

## EXERCICES

- Déterminer la position d'équilibre initiale du pendule de torsion.
- Enregistrer l'oscillation du pendule de torsion autour de la position d'équilibre finale et déterminer la durée d'oscillation.
- Déterminer la position d'équilibre finale.
- Calculer la constante de gravitation  $G$ .

## OBJECTIF

Mesurer la force de gravité et déterminer la constante de gravitation avec la balance de torsion de Cavendish

## RESUME

Un pendule de torsion sensible sur lequel est monté une paire de petites sphères en plomb constitue le cœur de la balance de torsion de Cavendish. Ces petites sphères sont attirées par une paire de grosses sphères en plomb. C'est pourquoi la position des grandes sphères détermine la position d'équilibre du pendule de torsion. Lorsque les grosses sphères sont placées dans une deuxième position, symétrique par rapport aux petites masses, le pendule de torsion, après une phase d'oscillation de transition, prend une nouvelle position d'équilibre. Les deux positions d'équilibre et les dimensions géométriques de l'agencement permettent de déterminer la constante de gravitation. L'équilibre entre la force de gravitation et le couple de rappel du fil de torsion est un élément essentiel. Les oscillations du pendule de torsion sont mesurées avec un capteur différentiel capacitif qui supprime la majeure partie du bruit et des vibrations du signal. Le fil de tungstène du pendule est choisi si fin que l'oscillation du pendule ne dure que quelques minutes, permettant ainsi d'observer plusieurs oscillations autour de la position d'équilibre en l'espace d'une heure.

## DISPOSITIFS NECESSAIRES

Nombre	Appareil	Référence
1	Balance de torsion de Cavendish	1003337
1	Diode laser rouge de précision	1003201
1	Socle de serrage, 1000 g	1002834
1	Noix universelle	1002830
1	Tige statif, 100 mm	1002932
<b>En plus recommandé</b>		
1	Pied à coulisse, 150 mm	1002601
1	Balance électronique 5000 g	1003434

## GENERALITES

Au cours de la mesure expérimentale des forces de gravitations entre deux masses, toutes les masses environnantes exercent une influence perturbatrice. On peut quasiment surmonter ce problème avec la balance de torsion de Cavendish, car dans ce cas on effectue deux mesures avec des positions symétriques des masses.

Un pendule de torsion sensible sur lequel est monté une paire de petites sphères en plomb constitue le cœur de la balance de torsion de Cavendish. Ces petites sphères sont attirées par une paire de grosses sphères en plomb. C'est pourquoi la position des grandes sphères détermine la position d'équilibre du pendule de torsion. Lorsque les grosses sphères sont placées dans une deuxième position, symétrique par rapport aux petites masses, le pendule de torsion, après une phase d'oscillation de transition, prend une nouvelle position d'équilibre. Les deux positions d'équilibre et les dimensions géométriques de l'agencement permettent de déterminer la constante de gravitation. L'équilibre entre la force de gravitation et le couple de rappel du fil de torsion est un élément essentiel. La force de gravitation est fournie par

$$(1) \quad F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

$G$  : constante de gravitation,  
 $m_1$  : masse d'une petite sphère en plomb,  
 $m_2$  : masse d'une grande sphère en plomb,  
 $d$  : écart entre une petite et une grande sphère dans la position de mesure

Elle dévie le pendule de torsion de sa position zéro lorsque les grosses sphères se trouvent en position de mesure. Pour le couple de rotation déviant, on a

$$(2) \quad M_1 = 2 \cdot F \cdot r$$

$r$  : distance entre la petite sphère et le système d'accrochage du fléau  
 La déviation du pendule de torsion de l'angle  $\varphi$  entraîne l'action du couple de rotation de rappel

$$(3) \quad M_2 = D \cdot \varphi$$

$D$  : référence angulaire du

fil fin de tungstène auquel est accroché le fléau du pendule de torsion. Dans la position d'équilibre,  $M_1$  et  $M_2$  coïncident. La référence angulaire  $D$  peut être déterminée avec la durée d'oscillation  $T$  pendant laquelle le pendule oscille autour de sa position d'équilibre.

$$(4) \quad D = J \cdot \frac{4\pi^2}{T^2}$$

Le moment d'inertie  $J$  est alors composé du moment d'inertie  $J_1$  des deux petites sphères en plomb et du moment d'inertie  $J_K$  du fléau

$$(5) \quad J = 2 \cdot m_1 \cdot r^2 + \frac{m_b}{12} \cdot (a^2 + b^2)$$

$m_b$  : masse du fléau  
 $a, b$  : longueur et largeur du fléau.

