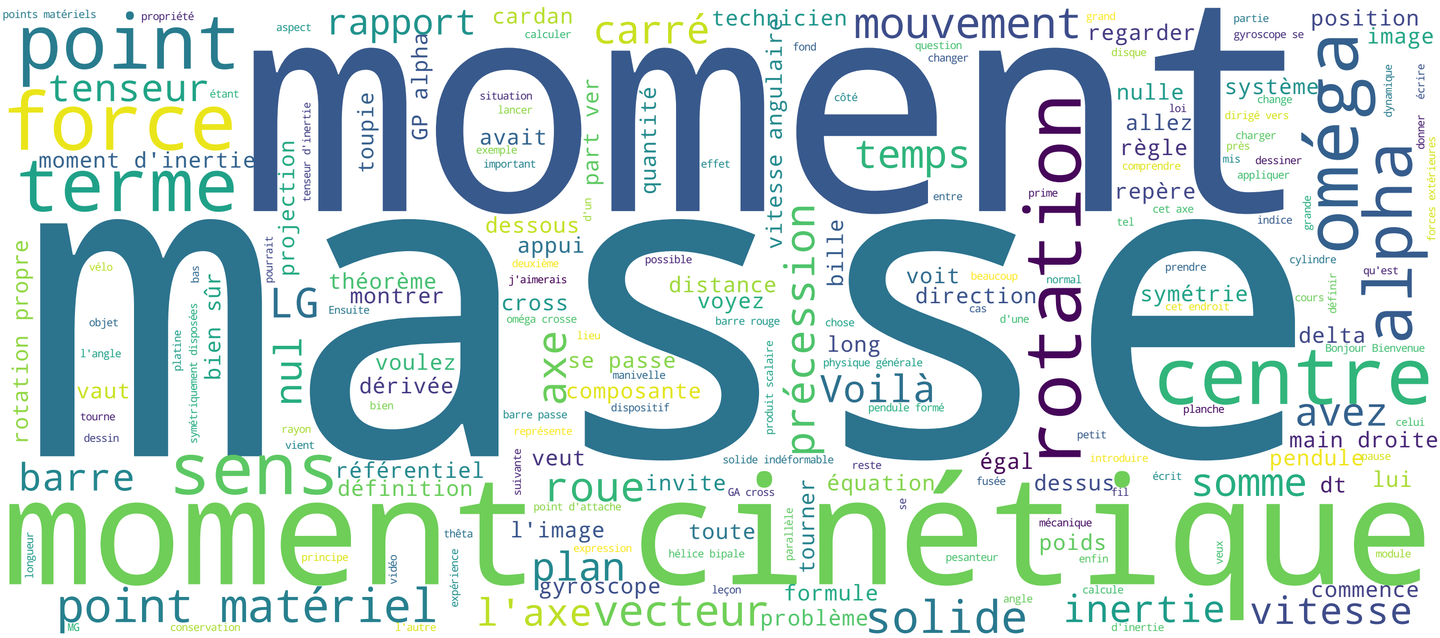
Expériences : solides, mouvement général

Mécanique, cours 21.exp

Jean-Philippe Ansermet



Search MOOC

Video

Bonjour. Bienvenue au cours de physique générale de l'EPFL. Dans cette leçon, je vous invite à exercer l'analyse qualitative d'effets gyroscopiques. D'abord on va examiner le mouvement d'une roue de vélo, qu'on utilise comme une toupie. Ensuite, on va regarder un gyroscope sur cardan, qu'on va charger, vous allez voir le gyroscope se mettre en précession. Ensuite, on va regarder des effets gyroscopes sur des hélices bipales et tripales, ce qui me permettra d'introduire, d'illustrer un aspect de la symétrie du tenseur d'inertie. Et enfin, on terminera sur la discussion du pendule en rotation.

Notes

Summary

0m 03s

Je commence avec une roue de vélo, montée comme une toupie. Le montage que vous voyez sur cette photo permet de, d'avoir le point d'appui, qu'on distingue sur l'image, en-dessus du centre de masse. Le centre de masse est dans le plan de la roue de vélo, ce centre de masse est en-dessous. Alors, le technicien va maintenant lancer la roue et on va voir la précession.

