

## TAREAS

- Determinación de la posición de equilibrio inicial del péndulo de torsión
- Registro de la oscilación del péndulo de torsión alrededor de la posición de equilibrio final y determinación de la duración de la oscilación.
- Determinación de la posición de equilibrio final.
- Cálculo de la constante gravitacional  $G$ .

## OBJETIVO

Medición de la fuerza gravitacional y determinación de la constante gravitacional con la balanza de torsión según Cavendish

## RESUMEN

El elemento central de la balanza de torsión según Cavendish es un péndulo de torsión muy sensible sobre el cual descansan un par de esferas pequeñas de plomo. Este par es atraído por un par de esferas grandes de plomo. Por lo tanto, la posición de las esferas grandes de plomo determina la posición de equilibrio del péndulo de torsión. Si las esferas grandes de plomo se llevan a una segunda posición de simetría especular con respecto a las masas pequeñas, el péndulo asume la nueva posición de equilibrio después de un proceso de acoplamiento oscilatorio. Partiendo de las dos posiciones de equilibrio y de las dimensiones geométricas de la configuración se puede determinar la constante gravitacional. El equilibrio entre la fuerza gravitacional y el momento angular de restitución del hilo de torsión es determinante en el proceso. Se miden las oscilaciones del péndulo de torsión con un sensor diferencial capacitivo, el cual suprime lo más posible las componentes de vibración y ruido de la señal. El alambre de tungsteno del péndulo de torsión se ha elegido muy delgado para que el tiempo de oscilación del péndulo de torsión se encuentre en pocos minutos, para que en menos de una hora se puedan observar varias oscilaciones alrededor de la posición de equilibrio.

## EQUIPO REQUERIDO

Número	Aparato	Artículo N°
1	Balanza giratoria de Cavendish	1003337
1	Diodo láser, rojo	1003201
1	Base con orificio central 1000 g	1002834
1	Nuez universal	1002830
1	Varilla de soporte, 100 mm	1002932
<b>Recomendado adicionalmente</b>		
1	Pie de rey, 150 mm	1002601
1	Balanza electrónica 5000 g	1003434

## FUNDAMENTOS GENERALES

Durante la medición de fuerzas gravitacionales entre dos masas en un experimento de laboratorio, las masas que se encuentran alrededor tienen una influencia perturbadora. Con la balanza de torsión según Cavendish se evita esta perturbación, porque se realizan dos mediciones en dos posiciones especulares de las masas.

El elemento central de la balanza de torsión según Cavendish es un péndulo de torsión muy sensible sobre el cual descansan un par de esferas pequeñas de plomo. Este par es atraído por un par de esferas grandes de plomo. Por lo tanto la posición de las esferas grandes de plomo determina la posición de equilibrio del péndulo de torsión. Si las esferas grandes de plomo se llevan a una segunda posición de simetría especular con respecto a las masas pequeñas, el péndulo asume la nueva posición de equilibrio después de un proceso de acoplamiento oscilatorio. Partiendo de las dos posiciones de equilibrio y de las dimensiones geométricas de la configuración se puede determinar la constante gravitacional. El equilibrio entre la fuerza gravitacional y el momento angular de restitución del hilo de torsión es determinante en el proceso.

La fuerza de gravitación se expresa como

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

$G$ : Constante de gravitación,

$m_1$ : Masa de una esfera de plomo pequeña,

$m_2$ : Masa de una esfera de plomo grande,

$d$ : Distancia entre una esfera pequeña y una grande en la posición de medición

Esta fuerza desvía el péndulo de torsión de su posición cero cuando las esferas de plomo grandes se encuentran en la posición de medición. El momento angular que desvía se expresa como

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

$r$ : Distancia de la esfera de plomo pequeña hasta la suspensión del travesaño soporte

Si se le da al péndulo de torsión una desviación angular  $\varphi$ , actúa el momento angular de restitución

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

$D$ : Constante de restitución angular del alambre de tungsteno del alambre delgado de tungsteno, del cual está suspendido el travesaño soporte del péndulo de torsión. En la posición de equilibrio  $M_1$  y  $M_2$  concuerdan.

La constante de restitución angular  $D$  se puede determinar a partir del período de oscilación con el cual el péndulo de torsión oscila en la posición de equilibrio.

