

Résistance de l'air

But

- Étudier l'effet du frottement de l'air sur la vitesse d'un objet en chute verticale.
- Étudier la relation entre la masse et la vitesse limite d'un objet en chute verticale.
- Comparer les résultats expérimentaux à deux modèles différents décrivant la force de frottement fluide.

Méthode

À l'aide d'un détecteur de mouvement, enregistrer l'horaire d'un cône en papier en chute verticale.

Manipulations et mesures

- a) Pesez un cône en papier.
- b) Positionnez le cône en papier à une dizaine de centimètres au-dessous du détecteur de mouvement.
- c) Dans l'expérience n° 13 du dossier Physics with Computers du logiciel Logger Pro, cliquez sur le bouton "Collect" pour enclencher le détecteur de mouvement. Quand celui-ci commence à crépiter, lâchez le cône en papier puis éloignez vous du détecteur. Si nécessaire, répétez cette opération jusqu'à obtenir une relation approximativement linéaire sur une partie de votre graphique.
- d) Ajustez une droite de régression linéaire à cette partie de votre graphique puis en déduire la vitesse limite du cône lors de sa chute.
- e) Empilez deux cônes en papier l'un sur l'autre puis répétez les opérations a) à d). Recommencez à nouveau en empilant trois cônes et ainsi de suite.

Modèle théorique du frottement fluide

Un objet qui se déplace dans un fluide, subit de sa part une force de frottement dont le sens est opposé à celui de son déplacement et dont l'intensité dépend de sa vitesse. Pour de faibles vitesses, l'intensité de la force de frottement est proportionnelle à la vitesse :

$$F_f = -bv$$

- F_f : intensité de la force de frottement
- b : un coefficient de proportionnalité
- v : vitesse de l'objet

Le signe négatif indique que le sens de la force est opposé à celui du déplacement.

Pour des vitesses élevées, l'intensité de la force de frottement est approximativement proportionnelle au carré de la vitesse :

$$F_f = -cv^2$$

- F_f : intensité de la force de frottement
- c : un coefficient de proportionnalité
- v : vitesse de l'objet

Analyse des résultats

Dès que l'objet a atteint sa vitesse limite (constante), il découle de la 1^{ère} loi de Newton que la résultante des forces qu'il subit, est nulle. En supposant que les seules forces qui s'exercent sur l'objet durant sa chute sont sa force de pesanteur d'une part et la force de frottement d'autre part, toutes deux ont la même intensité :

$$F_f = F_p$$

Cette égalité permet d'exprimer la relation entre la vitesse limite et la masse de l'objet.

- À faible vitesse, $-bv = mg$ où $v = v_{\text{lim}}$. D'où :

$$v_{\text{lim}} \propto m \quad (1)$$

- À vitesse élevée, $-cv^2 = mg$ où $v = v_{\text{lim}}$. D'où :

$$v_{\text{lim}}^2 \propto m \quad (2)$$

Pour déterminer laquelle de ces deux lois décrit le mieux vos données expérimentales, représentez graphiquement, à l'aide du logiciel Logger Pro, la vitesse limite du cône en fonction de sa masse d'une part, puis le carré de sa vitesse limite en fonction de sa masse d'autre part.

À partir de vos graphiques :

- Déterminez laquelle des deux lois ci-dessus décrit le mieux vos données expérimentales, en justifiant votre réponse.
- Déterminez la valeur numérique du coefficient de proportionnalité (et son unité) apparaissant dans cette loi et expliquez votre méthode pour y parvenir.

Questions

- Comparez l'évolution de la vitesse au cours du temps d'un cône en papier et d'une balle de golf en chute verticale, dans le cas où la résistance de l'air serait inexistante. Tracez qualitativement (mais clairement) l'allure du graphique de leur vitesse en fonction du temps.
- Faites un schéma du cône à un instant de sa chute sur lequel vous représenterez (à la règle) et nommerez toutes les forces qu'il subit avant d'avoir atteint sa vitesse limite.
- Même consigne mais à un instant où le cône a atteint sa vitesse limite.
- Donnez l'expression algébrique du temps de chute t d'un cône en papier en fonction de sa masse m , en supposant qu'il se déplace à sa vitesse limite donnée par la relation (1) ci-dessus, du début à la fin de sa chute.
- Même consigne mais avec la vitesse limite donnée par la relation (2) ci-dessus.
- Considérons un parachutiste qui saute d'un hélicoptère immobile par rapport au sol à une certaine altitude, puis se laisse chuter un certain temps avant d'ouvrir son parachute pour finalement terminer tranquillement son périple comme il se doit, dans un vert pâturage. Représentez qualitativement (mais soigneusement) la vitesse de ce parachutiste en fonction du temps durant tout son parcours, en indiquant sur le graphique l'instant où il ouvre son parachute. La résistance de l'air est bien entendu à prendre en compte !

Conclusion