

Guía del experimento de la "rueda de inercia"

A) Introducción al experimento

Dos discos acoplados, de diferentes materiales, radios y masas, pueden girar alrededor de un eje horizontal que coincide con sus ejes de simetría. Una cuerda, envuelta alrededor del borde exterior de uno de ellos, tiene un peso atado en el extremo, lo que provoca el movimiento de rotación de los discos. El objetivo del experimento es familiarizar al alumno con las magnitudes cinemáticas y dinámicas asociadas a los movimientos de rotación como el torque, la aceleración angular y el momento de inercia, así como medir estas cantidades y comparar los valores obtenidos con los esperados por un modelo físico. Este modelo deberá describir tanto la rotación de los discos como la traslación del peso, por lo que habrá que tener en cuenta las masas, dimensiones y posiciones de los componentes que afectan a estos movimientos, qué fuerza actúa (o qué fuerzas) para que el sistema gire, y la relación entre la aceleración angular de los discos y la aceleración lineal del peso.

B) Procedimiento de análisis

B1. Tienes que ver los videos del experimento disponibles en la pestaña *Videos* (accesible desde la pestaña *Filmes e Quadros*). Reflexiona sobre lo que sucede con el movimiento de los discos, cuando se atan diferentes masas en el extremo de la cuerda. ¿Y qué cambia cuando la única diferencia es el disco en el que se enrolla la cuerda, si los discos tienen radios diferentes? Intenta analizar la cantidad física que provoca esta diferencia de comportamiento en el movimiento del conjunto. Escribe tus reflexiones para compararlas con los resultados obtenidos en la elaboración del informe.

B2. Anota los valores y desviaciones estándar de todos los parámetros del conjunto de imágenes que se te asignaron: diámetros y masas de los discos, masa del peso suspenso y su respectivo brazo de palanca. Esta información está disponible en la pestaña *Filmes e Quadros*.

B3. A partir de las lecturas del conjunto de imágenes que se te asignaron, inicia a cargarlos a una planilla con los instantes del tiempo t_i (e segundos) y las posiciones angulares θ_i (en grados) del radio-vector de referencia marcado en el disco, para cada imagen i . Con el fin de minimizar los errores debidos al tiempo finito de registro de imágenes por parte de la filmadora¹, es necesario leer las posiciones angulares del radio que siempre está en la misma región.

Ten en cuenta que hay cuatro rayos dibujados en el disco. Elige uno de ellos como radio de referencia, en relación con el cual hay un radio girado a 90° , otro, 180° y el último a 270° . Lee siempre el radio que se encuentra en el intervalo $45 \leq \theta \leq 135^\circ$, y transfórmalo a la posición del radio de referencia agregando 90° , 180° o 270° , según corresponda; probablemente sea más fácil elegir como radio de referencia el que está en ese rango de lectura en las primeras imágenes. Recuerda que también tienes que sumar el ángulo correspondiente al número n de vueltas enteras dadas por el radio-vector de referencia, $\theta_i = \theta + n \cdot 360^\circ$.

También puedes consultar el documento “*Guia de Leitura do Raio-vetor*” y “*Guia de Leitura das Posições Angulares*”, disponible en el menú *Guias Auxiliares*.

B4. De la tabla construida en el ítem **B3**, calcula la velocidad angular media en función del tiempo. Dado que el intervalo de tiempo entre imágenes sucesivas es siempre el mismo, la velocidad angular media entre t_{i-1} e t_{i+1} es aproximadamente igual a la velocidad angular instantánea en el instante t_i . Por lo tanto, adopta:

¹ Las imágenes se obtuvieron en modo de escaneo progresivo (OS, de *progressive scan*), en el que la filmadora registra las intensidades de luz de los píxeles en líneas, empezando por la parte más alta del cuadro hasta la parte inferior. La velocidad de disparo es el número de imágenes archivadas por unidad de tiempo, por lo que hay una diferencia en el tiempo de grabación desde la última hasta la primera línea del cuadro igual a la inversa del número de imágenes grabadas por segundo. Este experimento se rodó a 240 fps (*frames per second*), por lo que esta diferencia de tiempo es de aproximadamente 4 ms.

$$\omega(t_i) = \bar{\omega}(t_{i-1}, t_{i+1}) = \frac{\theta_{i+1} - \theta_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (1)$$

donde θ corresponde a la posición angular del radio-vector de referencia, t al instante del tiempo e i al número de imagen. Ten en cuenta que no es posible calcular la velocidad en los instantes de tiempo en los que se tomaron la primera y la última imagen.

B5. Construye el gráfico de la velocidad angular en función del tiempo, $\omega(t_i)$, y determina la línea de tendencia para encontrar los coeficientes que mejor representen el conjunto de puntos. Nota que la pendiente corresponde a la aceleración angular α . No olvides incluir las barras de incertidumbre en el gráfico e identificar las cantidades de la abscisa y la ordenada, incluidas sus unidades: presta atención a las unidades.

B6. Determina la desviación estándar de la aceleración angular **experimental**, α_e , por la fórmula:

$$\sigma_\alpha = \frac{\sigma_\omega \sqrt{12}}{T\sqrt{N}} \quad (2)$$

donde T es el intervalo de tiempo total durante el cual se determinaron las velocidades, N el número de puntos experimentales y σ_ω la incertidumbre de la velocidad angular, que debe estimarse por propagación. Si es necesario, consulta el documento “*Roteiro para Cálculo de Incertezas*”, disponible en el menú *Guias Auxiliares*.

