

Expérience 1

LA MÉTHODE SCIENTIFIQUE : LE PENDULE SIMPLE

I. Introduction et objectifs

Nous savons tous que les séances de laboratoire sont réservées pour analyser les phénomènes et principes physiques. Les premiers scientifiques étudiaient au laboratoire, des phénomènes physiques dans l'espoir de découvrir certaines relations pouvant mener à des principes physiques. Cette méthode *d'essais et erreurs* apportait quelquefois certains résultats. Aujourd'hui, les laboratoires de physique sont utilisés pour appliquer ce qu'on appelle, *la méthode scientifique*. Aucune théorie ou modèle de la nature n'est valide si les résultats prévus ne sont pas conformes avec l'expérimentation.

Plutôt que d'appliquer, de façon hasardeuse, l'approche d'essais et erreurs, les scientifiques préfèrent prédire des phénomènes physiques et de vérifier leurs théories avec des expériences de laboratoire bien structurées. Si les résultats expérimentaux concordent avec les prédictions théoriques, on peut donc considérer cette théorie valide. Nous avons donc une description correcte de certains phénomènes physiques.

La façon d'illustrer la méthode scientifique, dans cette expérience, est de vérifier l'équation de la période d'oscillation (qui vous est donnée). Dans ce processus, vous verrez quelles variables influencent la période du pendule simple et de quelle façon nous pourrons utiliser les relations physiques et les

résultats expérimentaux pour déterminer d'autres paramètres physiques (i.e. l'accélération gravitationnelle).

Objectifs

Après cette expérience, vous serez en mesure :

1. D'appliquer la méthode scientifique afin de vérifier une hypothèse.
2. De savoir comment faire varier les paramètres physiques afin de vérifier une hypothèse.
3. D'apprécier l'utilisation des approximations afin de faciliter les vérifications et l'analyse.

II. Équipements

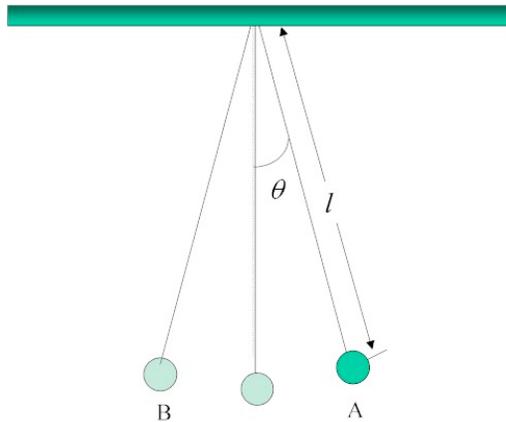
- Billes d'acier, d'aluminium et de bois
- Mètre
- Balances
- Chronomètre
- Support vertical
- Corde
- Rapporteur d'angles

III. THÉORIE

Un pendule est constitué d'une masse attachée à une corde permettant d'osciller autour de la position d'équilibre. Pour un pendule simple (cas idéal), toute la masse peut être considéré comme concentré au centre de la bille (centre de masse).

Voici donc les paramètres physiques dont nous allons analyser au cours de cette expérience:

- la longueur l du pendule;
- la masse m de la bille;
- le déplacement angulaire maximal (l'amplitude) θ_0 ;
- la période T du pendule, qui est définie comme le temps pris par le pendule pour effectuer une oscillation complète (i.e. partir de A à B et revenir à A).



Suite à des observations préliminaires (et à votre expérience) il apparaît évident que la période du pendule croît avec sa longueur l . De quelle façon croyez-vous que les autres paramètres affectent cette période ?

À partir de principes physiques et de notions mathématiques avancées, nous pouvons obtenir l'expression théorique de la période d'oscillation d'un pendule simple:

$$T = 2\pi\sqrt{l/g} \left(1 + \frac{1}{4}\sin^2\frac{\theta_0}{2} + \frac{9}{64}\sin^4\frac{\theta_0}{2} + \dots \right)$$

Équation 1

où g est l'accélération gravitationnelle et les termes entre parenthèses font partie d'une série infinie. Plus nous allons considérer de termes dans le calcul de la période, meilleur sera notre résultat.

