





- Tabouret tournant
- Cylindres sur plan incliné
- Roue sur un tube
- Gyroscope sur cardan

Mécanique | 2013 6

Bonjour. Bienvenue au cours de physique générale de l'EPFL. Dans cette leçon, j'ai introduit les principes généraux de la dynamique du solide indéformable. Ici, j'aimerais montrer une application du principe de conservation du moment cinétique. Ensuite, j'aimerais vous montrer comment utiliser la conservation de l'énergie lorsqu'on a une énergie cinétique de rotation. Ensuite, on va faire un argument heuristique pour montrer qu'on doit s'attendre à la précession d'une toupie. Et enfin, j'aimerais vous montrer le dispositif appelé cardan, qui permet de maintenir un gyroscope dans une direction fixe de l'espace.

Notes

Summary



0m 03s

# Tabouret tournant



- Une roue lourde tourne rapidement sur elle-même.
- Le porteur est assis sur un tabouret tournant.
- Selon l'orientation de la roue, la personne tourne dans un sens, dans l'autre.

Mécanique | 2013 7

Commençons avec la conservation du moment cinétique. Le technicien va lancer une roue à grande vitesse, puis il va s'asseoir sur un tabouret, monté de telle manière à ce qu'il y ait un moment de force négligeable selon la verticale. Donc la projection du moment cinétique sur la verticale, qui est nulle au début, doit rester nulle en tout temps. Voyez ce que cela donne.

Notes

Summary



0m 49s

# Tabouret tournant



- Une roue lourde tourne rapidement sur elle-même.
- Le porteur est assis sur un tabouret tournant.
- Selon l'orientation de la roue, la personne tourne dans un sens, dans l'autre.

Mécanique | 2013 7

Donc, ce qui se passe c'est que, lorsque la roue a son axe de rotation propre horizontal, le moment cinétique est clairement nul, et lorsque la roue commence à être inclinée, il y a, la roue a un moment cinétique vertical non nul, et donc, le reste du système, donc le tabouret plus le passager du tabouret, doivent se mettre à tourner dans le sens inverse pour que le moment cinétique reste nul.

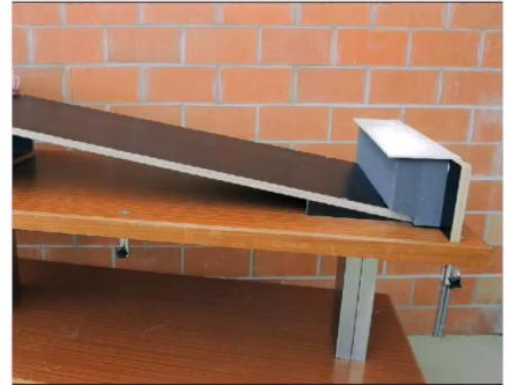
Notes

Summary



1m 46s

# Cylindres roulant sur un plan incliné



- Même diamètre
- Même masse
- Un cylindre ne roule pas (sur chariot)

Mécanique | 2013 8

Dans cette deuxième expérience, j'aimerais illustrer le concept de conservation de l'énergie lorsqu'il y a de l'énergie cinétique de rotation qui est impliquée. Alors, dans une première expérience, on va prendre deux cylindres équivalents. L'un va rouler sans glisser sur un plan incliné, l'autre va être montré sur un chariot. Je peux vous assurer qu'on peut estimer que le chariot est sans masse, mais, le dispositif avec le chariot va permettre d'éviter le, la rotation du cylindre sur lui-même. Donc vous voyez, vous avez deux cylindres équivalents, mais l'un est monté sur un petit chariot. Alors, d'après vous, je vous invite à faire une pause pour réfléchir, d'après vous, lequel va arriver le premier en bas?

Notes

Summary



2m 20s





Maintenant, faisons l'expérience. Voilà, clairement, le cylindre monté sur un chariot arrive en bas le premier.

Notes

Summary



3m 22s

# Cylindres roulant sur un plan incliné



- Même diamètre
- Même masse
- Différente répartition des masses !

Mécanique | 2013 9

Pourquoi? Et bien parce que, à une hauteur donnée, il y a de l'énergie potentielle qui est transformée en énergie cinétique. Maintenant, pour le cylindre sur un chariot, toute l'énergie potentielle est transformée en énergie cinétique de translation, alors que pour le cylindre qui tourne sur lui-même, une partie de l'énergie n'est pas de l'énergie cinétique de translation, c'est de l'énergie cinétique de rotation, donc il va moins vite, et il arrive moins, plus tard, en bas. Faisons une expérience semblable, cette fois-ci avec les deux cylindres que vous voyez. . Alors les deux cylindres sont conçus de manière à avoir les mêmes dimensions extérieures, les mêmes masses, mais la distribution des masses n'est pas la même sur les deux. Effectivement, vous avez pour l'un la masse de cuivre à l'extérieur, et pour l'autre, la même masse de cuivre, mais à l'intérieur.

Notes

Summary



3m 35s

# Cylindres roulant sur un plan incliné



- Même diamètre
- Même masse
- Différente répartition des masses !