Notes

Summary

0m 50s

On va être, s'assurer qu'une discussion qualitative nous donne le bon sens de précession. Là, vous voyez la roue osciller parce le centre de masse est sous le point d'appui. Notez le sens de rotation. Et voilà, la précession.

Notes

Summary

1m 31s

Toupie – roue de vélo

- Centre de masse au-dessous du point d'appui : quel sens de précession ?

Mécanique | 2013 7

Alors, vu le sens de rotation, règle de la main droite, le moment cinétique est dirigé vers le bas. Lorsque la toupie est inclinée comme ceci, le centre de masse est en-dessous du point d'appui. Si vous esti, calculez O g cross m g, vous allez avoir un vecteur, règle de la main droite, qui part vers la gauche, vers le fond du laboratoire. Donc on prévoit que le moment cinétique, donc le, si vous voulez, l'axe de la roue qui en ce moment, que le technicien tient en ce moment, part vers la droite.

Notes

Summary

1m 59s

Regardons encore une fois. En effet. Je vous invite à faire une pause et essayer de reproduire le raisonnement par vous-même.

Notes

Summary

2m 47s

Pour un autre petit test, bien sûr, avec ce dispositif, on peut s'amuser à ajuster la position de la roue sur l'axe de telle manière que le centre de masse et le point d'appui soit confondu. Qu'est-ce que vous croyez qu'on va observer?

Notes

Summary

3m 09s

Vous voyez, la roue était en un équilibre indifférent, maintenant, sous rotation, qu'est-ce qu'il se passe? Eh bien, on peut écrire d de L o sur d t égal O g cross les forces mais O g, O étant confondu avec g, est nulle, donc il n'y a pas de moment et le moment cinétique reste constant.

Notes

Summary

3m 23s

Gyroscope sur cardan

- On pose un poids sur le cadre horizontal.
- Le cardan se met à tourner.

Voici, un très beau gyroscope monté sur un cardan, de grande précision. On va, le technicien va lancer avec une manivelle, il va pouvoir lancer le disque qui se mettra à tourner sur lui-même et après, le technicien va charger le cardan avec une masse.

Notes

Summary

3m 58s

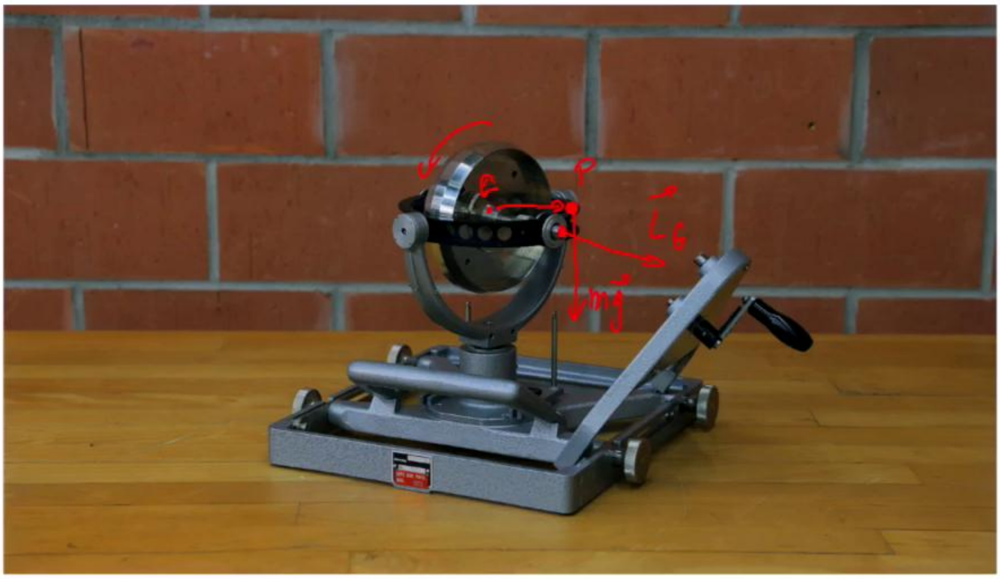
Observez. Voilà, et maintenant le système se met à tourner, c'est-à-dire, faire une précession. Si on met la masse de l'autre côté, la précession a lieu dans l'autre sens. Sur cette vidéo, on ne voit pas très bien le sens de rotation.