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

Siendo que el momento de inercia  $J$  se compone de, el momento de inercia  $J_1$  de las dos esferas de plomo pequeñas y el momento de inercia  $J_k$  del travesaño soporte

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

$m_B$ : Masa del travesaño soporte

$a, b$ : Ancho y longitud del travesaño soporte.

Para las dos esferas de plomo grandes están previstas dos posiciones de medición de simetría especular para las cuales se tienen dos ángulos de desviación  $\varphi$  y  $\varphi'$  así les corresponden dos momentos angulares de desviación, iguales y de sentido contrario. De (2) y (3) se deduce por lo tanto que en equilibrio

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

En el experimento se miden las oscilaciones del péndulo de torsión con un sensor diferencial capacitivo que suprime lo más posible las componentes de ruido y vibración de la señal. El alambre de tungsteno del péndulo de torsión se ha elegido muy delgado para que el tiempo de oscilación del péndulo de torsión se encuentre en pocos minutos, para que en menos de

una hora se puedan observar varias oscilaciones alrededor de la posición de equilibrio.

Un espejo fijado en el péndulo de torsión puede ser utilizado para el montaje de un índice de luz, el cual hace que se puedan seguir las oscilaciones fácilmente con los ojos. De esta forma se hace más sencilla la calibración de la balanza de torsión.

## EVALUACIÓN

De las ecuaciones (1), (4), (5) y (6) y después de transformar se obtiene:

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

Aquí todavía no se ha tenido en cuenta que cada una de las esferas de plomo pequeñas es atraída por la esfera grande más lejana y hace que el momento angular sea más pequeño que como ha sido calculado hasta ahora. Una corrección correspondiente de la ecuación (2) es posible sin problemas, porque todas las distancias son conocidas.

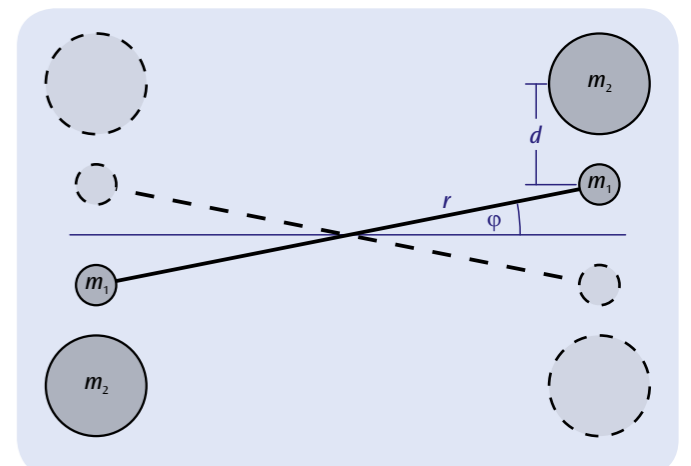


Fig. 1: Representación esquemática para la disposición de medición en la balanza de torsión según Cavendish

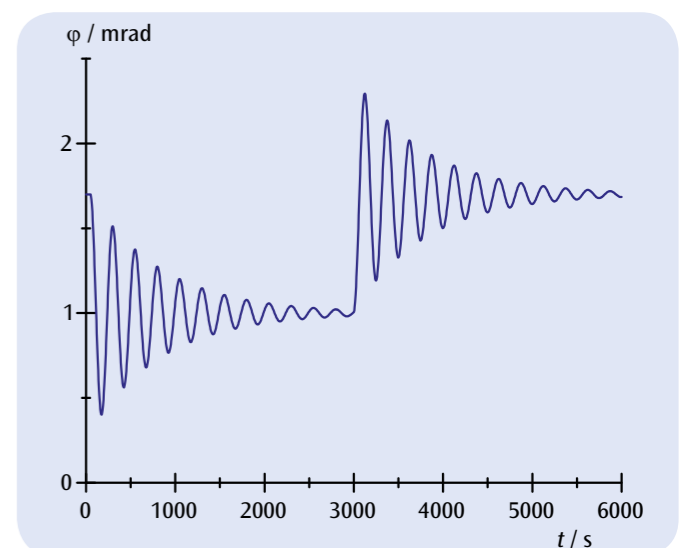


Fig. 2: Ángulo de desviación del péndulo de torsión en dependencia del tiempo habiendo cambiado dos veces la posición de medición para las esferas de plomo grandes