Dynamique du point et du solide
Exemples d'expériences

15 juin 2021

On s'attachera à mesurer des lois de conservation de l'impulsion, du moment cinétique, de l'énergie mécanique.

La dynamique du point est souvent une approximation de la dynamique du solide. On se pose les questions sur sa validité.

1 Principe d'inertie

Avec une table traçante et un mobile à coussin d'air, montrer la constance de la direction et de la norme de la vitesse. On pourra peut-être comparer au cas où on aurait des frottements (sans coussin d'air).

2 Principe des actions réciproques

Placer un aimant au néodyme sur une balance, et, en regard de cet aimant, un autre aimant suspendu à un dynamomètre. En approchant le dynamomètre et le second aimant du premier aimant, on peut mesurer la variation de la force subie par chacun des deux aimants.

3 Conservation de la quantité de mouvement

Expérience avec deux mobiles sur table traçante. On fait s'entrechoquer les mobiles : on constate que la somme des quantités de mouvement avant le choc est identique à la quantité de mouvement après le choc.

4 Conservation de l'énergie mécanique

Chute d'une bille : conversion d'énergie potentielle en énergie cinétique, et conservation de l'énergie mécanique. Capture informatique.

Pour aller plus loin : rebonds d'une bille, montrer que l'énergie cinétique est constante entre chaque rebond mais est inférieure par rapport aux rebonds précédents. On définit le coefficient de restitution de la bille : $e = \sqrt{\frac{h_{n+1}}{h_n}} = \frac{T_{n+1}}{T_n}$

Roulement sans glissement d'une bille sur un plan incliné : permet d'inclure des notions de mécanique du solide (énergie cinétique de translation du centre de masse et énergie cinétique de rotation de la bille). Le moment d'inertie d'une bille par rapport à un axe de rotation passant par son centre vaut $\frac{2}{5}mR^2$; l'énergie cinétique de rotation est $\frac{1}{2}J_\Delta\omega$ avec $\omega = \frac{v}{R}$

Pour un cylindre plein, le moment d'inertie par rapport à l'axe de révolution est $J_\Delta = \frac{1}{2}MR^2$ avec R le rayon de la base.

5 Expériences sur le moment cinétique

Balance romaine Un solide peut se trouver à l'équilibre s'il est soumis à des forces dont les moments s'annulent. C'est sur ce principe que fonctionne la balance romaine. Prendre une barre avec un pivot en son centre. Placer sur un côté une masse : la barre bascule. Placer une masse identique à une position symétrique : la barre peut revenir à l'horizontale. Placer une masse plus légère à une distance plus grande permet aussi d'obtenir une position d'équilibre : on doit vérifier $P_1d_1 - P_2d_2 = 0$ avec P le poids de la masse et d la distance entre la masse et le pivot.

Vérification du théorème de Huygens Le moment cinétique d'un objet par rapport à un *axe* est égal au produit scalaire du moment cinétique par rapport à un point de cet axe et du vecteur unitaire portant cet axe. Il peut s'exprimer sous la forme $\sigma_\Delta = J_\Delta\omega$ avec J_Δ le moment d'inertie du solide $= \iiint r^2 \mathrm{d}m$. Le théorème de Huygens relie le moment d'inertie calculé par rapport à un axe de rotation passant par le centre de gravité du solide Δ, au moment d'inertie par rapport à un autre axe parallèle Δ' situé à une distance d : $J_{\Delta'} = J_\Delta + md^2$.

Une piste pour le vérifier expérimentalement, c'est la mesure des périodes d'oscillation du pendule pesant, aux petits angles, pour une masse de hauteur variable.

Expérience. En appliquant le théorème du moment cinétique par rapport à l'axe de rotation du pendule, on peut trouver que $T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mLg}}$ avec L la distance entre l'axe et le point de gravité de l'ensemble (on a $mL = m_aOA + m_bOB$). Le moment d'inertie est additif, et d'après le théorème de Huygens : $J = (m_aOA^2 + J_a) + (m_bOB^2 + J_b)$ avec a ce qui se rapporte à la tige et b ce qui se rapporte à la masse cylindrique ; A est le centre de masse de la tige et B celui de la masse cylindrique (aussi les points par rapports auxquels sont calculés J_a et J_b ; donc au centre de chaque cylindre si on les considère homogènes).

Ceci donne une relation entre la période et OB :

$$T(OB) = 2\pi\sqrt{\frac{(m_aOA^2 + J_a) + (m_bOB^2 + J_b)}{g(m_aOA + m_bOB)}}$$

Sachant qu'on a $J_a = m_a\left(\frac{r_{a1}^2+r_{a2}^2}{4} + \frac{h_a^2}{12}\right)$ et une relation similaire pour J_b, r_{a1} et r_{a2} étant les rayons intérieur et extérieur du cylindre creux (rayon intérieur nul si le cylindre est plein).

On peut chercher à comparer avec la période du pendule simple (calculer L via la relation du pendule pesant) pour montrer les déviations du modèle et les limites du modèle du pendule simple (rappel : période du pendule simple $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$). C'est une vérification assez indirecte du théorème de Huygens, certes.

Petits angles : valables jusqu'à environ 13° (écart de 1% entre $\sin\theta$ et θ).

On peut tracer la droite exprimant le rapport entre période observée et période théorique (coeff directeur 1 dans le meilleur des cas).

6 Viscosimètre à chute de bille

Apparition d'une vitesse limite du fait de la force de Stokes. Permet d'illustrer certaines forces ayant cours dans les fluides. Cas de non-conservation de l'énergie mécanique. Peut-être hors de propos avec le côté dynamique du solide et pas du fluide.

Bibliographie

Expériences pour l'essentiel tirées de :

Bellier, J.-P. , Bouloy, C. et Guéant, D. (2020). *Expériences de Physique : Optique, mécanique, ondes, fluides.* Dunod. 5$^{\text{ème}}$ édition.

http ://perso.ens-lyon.fr/thomas.gibaud/pdf/tg_pendulepesant.pdf