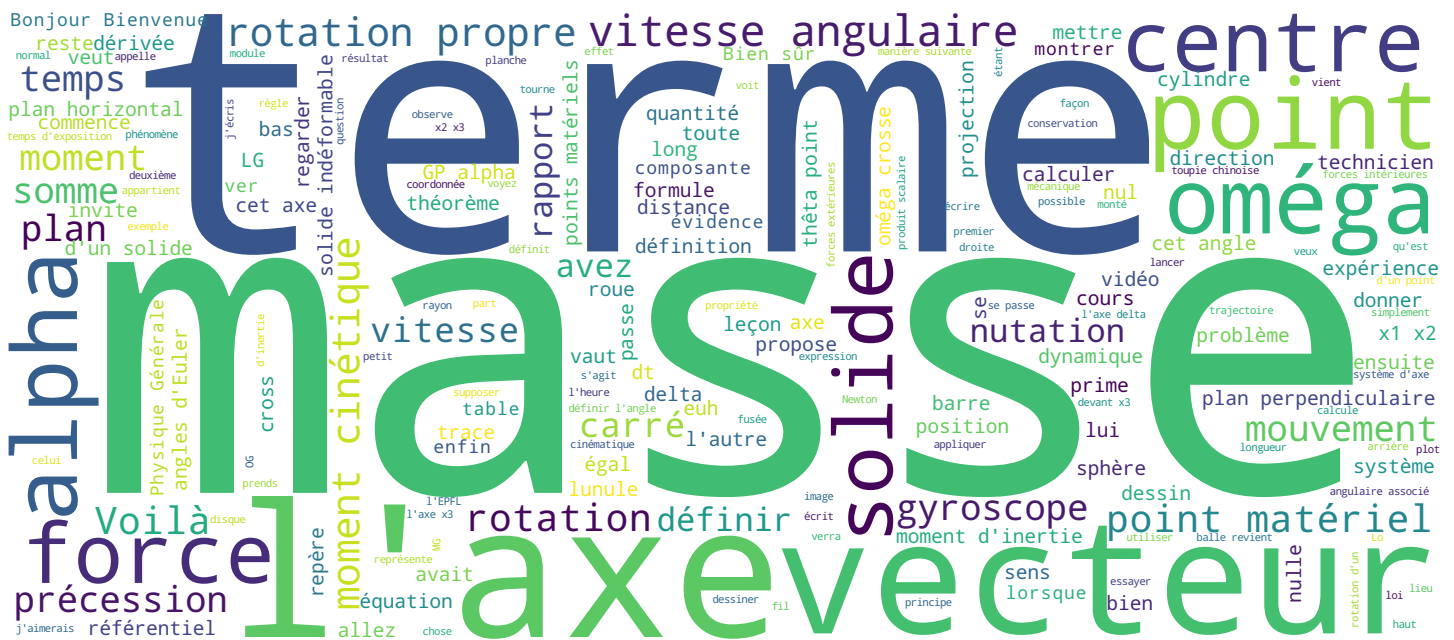


Jean-Philippe Ansermet





- Gyroscope : angles d'Euler
- Rebond de balle sous la table
- Toupie chinoise

Mécanique | 2013 5

Bonjour. Bienvenue au cours de Physique Générale de l'EPFL. Dans cette leçon, on a vu la cinématique du solide indéformable. Ici, j'aimerais introduire les angles d'Euler. On va le faire en observant, d'abord, l'évolution d'un solide particulier, un gyroscope, qui nous permettra de voir les différents modes de rotation d'un solide. On regardera ensuite le rebond d'une balle sous une table pour mettre en évidence à quel point un solide en rotation sur lui-même a une dynamique qui est très différente de celle du point matériel. Et ensuite, on verra tous ces modes de rotation d'un solide en évidence sur le mouvement d'une toupie dite toupie chinoise.