Notes

Summary

4m 21s

Gyroscope sur cardan



$$\frac{d\vec{L}_G}{dt} = \vec{GP} \wedge m\vec{g}$$

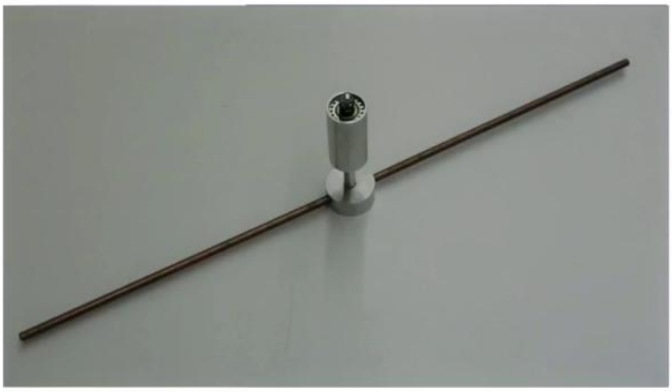
Alors, je vous invite à analyser ce qu'il se passe sur cette image. On se souvient que lorsqu'on met un poids sur le cardan, à cet endroit-là, le gyroscope se met en précession et la précession est telle que cette extrémité-là, de l'axe, part ver le mur. On peut comprendre ceci de la manière qualitative suivante : on a l'équation d de L g sur d t égal le moment, qui est donc le moment dû au poids qu'on a mis sur le cadran, alors si j'appelle ce point-là, P, j'ai une force de pesanteur m g, G, c'est le centre du gyroscope, j'ai le vecteur G P, ici, et j'ai le moment de force qui vaut G P crosse m g. Règle de la main droite, ce moment s'enfonce dans l'image, et si le mouvement est comme je l'avais indiqué, cela veut dire que le moment cinétique est dans ce sens-là, L g, correspondant à une rotation comme ceci. Vous auriez remarqué que la manivelle tournait dans l'autre sens, il y a à cet endroit, là, un engrenage qui fait que le sens de rotation de la manivelle est opposé au sens de rotation du gyroscope.

