement inélastique



$$\boldsymbol{p}_i = m\boldsymbol{v} + 0$$

$$\boldsymbol{p}_f = (m+m)\boldsymbol{v}_f$$

$$\boldsymbol{v}_f = \frac{1}{2}\boldsymbol{v}$$

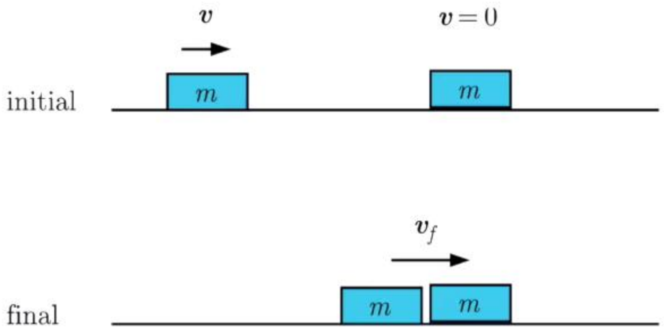
Je prends maintenant un exemple. Vous avez, ici, la situation expérimentale on a quelque chose comme un banc à air avec deux plots et j'ai une situation initiale et la situation finale. Dans la situation initiale, j'ai un plot incident sur un plot au repos dans le référentiel. Après, je suppose qu'il existe un mécanisme, ici, entre les deux plots, qui fait que les plots sont liés l'un à l'autre, qu'ils se déplacent ensemble, avec une vitesse que je note *vf*. Qu'est-ce que nous dit le principe de conservation de la quantité de mouvement ? D'abord, on a conservation de la quantité de mouvement parce que dans cette direction-là, en première approximation, il n'y a pas de force extérieure qui est appliquée, on peut négliger les frottements. Donc, on a une quantité de mouvement initiale qui est celle de la masse incidente... après, on a une masse double qui va à la vitesse *vf*, voilà la quantité de mouvement. Et maintenant, on applique la conservation de la quantité de mouvement, ces deux termes sont égaux, ce qui nous donne une vitesse finale qui vaut la moitié de la vitesse de la particule incidente. Calculons maintenant l'énergie cinétique.

Notes

Summary

3m 23s

Exemple : choc totalement inélastique



$$\boldsymbol{p}_i = m\boldsymbol{v} + 0$$

$$\boldsymbol{p}_f = (m+m)\boldsymbol{v}_f$$

$$\boldsymbol{v}_f = \frac{1}{2}\boldsymbol{v}$$

$$T_i = \frac{1}{2}mv^2 \qquad T_f = \frac{1}{2}(m+m)\left(\frac{1}{2}v\right)^2 = \frac{1}{4}mv^2$$

Mécanique | 2013 24

Dans l'état initial, on a l'énergie cinétique de la particule incidente. Dans l'état final, on doit calculer une demie de la masse de la particule, fois sa vitesse au carré. Ça, c'est la masse de cette particule composite et la vitesse, on avait déterminé que ça faisait une demie de *v*. Quand vous faites le calcul, vous avez juste, ici, le 2 simplifie avec ce 2. Là il y a un quart de mv^2, alors qu'on est parti avec une demie de mv^2. Donc, l'énergie cinétique finale n'est pas égale à l'énergie cinétique initiale. En fait, il y a une partie de l'énergie qui doit se trouver dans le mécanisme qui a produit cet accouplement des deux masses.

Notes

Summary

4m 54s

Impact bref

Deux objets sont en collisions pendant un temps très court,
dans un champ de force extérieur.

$$\frac{d\boldsymbol{P}}{dt} = \boldsymbol{F}^{ext}$$

$$\int_{t-\varepsilon}^{t+\varepsilon} \frac{d\boldsymbol{P}}{dt}\, dt = \boldsymbol{P}_{final} - \boldsymbol{P}_{init} = \int_{t-\varepsilon}^{t+\varepsilon} \boldsymbol{F}^{ext}\, dt$$

Maintenant, je vous propose un modèle pour des cas de collisions où il y a un choc, avec un impact, pendant un temps bref. Dans ce cas-là, j'aimerais regarder ce qui se passe en présence de forces extérieures. Je fais un croquis d'une situation qu'on pourrait imaginer, j'ai tendu un fil, une espèce de réceptacle, et j'envoie une bille là-dedans, en supposant que la bille va rester plantée, ici, dedans. Et je me demande jusqu'où ce système va pouvoir monter. Ce que je peux faire dans un tel cas, c'est qu'on a une interaction qui a lieu, pendant un temps très court. Quand la bille arrive là-dedans, ça se passe pendant un temps très court, par rapport à quoi ? Par rapport à ce temps d'évolution du pendule. Alors, je vais faire la chose suivante. Si *t* c'est le temps de la collision, je vais considérer ma deuxième loi de Newton, où il n'y a aucune force d'interaction, donc il peut y avoir toute sorte de subtilités dans la façon dont la bille se coince dans le réceptacle, ça, ça appartient au domaine des forces intérieures, je ne regarde que les forces extérieures.

