

agrégation de physique 2002 – 2003

montage n° 1 : dynamique newtonienne

Bibliographie : [1] - L. Quaranta, *Dictionnaire de physique tome 1 nouvelle édition*, (Pierron) où l'on pourra consulter les articles suivants : Centre d'inertie, Chute libre, Énergie mécanique, Forces centrales, Gyroscope, Hydrostatique, Moment d'inertie, Moment cinétique, Mouvement circulaire, Quantité de mouvement, Rotation, Translation.

[2] - Berty..., *Physique pratique tome 2*, (Vuibert)

[3] - Mécanique (Gié, Bertin Faroux, etc.)

[4] - Mécanique (Bruhat) + Mécanique (Fleury et Mathieu)

⇒ Proposition de montage.

compte-rendu des étudiants de Cachan (fichier pdf) 2002 (<http://www.rip.ens-cachan.fr/~pagregp/>)

M1 : Illustration de quelques lois de la dynamique Newtonienne.

Plan

1. Lois de Newton

(a) Principe d'inertie

deux mobiles autoporteurs reliés entre eux : montrer que CI a un mouvement rectiligne uniforme. VSCOPE et IGOR: faire une Macro pour accélérer l'analyse. Bien régler horizontalité de la table. Résultats pas très satisfaisants, lancer les mobiles pas trop bizarrement. Mobiles de même masse ou de masse différente (sauf que masse différente = plus compliqué à exploiter).

Manip délicate qui marche pas terrible : voir facilité ou pas avec traceurs simples.

(b) Deuxième loi de Newton : PFD

– table inclinée en largeur, mobile; parabole en Y, droite en X: marche

bien. V SCOPE + IGOR: marche très bien. Mesure α pas très précis.

– oscillateur harmonique vertical (PASCO+IGOR) : modèle avec un cosinus

(marche bien). En déduire ω_0 et k ressort. Comparer avec k mesuré en mettant des masses.

2. Lois de conservation

(a) Conservation de p

mobiles autoporteurs : choc élastique ou non élastique : conservation de p dans les 2 cas (théoriquement; beaucoup plus dur à mettre en oeuvre). Peut être plus facile avec un mobile initialement au repos et un en mouvement...

(b) Conservation de E

• gyroscope fixé + masse et fil : transformation E_{pot} pesanteur en E_c rotation. Trouver les équations, mesurer.

• conservation de l'énergie de l'oscillateur : ne pas oublier le terme en z dans l'énergie mécanique. Reprendre l'acquisition du début.

(c) Conservation du moment cinétique

qualitativement : roue de vélo.

1. Introduction

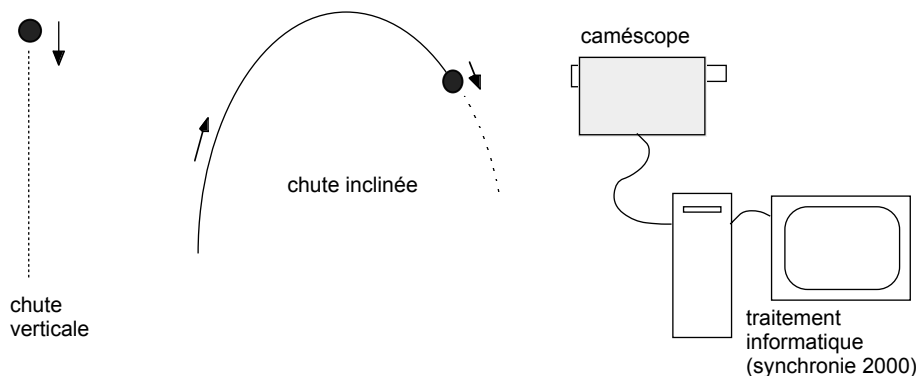
On a le choix entre de nombreuses expériences classiques de la mécanique, chacune illustrant une loi de Newton ou une application directe :

- Relation fondamentale de la dynamique
- Interaction, égalité de l'action et de la réaction
- Principe d'inertie
- Conservation de E, de p, de σ
- Forces centrales
- Référentiel non galiléen
- etc.

Ce qui suit est « classé » par matériel, puisque dans chaque cas, on peut illustrer différentes lois.

2. Chute libre

- Soit chute verticale sans vitesse initiale, soit chute inclinée avec vitesse initiale.



- Nature du mouvement, conservation de l'énergie.

3. Mouvement de rotation autour d'un axe fixe

3.1 Conservation du moment cinétique

Expériences sur un plateau tournant.
Équilibrage dynamique.

3.2 Application du théorème du moment cinétique

Un solide (tige + poulie + 2 masselottes M) de moment d'inertie J (grâce aux masselottes, ce moment d'inertie est réglable) est soumis à un couple constant (qui n'est pas mgr) grâce à une masse m (figure).

- Au départ le système est au repos (vitesse nulle). On mesure le temps t (horloge 2) mis pour faire 1 tour ($x = 2\pi r$) et la vitesse instantanée V (horloge 1) au niveau du cache ($V = \Delta x / \Delta t$ avec Δx = largeur du cache et Δt indication de l'horloge 1)

On recommence pour 2 tours, 3 tours, etc.