Notes

Summary

5m 07s

Symétrie d'un objet et de son tenseur d'inertie



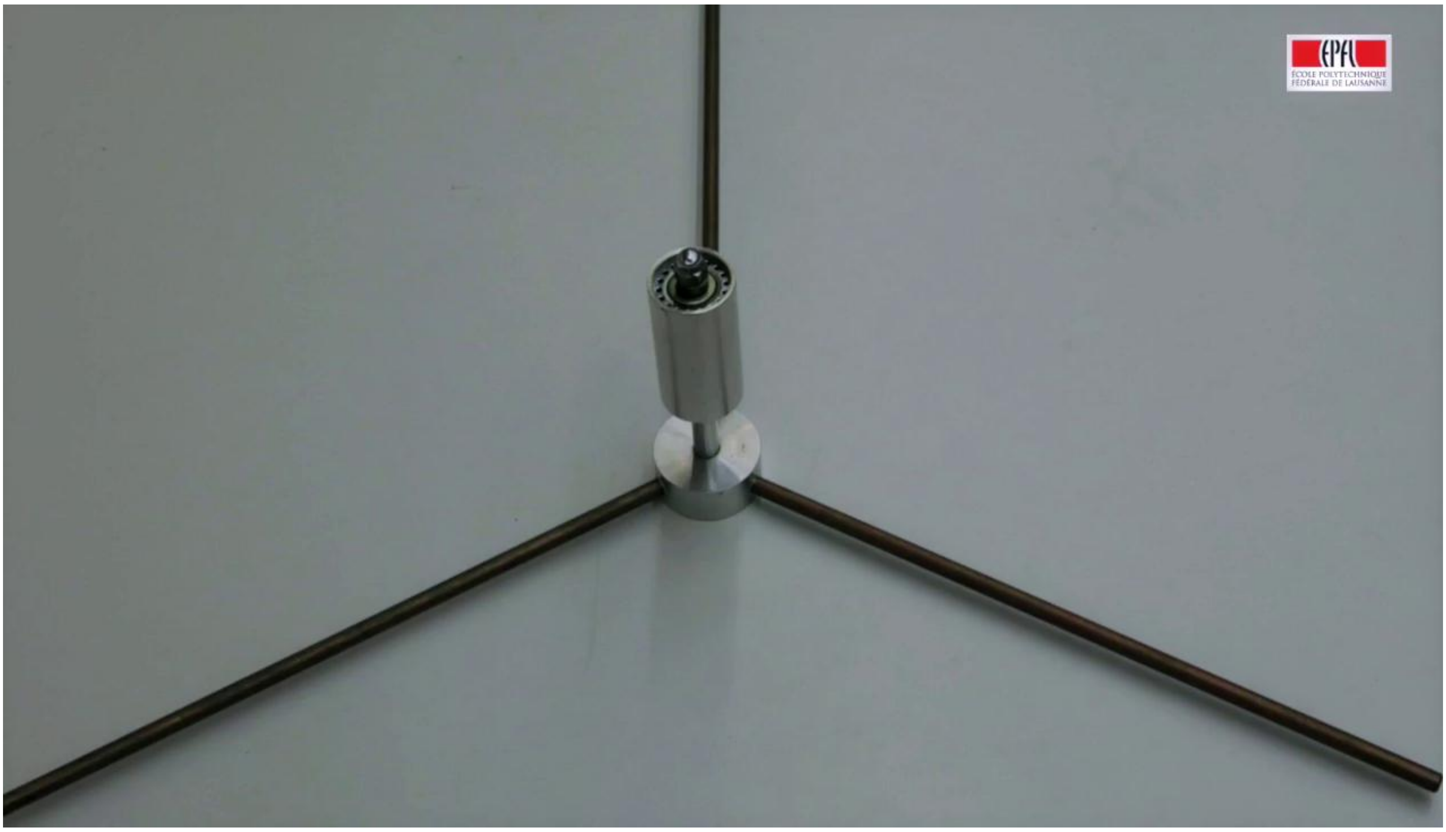
- Quand on fait tourner autour de soi une hélice bipale en rotation sur elle-même, le mouvement est très saccadé.
- Ce n'est pas le cas pour une hélice tripale.

J'aimerais maintenant discuter un aspect de symétrie du tenseur. Sur cette hélice bipale, enfin, c'est un modèle d'hélice bipale, le tenseur d'inertie, bien sûr, est hautement asymétrique, vous avez notamment dans le plan de rotation du bipale, vous avez un moment d'inertie très grand et un très petit. Il suffit de repenser à la définition somme fois des distances au carré. Dans le sens de, pour l'axe qui est normal, à la barre, vous avez des distances grandes donc le moment cinétique est, le moment d'inertie est grand alors que dans, pour un axe qui est le long de la barre, toutes les distances sont très petites. Regardez la conséquence de cette symétrie du tenseur sur le mouvement de, de ce bipale, en rotation, sur lui-même.

Notes

Summary

6m 56s



On va faire tourner rapidement, vous voyez comme le poignet secoue, ça, ça vient du fait que, on a un tenseur très asymétrique, on a des moments d'inertie très différents. Ici, vous avez 3 pales, il est possible de montrer que, dès qu'on a 3 pales, symétriquement disposées comme ici, ou 4 symétriquement disposées, ou plus, heu, le tenseur d'inertie est tel que, on peut prendre n'importe quel 2 axes dans le plan des pales et on a des axes principaux d'inertie et les 2 moments d'inertie sont égaux.

Notes

Summary

8m 05s

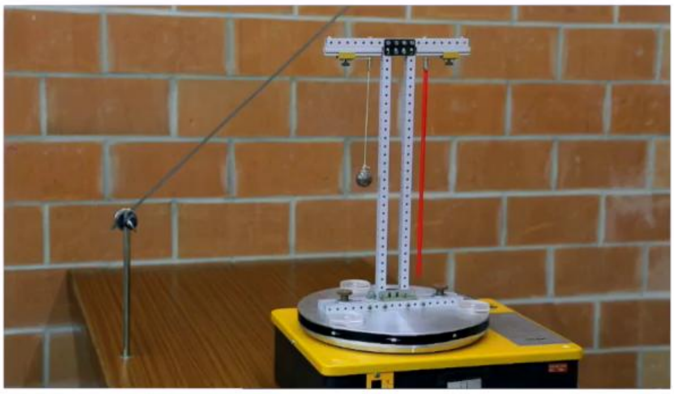
À ce moment-là, le comportement dynamique est beaucoup plus régulier, comme le technicien va le montrer.