Mécanique | 2013 9

Observons. Encore une fois, je vous invite à faire une pause, et essayer de deviner lequel va arriver en bas le premier. Quand je dis deviner, évidemment je veux dire appliquer un raisonnement mécanique pour arriver à la bonne réponse. Observons. Voilà. Vous voyez que c'est le cylindre qui a la plus grande masse concentrée au centre de masse qui arrive le premier en bas, donc c'est le cylindre qui a le moment d'inertie le plus petit qui arrive en bas le premier. Je vous propose maintenant d'analyser la situation avec des équations de la mécanique.

Notes

Summary



4m 42s



# Cylindres roulant sur un plan incliné



$$\frac{1}{2}I_{\Delta}\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}Mv^2 = Mgh$$

$$\dot{\theta} = \frac{v}{R}$$

$$\frac{1}{2}I_{\Delta}\left(\frac{v}{R}\right)^2 + \frac{1}{2}Mv^2 = Mgh$$

$$v^2 = 2gh \frac{MR^2}{I_{\Delta} + MR^2}$$

Mécanique | 2013 14

D'abord, j'écris cette équation-là, qui dit que, pour une hauteur  $H$  de descente, vous avez une énergie potentielle  $MgH$  qui doit être égale à l'énergie cinétique gagnée par le système. Alors la notation est conventionnelle,  $\dot{\theta}$  donne la vitesse angulaire,  $v$  la vitesse de translation le long du plan incliné, et vous avez donc une énergie cinétique de rotation et une énergie cinétique de translation. Maintenant, on suppose qu'on a roulement sans glissement, ce qui impose que la vitesse vaut  $R \dot{\theta}$ . Si on fait cette substitution dans la formule de conservation de l'énergie, on peut en déduire la vitesse pour une hauteur  $H$  donnée, et vous avez une formule qui vous indique, ici vous avez le moment d'inertie du solide, donc plus le moment d'inertie est grand, plus la vitesse est petite. Ce qui correspond parfaitement à ce qu'on a observé. Je passe maintenant à la précession.

Notes

Summary



5m 30s

# Roue sur tube rigide



- On lance la roue en rotation rapide
- On pose l'axe sur le bord d'un tube
- La roue se met en précession.

Mécanique | 2013 15

Notes

Summary



6m 39s



On a, on va constituer ici, une roue de vélo en toupie, je vous invite à voir la vidéo. Vous noterez le sens de rotation. Et voilà cette précession. Et la question c'est de savoir, avec les principes généraux de la dynamique, est-ce qu'on peut comprendre qualitativement ce qu'on voit?

Notes

Summary



# Roue sur tube rigide



- Argument pour la précession de la roue

Mécanique | 2013 16

On va faire un argument qualitatif sur la base de cette image. Alors d'abord, le technicien étant droitier, il tenait la roue de la main gauche, et il a lancé la roue comme ceci, avec une rotation dans ce sens-là. Je veux maintenant appliquer le théorème du moment cinétique. On va noter  $O$  le point d'appui,  $G$  le centre de masse de la roue, et avec la règle de la main droite, on s'imagine bien que le moment cinétique est essentiellement dirigé dans le sens de l'axe de rotation propre, il est donc, à peu près, dans cette direction là, il s'enfonce dans l'image. Voilà  $L O$ . Maintenant, on peut montrer qu'on peut traiter la pesanteur comme si elle s'appliquait au centre de masse. On a donc une force, ici,  $M G$ , et si je calcule  $O G \text{ cross } M V G$ , je vais trouver un couple qui fait évoluer  $L O$ , et, avec la règle de la main droite, je dois avoir quelque chose qui sort de l'image et qui est perpendiculaire à  $M G$ , donc horizontal, et donc on a quelque chose qui vient dans ce sens là. Ça c'est  $O G \text{ cross } M G$ . Et, si on fait  $\text{fois } dt$ , on a l'accroissement du moment cinétique, et petit à petit, le moment cinétique va faire un mouvement de précession comme ceci.

Notes

Summary



7m 12s

# Gyroscope sur cardan



- Le cardan permet d'éviter les effets de pesanteur.
- Le gyroscope pointe toujours dans la même direction.

Mécanique | 2013 17

Voilà une façon heuristique de comprendre, à partir des lois de la dynamique du solide pourquoi les toupies font une précession. Maintenant, j'aimerais montrer un gyroscope monté sur un cardan. Le cardan, c'est ce dispositif. La roue a un axe qui est monté sur un cercle, le cercle lui-même monté sur un autre axe comme ceci, et ceci peut encore tourner par rapport au pied. Et vous allez voir que ce dispositif permet, au fond, d'annuler les effets de la pesanteur. Dans la mesure où il n'y a pas de frottements, on a donc pour le théorème du moment cinétique,  $dL/dt = 0$ . C'est approximatif parce qu'il y a toujours un peu de frottement. Ça veut dire que l'on peut lancer ce disque en rotation rapide sur lui-même. Ceci va définir une orientation de  $L$  et après on peut secouer ce dispositif, vous allez voir, il reste toujours dans la même direction par rapport au référentiel, c'est-à-dire le laboratoire.

Notes

Summary



9m 09s