Notes

Summary



0m 03s

# Gyroscope, les angles d'Euler



- Rotation propre
- Précession
- Nutation

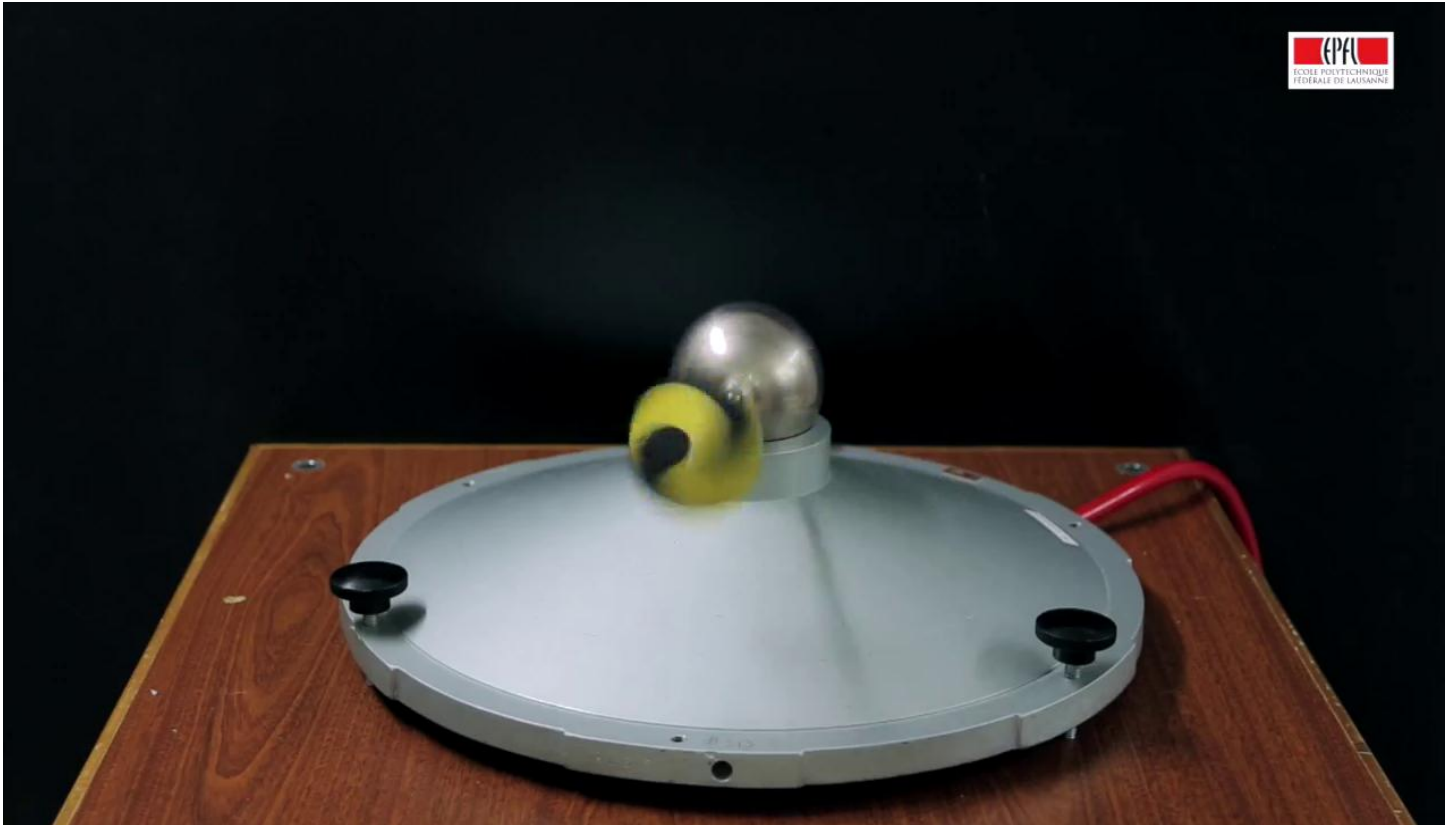
Mécanique | 2013 6

Notes

Summary



0m 52s



Je commence avec le gyroscope. Je vous propose d'observer la vidéo. Ce premier mouvement qu'on vient de voir, cette façon de lancer, très naturelle, euh, le, le gyroscope, cette rotation-là on appelle la rotation propre. Maintenant le technicien va relâcher ce gyroscope. Comme il y a une tige montée sur la sphère le centre de masse n'est plus au centre de la sphère, il est décalé et on observe un phénomène de précession. Et enfin le technicien va donner un coup sur le gyroscope et vous verrez un troisième type de rotation. Voilà. Ce nouveau mouvement, saccadé, s'appelle, la nutation. Je vous propose maintenant de, d'examiner ces mouvements l'un après l'autre.