Notes

Summary

8m 52s

Pendule physique tournant



- La bille et la tige ont la même masse.
- La bille est à la position du centre de masse de la tige.
- Les pendules n'ont pas le même angle d'inclinaison.

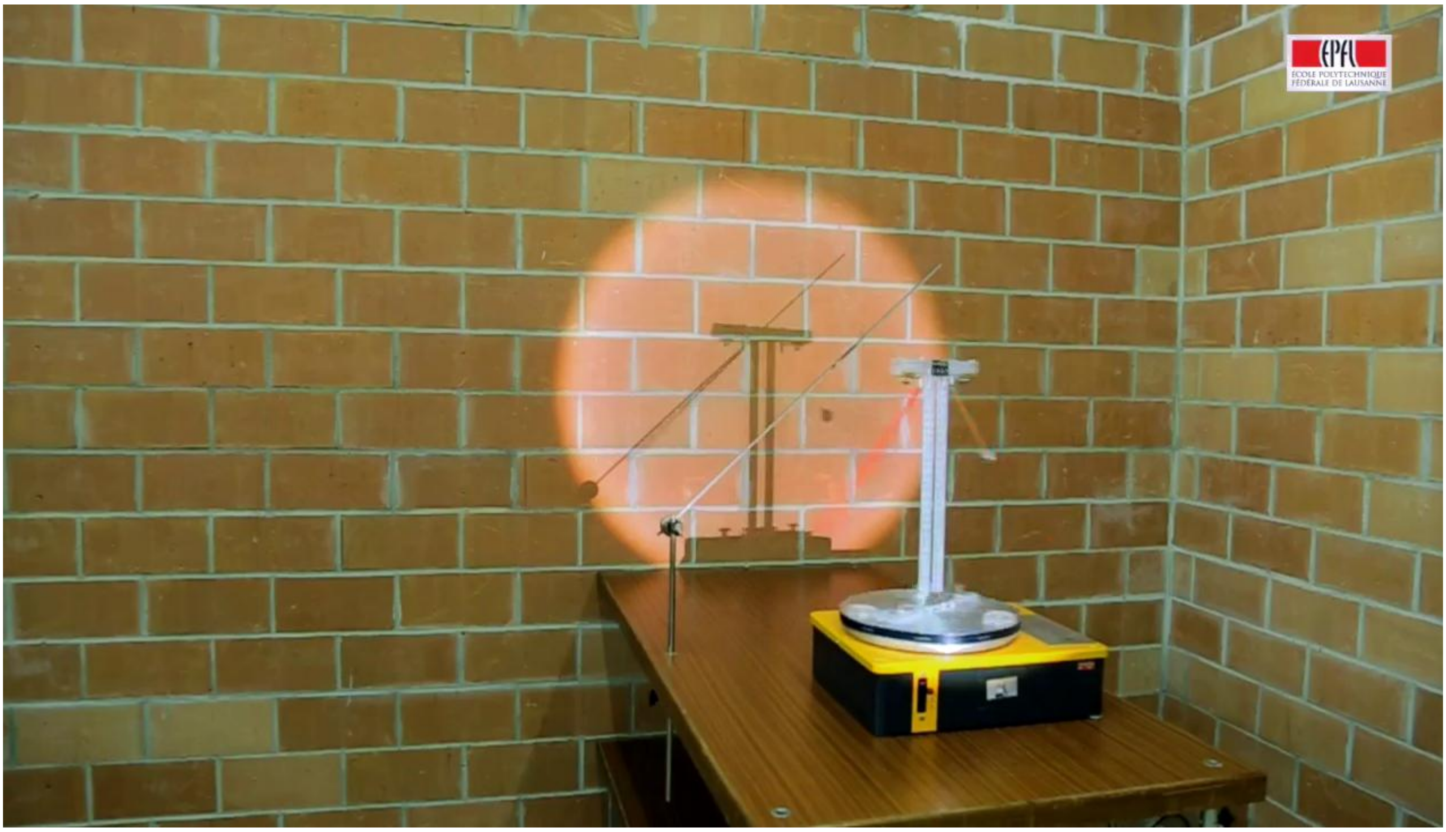
Mécanique | 2013 12

Là, si on fait une rotation rapide, on peut changer l'orientation de l'axe de rotation propre sans trop de problèmes. Je termine maintenant avec le pendule tournant. Vous avez, ici, sur une platine qui peut tourner sur elle-même, 2 objets : une bille suspendue à un fil qui représente, la bille, va être traitée comme un point matériel, et une barre rouge qui a la même masse que la bille. Le centre de masse de la barre rouge est à la position de la bille et avec un jeu d'ombre, il va être possible de voir que l'angle d'inclinaison du pendule formé d'une bille et du pendule formé de la barre, Ces deux angles d'inclinaison diffèrent.