Deux positions de mesure symétriques, comportant deux angles de déviation  $\varphi$  et  $\varphi'$  ainsi que deux couples de déviation opposés, sont prévues pour les deux grandes sphères en plomb. L'équilibre résulte de (2) et (3).

$$(6) \quad 4 \cdot F \cdot r = D \cdot (\varphi - \varphi') = D \cdot \Delta\varphi$$

Au cours de l'expérience, les oscillations du pendule de torsion sont mesurées avec un capteur différentiel capacitif qui supprime la majeure partie du bruit et des vibrations du signal. Le fil de tungstène du pendule est choisi si fin que l'oscillation du pendule dure quelques minutes, permettant ainsi d'observer plusieurs oscillations autour de la position d'équilibre en l'espace d'une heure.

Fixé au pendule de torsion, un miroir peut être utilisé pour l'associer à un indicateur de lumière qui permettra de suivre les oscillations à l'œil nu. L'ajustage et le calibrage de la balance de torsion en sont sensiblement facilités.

## EVALUATION

À partir des équations (1), (4), (5) et (6), on obtient :

$$G = \frac{\Delta\varphi \cdot d^2 \cdot \pi^2}{m_2 \cdot T^2} \cdot \left( 2 \cdot r + \frac{1}{12} \cdot \frac{m_b}{m_1} \cdot \frac{a^2 + b^2}{r} \right)$$

Cependant, on n'a pas encore tenu compte de ce que chacune des deux petites sphères en plomb est attirée par la grande sphère éloignée et que, par conséquent, le couple de rotation agissant sur le pendule de torsion est un peu plus petit que celui qui a été calculé jusqu'à maintenant. Il est possible de corriger l'équation (2) sans problème, car on connaît toutes les distances.

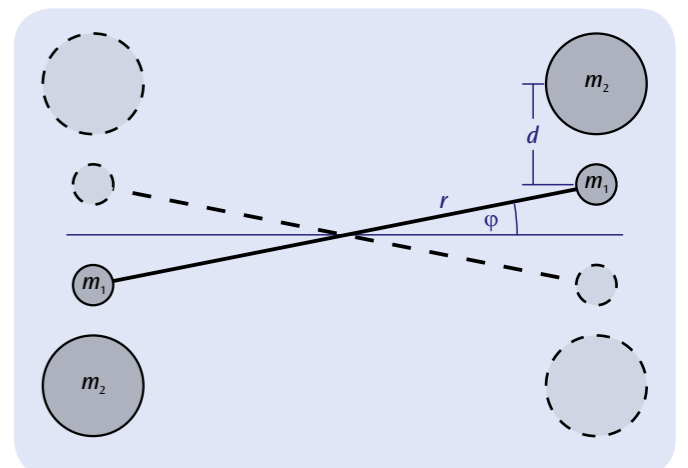


Fig. 1 : Représentation schématique de l'agencement de mesure dans la balance de torsion de Cavendish

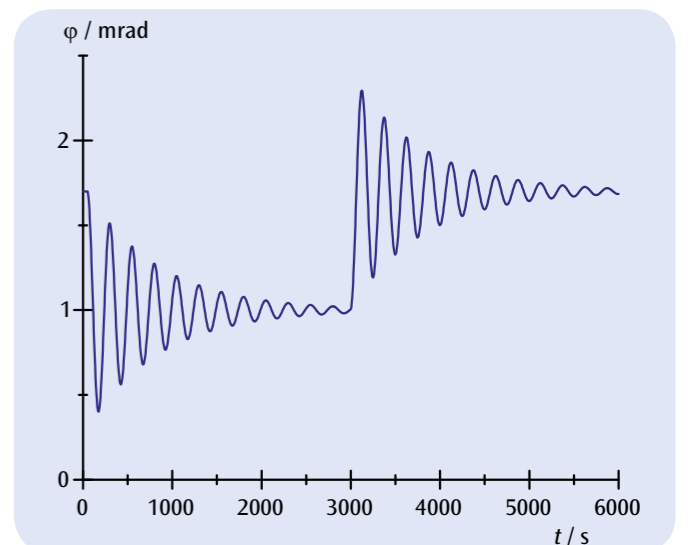


Fig. 2 : Angle de déviation du pendule de torsion en fonction du temps après deux changements de la position de mesure pour les grandes sphères en plomb