Notes

Summary

5m 46s

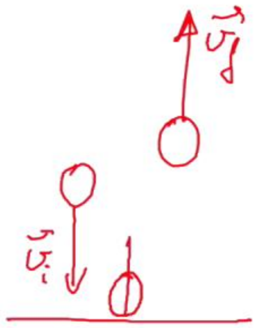
Impact bref

Deux objets sont en collisions pendant un temps très court, dans un champ de force extérieur.

$$\frac{d\boldsymbol{P}}{dt} = \boldsymbol{F}^{ext}$$

$$\int_{t-\varepsilon}^{t+\varepsilon} \frac{d\boldsymbol{P}}{dt}\, dt = \boldsymbol{P}_{final} - \boldsymbol{P}_{init} = \int_{t-\varepsilon}^{t+\varepsilon} \boldsymbol{F}^{ext}\, dt$$

Si l'impact est bref : $\varepsilon \to 0 \implies \int_{t-\varepsilon}^{t+\varepsilon} \boldsymbol{F}^{ext} dt \to 0$



pour autant que $\boldsymbol{F}^{ext}$ soit en tout temps finie. Pas une force de contrainte!

Et maintenant, j'intègre autour de ce temps de collision, donc je regarde juste avant et juste après la collision, j'intègre dans le temps; évidemment que l'intégrale de la dérivée dans le temps, ça nous fait la quantité de mouvement, donc on a la quantité de mouvement juste après, au temps *t* plus *epsilon*, moins la quantité de mouvement, juste avant. Et ça, ça doit être l'intégrale de la force extérieure dans le temps, entre *t* moins *epsilon* et *t* plus *epsilon*. Maintenant, on va pouvoir faire l'approximation suivante, si l'impact est bref, on va prendre la limite quand *epsilon* tend vers 0 (zéro) et on va pouvoir dire que ce terme-là tend vers 0, donc qu'on a une conservation de la quantité de mouvement, juste après, par rapport à juste avant la collision. Ceci n'est vrai que si la force extérieure, en tout temps, est finie. Je montre un contre-exemple. Imaginez que vous fassiez rebondir une balle sur le sol, voilà une balle qui tombe avec une vitesse *v* initiale, qui rebondit, avec une vitesse *v* finale... Au moment où la balle — donc elle rebondit juste en-dessus, je l'ai dessinée à côté — au moment où la balle frappe le sol, il y a une force de réaction ici.

Notes

Summary

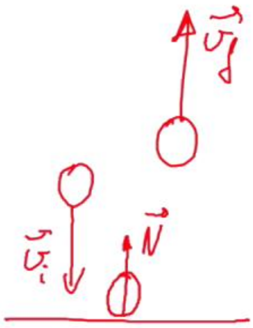
7m 22s

Impact bref

Deux objets sont en collisions pendant un temps très court,
dans un champ de force extérieur.

$$\frac{d\boldsymbol{P}}{dt} = \boldsymbol{F}^{ext}$$

$$\int_{t-\varepsilon}^{t+\varepsilon} \frac{d\boldsymbol{P}}{dt}\, dt = \underbrace{\boldsymbol{P}_{final} - \boldsymbol{P}_{init}}_{2mv} = \int_{t-\varepsilon}^{t+\varepsilon} \boldsymbol{F}^{ext}\, dt$$



Si l'impact est bref : $\varepsilon \to 0 \implies \int_{t-\varepsilon}^{t+\varepsilon} \boldsymbol{F}^{ext} dt \to 0$

pour autant que $\boldsymbol{F}^{ext}$ soit en tout temps finie. Pas une force de contrainte!

Maintenant, si je suppose que, l'impact dure un temps extrêmement court, je vais avoir une force, ici *n*, qui est extrêmement grande. Pourquoi ? Parce que ça, c'est toujours vrai. Et cette différence-là vaut essentiellement projetée dans la verticale *2mv*. Vous voyez, vous avez une vitesse vers le bas, après la vitesse vers le haut, la différence entre les deux, ça fait *2mv*. Donc, vous avez quelque chose de fini ici, ceci doit être fini, le domaine d'intégration temps vers *e* devient de plus en plus petit, donc c'est la force qui doit devenir de plus en plus grande. Cette force *n* de réaction est singulière. Dans un tel cas, on ne peut pas appliquer ce modèle. En revanche, dans le cas précédent, où j'avais une bille qui entrait dans un pot attaché à un fil, on n'a que des forces de valeurs finies. Et à ce moment-là, on peut prendre la limite quand *epsilon* tend vers 0, et ce terme est nul, et on a juste à la collision, la conservation de la quantité de mouvement.

Notes

Summary

9m 00s