Notes

Summary



0m 56s



Mécanique | 2013 8

Je commence avec la précession. Ici on a monté une diode au sommet du gyroscope et on va faire un enregistrement de la trajectoire grâce à un temps d'exposition très lent. Voilà le mouvement de précession. Et on va voir la trajectoire correspondante. Maintenant j'aimerais définir un angle et une vitesse angulaire pour la précession. Alors si on regarde une image du gyroscope, comme ici, on pourrait s'imaginer considérer la projection d'un point de l'axe et observer sur, euh, le plan horizontal comment ce, ce point se déplace. Il se trouve que ce n'est pas ainsi qu'on convient de définir les angles d'Euler. Quand on définit les angles d'Euler, on regarde la déviation angulaire de la trace du plan perpendiculaire à l'axe de rotation propre. Donc, il faut s'imaginer le plan perpendiculaire à cet axe qui intersecte un plan horizontal passant par le centre de masse et c'est avec cette droite-là, l'intersection de ces deux plans, qu'on va définir l'angle de précession. Alors, je vais faire maintenant un dessin. Je vais tenter de dessiner ce plan perpendiculaire et la trace sur un plan horizontal. Je vais le faire de la manière suivante. J' imagine ici ce plan que je représente par une lunule, comme ceci.

Notes

Summary



1m 58s

# Gyroscope, les angles d'Euler



• Nutation

Mécanique | 2013 9

Voilà. Ce plan là, je vais représenter ici un plan perpendiculaire à l'axe de rotation propre, cet axe-là. Et maintenant je vais définir un système d'axes cartésiens centré sur le centre de la boule, comme ceci. On peut avoir  $x_1$  ici,  $x_2$  là derrière, devant,  $x_3$ , et l'angle de précession, ce sera l'angle entre  $x_1$  et cette trace-là. Et cet angle-là je vais l'appeler  $\psi$ . Le vecteur de vitesse angulaire associé à cette rotation, c'est un vecteur  $\dot{\psi}$  point qui est le long de  $x_3$ , comme ceci. Voilà mon vecteur de vitesse angulaire pour la précession. Passons maintenant à la nutation. Regardons encore une fois de quoi il s'agit.