Remarques

- 1) On peut remplacer les capteurs (photocellules + horloges) par un caméscope...
- 2) On peut utiliser également un simple chronomètre...
- 3) On peut également mesurer le temps avec un chronomètre, la distance x avec une règle et la vitesse instantanée v avec une seule photocellule + horloge placée sur le trajet de la masse m.

- Si la vitesse angulaire à un instant quelconque est ω , on peut écrire :

vitesse du cache $V = \omega L$ et vitesse de la masse m $v = \omega r$

- L'application du théorème du moment cinétique donne sans

difficulté : $\frac{d\omega}{dt} = \frac{g/r}{1 + \frac{J}{mr^2}}$ donc $\omega = \frac{g/r}{1 + \frac{J}{mr^2}} t$

- On effectue donc les mesures suivantes :

x	t	V
...	...	...

Exploitation

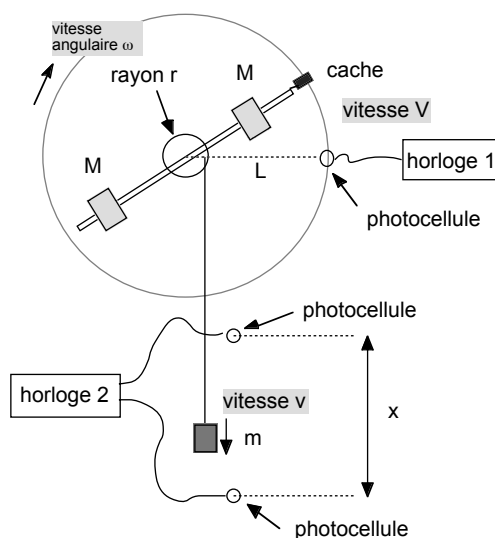
- 1) Relation fondamentale de la dynamique : on trace $x = f(t^2)$, on détermine l'accélération a de la masse m (ou l'accélération angulaire), on compare au modèle.
- 2) Conservation de l'énergie : on trace $V^2 = f(x)$ (ou $\omega^2 = f(x)$), on compare au modèle.
- 3) Influence des paramètres : on change J...etc.

4. Le gyroscope

Étude qualitative : direction fixe, couple gyroscopique, mouvements de précession et de nutation...

Étude quantitative : mesure du couple gyroscopique en fonction de la vitesse de précession pour une vitesse du gyroscope fixée. On tracera des courbes.

⇒ Voir document.



5. La table à coussin d'air

5.1 Principe d'inertie

Deux mobiles rigidement reliés, à partir des traces laissées par les deux mobiles on détermine la trajectoire du CI. On fera également une étude dans le référentiel barycentrique.

5.2 Conservation de p

Étude d'un choc élastique, la cible étant au repos.

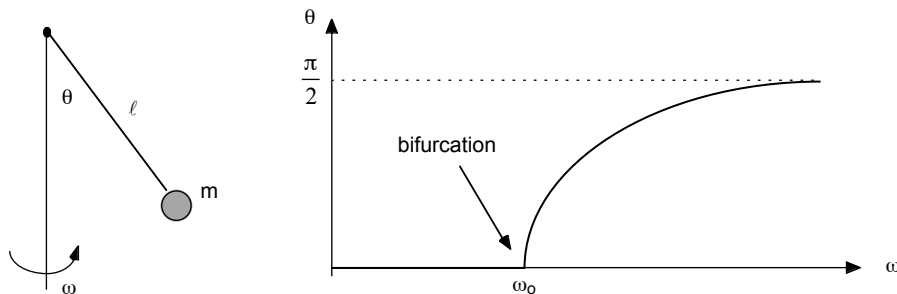
5.3 Loi des aires

⇒ Voir [1].

6. Référentiel non galiléen

1) Le pendule conique (ou système avec gouttière et bille).

On mesure l'angle d'équilibre θ (relatif) pour différentes vitesses angulaires (tachymètre) et on trace $\theta = f(\omega)$ (NB : l'expérience est délicate, surtout pour la mesure de l'angle, mais marche « assez » bien).



On doit vérifier que : $\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{\ell}}$.

On illustre la notion de bifurcation.

2) La surface libre d'un liquide en équilibre relatif dans un récipient tournant avec une vitesse angulaire ω

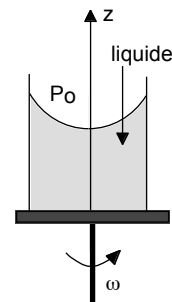
La relation fondamentale de l'hydrostatique s'écrit : $\mathbf{grad}P = \rho(\mathbf{g} + \omega^2 \mathbf{ru})$

avec $\mathbf{u}$ vecteur unitaire radial. L'intégration de cette équation donne :

$$P(r, z) = \frac{1}{2} \rho \omega^2 r^2 - \rho g z + \text{Cte}$$

Or au niveau de la surface libre, $P(r, z) = P_0 = \text{Cte}$ donc la surface libre a pour

équation : $z = \frac{\omega^2 r^2}{2g} + \text{Cte}$ c'est un paraboloïde de révolution, d'axe Oz.



NB : une étude quantitative nécessite l'utilisation d'un camescope suivi d'une exploitation par un logiciel tel synchronie...