Notes

Summary

9m 02s



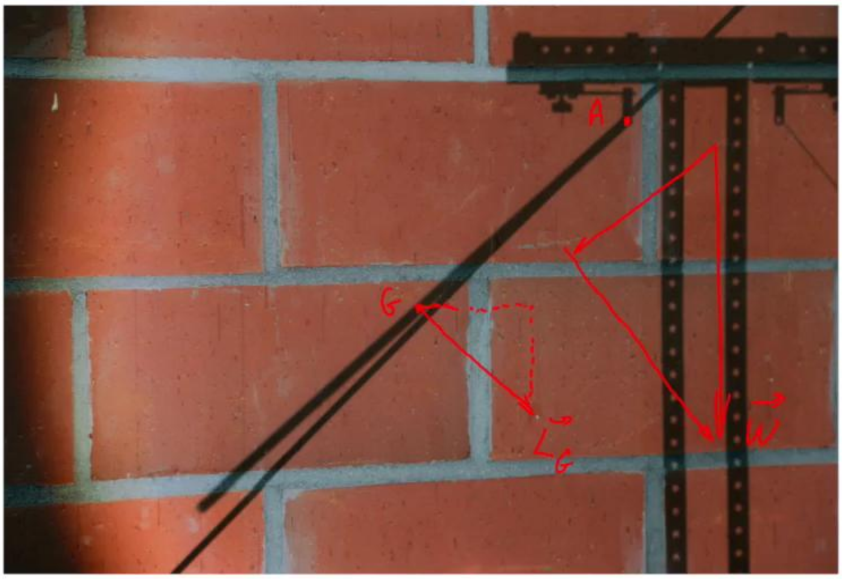
Regardons la vidéo. Voilà les deux pendules. On va faire tourner le système sur lui-même, et l'ombre portée, la barre fixe qui sert de repère va nous permettre de constater que la bille passe en-dessous de l'ombre du repère, et la barre passe en-dessus. Comme ceci. Au ralenti, bien évidemment, on a tout le loisir de voir que la barre passe en-dessus et la bille en-dessous du repère.

Notes

Summary

10m 03s

Pendule physique tournant



$$\frac{d\vec{L}_G}{dt} = \vec{GA} \wedge \vec{T}$$

- La bille et la tige n'ont pas le même moment cinétique.
- La force de réaction au point d'attache ne peut pas être la même dans les deux cas.