Notes

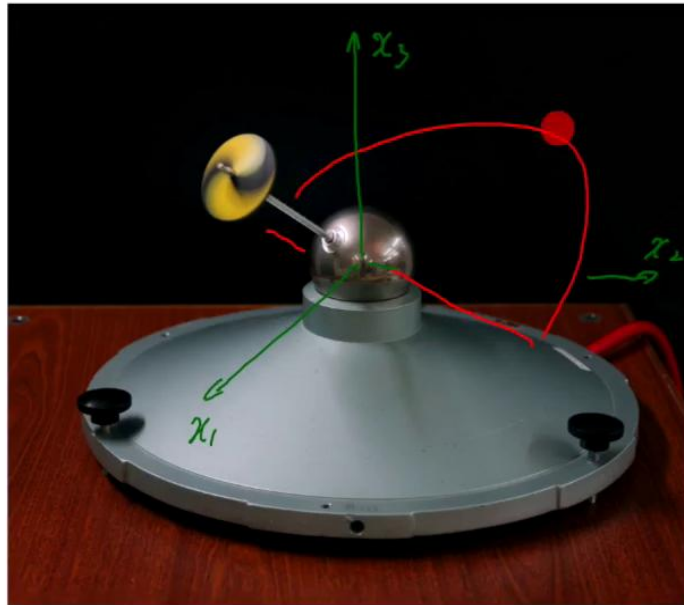
Summary



3m 54s







Mécanique | 2013 11

Alors là, c'est en fait plus facile. J'imagine que nos solides tracés ici, une représentation de, de l'axe du solide. On va supposer que on veut caractériser l'angle de nutation pour cette position-là. Je reprends les axes cartésiens  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ . L'angle de nutation c'est l'angle d'écart par rapport à l'axe  $x_3$ . Cet angle là je vais l'appeler  $\theta$ . Et en fait là, la vitesse vectorielle elle est sur l'axe qu'on avait dessiné tout à l'heure qui était l'intersection du plan perpendiculaire à l'axe de rotation propre et le plan horizontal  $x_1$ ,  $x_2$ . Donc, le vecteur de vitesse angulaire  $\theta$  point il a une allure comme ceci. Voici  $\theta$  point, le vecteur de vitesse angulaire associé à la nutation. C'est un vecteur qui est normal à l'axe de rotation propre et à l'axe  $x_3$ . Enfin, on doit définir le, la rotation propre. Alors, pour cela je vais reprendre, encore une fois, cette vision de l'axe nodal. Donc je vais essayer de redessiner encore une fois cette lunule, comme ceci. Mes axes,  $x_1$ , là derrière,  $x_2$ , là devant,  $x_3$ . Alors, on peut, euh, on va dessiner, juste pour la rotation propre, on va imaginer qu'on a planté les axes dans cette sphère qui sont dans le plan contenu par cette lunule.

Notes

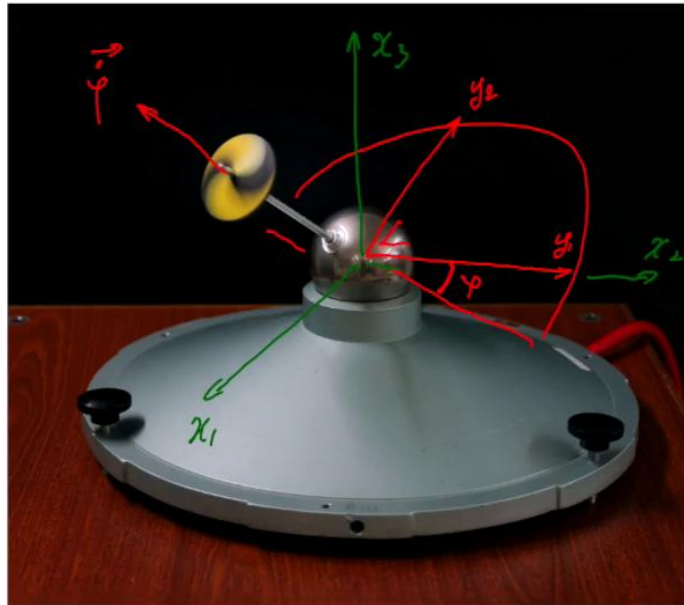
Summary



5m 23s



# Rotation propre



Mécanique | 2013 11

Donc je vais définir, maintenant, un axe  $y_1$  comme ceci et un axe perpendiculaire dans le même plan  $y_2$  ici. Là il y a un angle droit et cet angle-là, dans le plan de cette lunule inclinée, c'est  $\phi$ . Bien sûr que le vecteur de vitesse angulaire il est le long de l'axe de rotation propre, comme ceci. Voilà le vecteur de vitesse angulaire  $\phi$  point. Et nous avons ainsi défini trois angles, trois vitesses angulaires pour définir comment l'orientation du solide évolue dans le temps.

Notes

Summary



7m 32s

# Rebond de balle sous la table



- Si point matériel, rebond comme la lumière
- La balle revient en arrière !

Mécanique | 2013 12

Je passe maintenant à cette expérience, la balle qui rebondit sous la table. Vous allez voir que cette balle revient en arrière. Ça, ce n'est possible que par le fait que après le premier rebond, la balle se met à tourner sur elle-même. Je vous invite à regarder la vidéo.

Notes

Summary



8m 19s



Si on avait un point matériel, le point matériel rebondirait comme s'il s'agissait de deux miroirs, il continuerait en avant. Tandis que là, avec la rotation propre, la balle revient en arrière. Pour terminer, je vous propose de regarder une toupie chinoise.

## Summary



# Toupie chinoise



- Equilibre sous rotation rapide : toupie inversée.