Pour des petits angles cependant, ($\theta_0 < 20^\circ$), les termes en θ de cette série deviennent très petits et nous obtenons une bonne approximation avec l'équation:

$$T = 2\pi\sqrt{l/g}$$

Équation 2

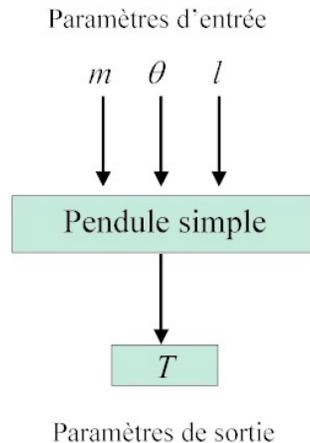
On remarque que, même sans approximation, la période d'oscillation du pendule est indépendante de la masse. Aussi, pour des petits angles cependant, la période est également indépendante de l'amplitude (θ_0).

Il est parfois utile de visualiser un système physique comme étant une boîte noire, avec des paramètres d'entrée et des paramètres de sortie. Le terme paramètre fait référence à tout ce qui est mesurable dans le système physique.

Les paramètres d'entrée sont les variables physiques pouvant **contrôler** ou **influencer** les paramètres de sortie (les quantités physiques qui sont mesurables et qui permettent de décrire l'environnement résultant du système). Mathématiquement, il est utile d'appeler les paramètres d'entrée **variables indépendantes** parce qu'on peut les faire varier de façon indépendante l'une de l'autre. Les paramètres de sortie, de l'autre côté, peuvent être nommés **variables dépendantes**, car leurs valeurs dépendent des

paramètres d'entrée. Il peut arriver, dans n'importe quel système physique, que certains paramètres d'entrée n'influencent presque pas ou pas du tout les paramètres de sortie.

Le schéma ci-dessous illustre bien cette représentation dans le cas d'un pendule simple.



Vous pouvez utiliser cette représentation de boîte noire pour vos expériences futures.

IV. PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE.

1. Vérifiez expérimentalement l'approximation des petits angles (équation 2) ainsi que la prédiction théorique (équation 1) voulant que la période augmente avec des grands angles. Réalisez cela en mesurant la période d'oscillation du pendule pour les angles (position angulaire de départ) indiqués dans le tableau 1, tout en gardant la masse m et la longueur l de la corde constante.

Plutôt que de mesurer le temps d'une oscillation, il est plus précis de mesurer la durée de plusieurs oscillations et de diviser par le nombre d'oscillations afin de déterminer la période moyenne.

Mesurez et notez la longueur du pendule. Cette longueur doit être mesurée jusqu'au centre de la boule. Calculez le pourcentage d'écart de la période pour chaque angle **en utilisant l'équation 2 comme valeur théorique.** (Gardez le signe - ou + selon le cas.)

2. Expérimentons maintenant le fait que la période est indépendante de la masse de la boule. Utilisez les trois masses disponibles et déterminez la période associée à chacune des masses. (Gardez la longueur l constante et utilisez des petits angles.) Notez ces résultats dans le tableau 2.
3. Examinons maintenant la relation entre la longueur et la période du pendule. Utilisez 5 longueurs de corde différentes (i.e. 0,20, 0,40, 0,60, 0,80 et 1,00 m), et déterminez la période moyenne d'oscillation pour chacune des longueurs. (Gardez la masse constante et utilisez des petits angles d'oscillation.) Notez ces valeurs dans le tableau 3.
4. Calculez la période théorique pour chaque longueur de pendule et notez vos résultats dans le tableau 3. Prendre $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.
5. Calculez le pourcentage d'écart entre les valeurs expérimentales et les valeurs théoriques pour chaque longueur de pendule. Notez ces valeurs dans le tableau 3. Tirez une conclusion au sujet de la validité de l'équation 2.