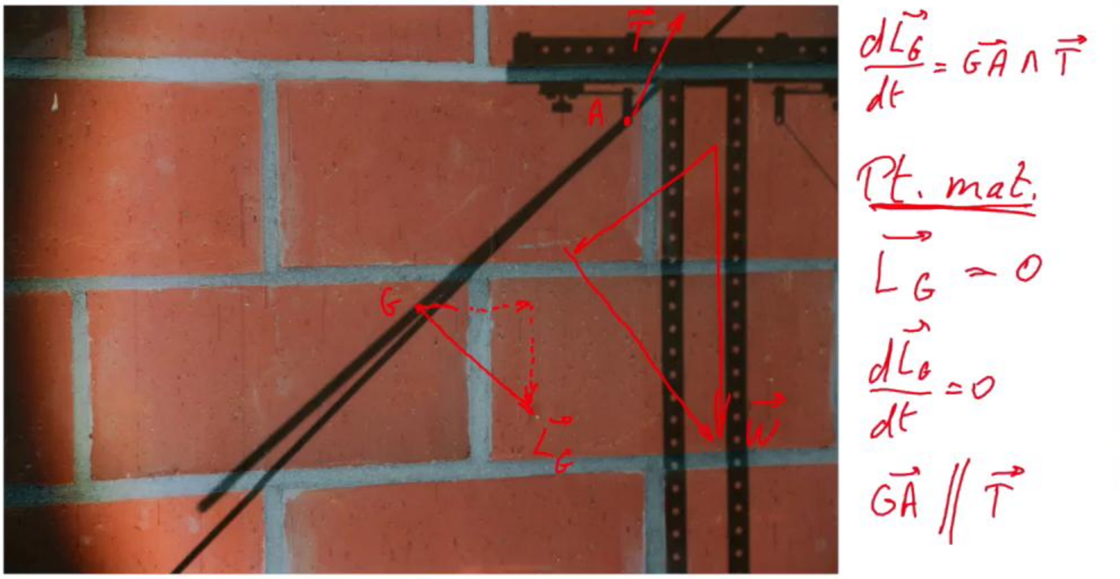
Voici une image sur laquelle je me propose d'analyser encore une fois la situation. Alors, vu le sens de rotation de la platine, on a ici un oméga dirigé vers le bas. Maintenant, la barre, on va la supposer infiniment mince, donc elle a un moment d'inertie le long de la direction de la barre qui est pratiquement nul. Le moment d'inertie en G, je vais dessiner la position de G, à peu près ici moment d'inertie en G par rapport à cet axe-là est, lui, très important, et on a une composante de oméga dans cette direction-là. Je peux donc décomposer le oméga en un vecteur comme ceci et un comme cela. Celui-ci ne contribue pratiquement pas au moment cinétique, cette composante-là de oméga contribue grandement, j'ai donc un moment cinétique qui est comme ceci. Voilà L indice G. Maintenant, si le point d'attache, je l'appelle A, ici j'ai G, j'ai d de LG sur dt égal GA cross T, où le T, c'est la force au point d'attache ici, que je ne vais pas encore dessiner. Maintenant, LG, j'ai ici une photo de LG au moment où il est dans le plan de l'image, un peu plus tard, la barre s'enfonce dans l'image, le LG, donc, a une composante qui tourne, encore une fois on pourrait décomposer le LG comme on a décomposé le oméga, on pourrait avoir deux parties, cette partie verticale qui ne change pas dans le temps, cette partie-là qui subit une rotation.

Notes

Summary

11m 18s

Pendule physique tournant



- La bille et la tige n'ont pas le même moment cinétique.
- La force de réaction au point d'attache ne peut pas être la même dans les deux cas.

Mécanique | 2013 13

Cette rotation revient à faire, si vous voulez on peut l'écrire, ce vecteur on peut lui mettre une flèche comme ceci et comme cela, ce vecteur-là, sous l'effet de la rotation, a donc une composante qui sort de l'image. Donc il faut que GA cross T sorte de l'image. Ça veut dire, règle de la main droite, il faut que T soit quelque part comme ça, hors de l'axe. Voilà la force T. Ça c'est un effet gyroscopique qui apparaît en l'absence de rotation propre très grande. Si on avait un point matériel, pour le point matériel, on aurait LG, le moment cinétique en G de toute la masse en G, qui nécessairement est nul, parce que le tenseur d'inertie est nul. Donc, a fortiori, d de LG sur dt est nul, et à ce moment-là GA est parallèle à T, mais seulement dans le cas du point matériel. Le théorème du centre de masse nous dit que le centre de masse se comporte comme un point matériel qui aurait toute la masse et qui subirait toutes les forces que le solide subit, pas que le point matériel subit.

Notes

Summary

13m 35s