Mécanique | 2013 13

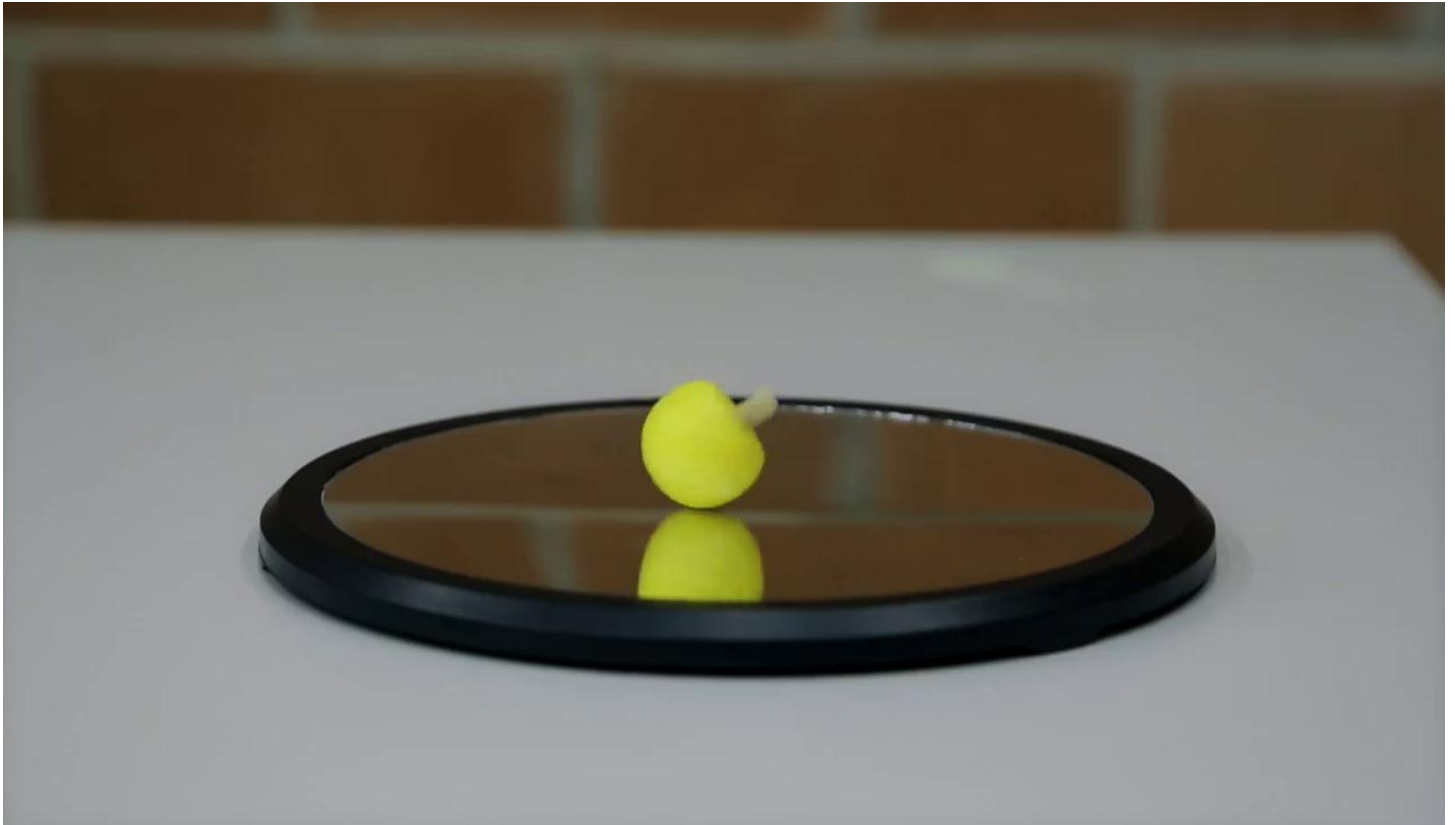
Une toupie qui est une calotte sphérique montée d'une tige. Au repos la tige est vers le haut. Vous allez voir que, lorsque la toupie tourne sur elle-même la, la tige vient en bas. Donc vous avez donc une rotation propre, celle qu'on va donner à la toupie en la faisant tourner entre les doigts. Ensuite, il y a une précession et une nutation qui donne lieu à ce redressement de la toupie.

Notes

Summary



9m 14s



Observons. Et voilà.

- Notes

## Summary