6. L'objet de la procédure expérimentale précédente est de déterminer la validité de l'équation 2, en vérifiant si les résultats expérimentaux concordent avec les prédictions théoriques comme l'exige la méthode scientifique. Si c'est le cas, l'expression théorique pourrait être utilisée pour déterminer expérimentalement d'autres quantités apparaissant dans l'expression. Pour des petits angles, l'équation 2 nous permet de déterminer de façon expérimentale la valeur de g , l'accélération gravitationnelle, en mesurant la longueur du pendule et la période d'oscillation. En élevant au carré les deux côtés de l'équation 2, nous retrouvons:

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{l}{g}$$

Équation 3

Que l'on peut écrire de la façon suivante :

$$l = \frac{g}{4\pi^2} T^2$$

Équation 4

Ainsi, l'équation 4 possède la forme parabolique soit :

$$y = a x^2$$

Équation 5

Par un changement de variable approprié, il est possible de rendre une fonction linéaire. Ainsi avec $y = T^2$ et $x' = l$, nous obtenons une droite, soit $y = mx'$ dont la pente est : $m = 4\pi^2/g$.

7. Tracez T^2 vs l à partir des données expérimentales du tableau 3 (n'oubliez pas les rectangles d'incertitudes), et

déterminez la pente de ce graphique. À partir de cette pente, calculez la valeur expérimentale de g . Notez ces valeurs dans votre rapport de laboratoire et calculez le pourcentage d'écart.

Tableau 1 But : Vérifier l'approximation des petits angles

Masse m _____ \pm _____ g Longueur l _____ \pm _____ m

Amplitude θ_{\max} (°)	Période T (s)		% d'écart
	Expérimentale	Théorique	
\pm	\pm	-----	-----
5			
10			
15			
20			
30			
40			
60			

Tableau 2 But : Vérifier la dépendance de la masse sur la période

Amplitude θ_0 \pm \quad ° Longueur l \pm \quad m

Masse (g)	Période T (s)		% d'écart
	Expérimentale	Théorique	
\pm	\pm	-----	-----

Tableau 3 But : Vérifier la dépendance de la longueur sur la période

Masse m \pm \quad g Amplitude θ_{max} \pm \quad °

Longueur l (m)	Période T (s)		% d'écart
	Expérimentale	Théorique	
\pm	\pm	-----	-----
0,200			
0,400			
0,600			
0,800			
1,000			

V. Rapport

- A. Présentez vos mesures avec incertitudes et vos résultats sous forme de tableaux pour le pendule (tableaux 1, 2 et 3).
- B. Faites un graphique de la période T en fonction de la longueur l . Que remarquez-vous? D'après l'allure de la courbe obtenue, quelle est, selon vous, la relation entre T et l ?
- C. Avec un changement de variable appropriée (sur la variable dépendante), linéarisez la fonction reliant la variable dépendante T et la variable indépendante l . Expliquez de quelle façon vous allez déterminer g .
- D. Faites le graphique approprié et déterminez la pente de ce graphique. À partir de cette pente, calculez la valeur expérimentale de g . Notez cette valeur dans votre rapport de laboratoire et calculez le pourcentage d'écart avec la valeur théorique.
- E. Répondez aux questions de la page suivante.

QUESTIONS

1. Dans cette expérience, nous vous avons suggéré de mesurer le temps de plusieurs oscillations et de déterminer la période moyenne plutôt que mesurer le temps d'une seule oscillation. Pourquoi?
2. Justifiez l'incertitude que vous avez associée à la période.
3. La variation de la période d'oscillation du pendule avec l'angle, tel que décrit par l'équation 1, peut ne pas apparaître évidente. Afin de comprendre pourquoi, écrivons cette équation de la façon suivante :

$$T = T_1 \left(1 + \frac{1}{4} \sin^2 \frac{\theta_0}{2} + \frac{9}{64} \sin^4 \frac{\theta_0}{2} + \dots \right)$$

Équation 6

et calculez T en termes de T_1 pour des angles de 5° , 20° et 60° . Commentez à partir de vos résultats théoriques et de la précision des résultats expérimentaux (tableau 1).

4. La résistance de l'air est-elle une source d'erreur fortuite ou systématique? Expliquez.
5. Thomas Jefferson suggéra qu'un pendule simple pouvait être utilisé comme **étalon** pour l'unité de longueur. Quelle devrait être alors la longueur associée à un pendule de type **2-secondes** ?

6. Si le pendule **2-secondes** était utilisé sur la Lune, quelle serait alors sa période?