B7. Modelo teórico. Para construir un modelo físico para el sistema, resuelve el problema que se encuentra en la última página de esta guía.

B8. Desviación estándar de la aceleración calculada por el modelo, α_m . Desafortunadamente, la ecuación que relaciona α_m con las cantidades que caracterizan al sistema y que se ven afectadas por la incertidumbre (radios de discos y masas de objetos), es un cociente:

$$\alpha_m = \frac{\tau}{J}$$

donde τ es el torque del peso e J incluye todas las contribuciones de los elementos del sistema a su inercia. Dado que la masa y el brazo de palanca del peso aparecen tanto en el denominador como en el numerador, el cálculo de la desviación estándar de la aceleración angular, σ_α , es complicado. Sin embargo, las incertidumbres en el radio del disco más grande, R , y el radio del disco donde cuelga el peso, r , dominan la incertidumbre del resultado, por lo que puedes **ignorar todas las demás incertidumbres**. En el caso de que el peso esté colgando del disco menor, ignora también la contribución de la desviación estándar de r en la desviación estándar de J , a fin de utilizar la fórmula de propagación para el cociente de dos cantidades. Cuando el peso cuelga del disco más grande, la incertidumbre depende solo del radio R de ese disco, así calcula

$$\sigma_\alpha = \left| \frac{\partial \alpha}{\partial R} \right|_{\hat{R}} \sigma_R$$

donde \hat{R} es el valor medido del radio del disco mayor. Esta derivada se puede calcular tanto analítica como numéricamente.

B9. Compara los resultados de las aceleraciones angulares experimentales y esperadas. **Pero ten cuidado** de verificar que las unidades y signos de la aceleración angular experimental y teórica correspondan a ángulos medidos en las mismas unidades y en sistemas de referencia igualmente orientados;

C) Procedimiento de preparación del informe

Redacta un informe para un público que no conoce el experimento ni los procedimientos de análisis, pero que tenga conocimientos en Física. Describe lo que se hizo, formula la conclusión y explica cómo se obtuvo. Trata de ser claro, objetivo y sintético, usa tus propias palabras. Cada grupo debe presentar un único informe, con las siguientes secciones:

C1. Identificación: Escribe los nombres de los miembros del grupo (o solo el tuyo, si trabajaste individualmente) e identifica el conjunto de imágenes analizadas.

C2. Introducción: Presenta una breve introducción que contenga la situación física y el propósito del experimento, con tus propias palabras.

C3. Descripción del experimento (modelo lingüístico): Describe sintéticamente el aparato experimental, sin olvidar de mencionar los principales dispositivos y componentes usados, así como sus características.

C4. Análisis de datos: Explica el comportamiento de la velocidad angular a partir de los elementos que se pueden graficar (explora el significado de los tramos crecientes o decrecientes y los puntos máximos o mínimos, correlacionándolos con un análisis cualitativo del movimiento de la rueda de inercia).

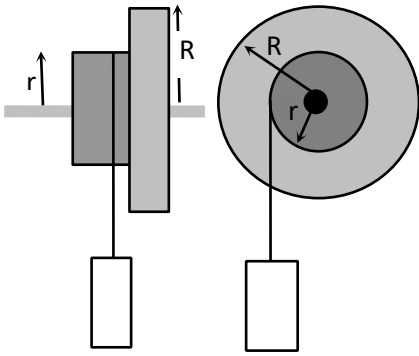
C5. Resultados obtenidos: presenta la tabla que contiene los datos brutos de tiempo y posición angular (ítem **B3**) y los valores calculados de velocidad angular (ítem **B4**). Incluye el gráfico de la velocidad angular en función del tiempo con la línea de tendencia (ítem **B5**). Presenta los valores finales de α y a_m con sus respectivas desviaciones estándar, así como la evaluación de la compatibilidad entre el valor experimental y el calculado por el modelo. Asegúrate que has expresado los valores de las cantidades en unidades apropiadas y con los números adecuados de dígitos significativos.

C6. Discusión: Discute si el resultado obtenido está de acuerdo o en desacuerdo con lo esperado por el modelo físico elaborado. El modelo incluyó u omitió cada una de las siguientes propiedades:

1. fricción con el eje;
1. la masa de la cuerda;
2. la elasticidad de la cuerda;
3. el equilibrio del peso
4. La contribución de la masa del peso a la inercia del movimiento
5. otros factores que te puedas imaginar.

Elije los que consideres más importantes y discute si incluirlos o ignorarlos fue relevante para el acuerdo o desacuerdo con el valor experimental de la aceleración angular. Propone explicaciones, basadas en modelos físicos, que apoyen tu discusión.

C7. Conclusión: Vuelve a la introducción, considera las reflexiones del ítem **B1**, presta atención al objetivo del experimento y comenta si se logró en su totalidad, parcialmente o no, y por qué.



Problema: Como medir o momento de inércia de um corpo rígido.

A figura ao lado mostra uma polia formada por dois discos acoplados que podem girar sem atrito em torno de um eixo horizontal que passa pelos centros dos dois. O menor dos discos possui raio r_A e massa m_A e o outro, raio r_F e massa m_F .

Um fio, cuja espessura e massa devem ser ignoradas, é fixa e enrolada na borda de um dos discos, e um peso de massa m é pendurado na sua extremidade, portanto a uma distância $r = r_A$ ou $r = r_B$ do eixo de rotação. Em um determinado instante, a polia é liberada para girar.

Use g para a aceleração local da gravidade e responda às questões abaixo.

- Faça os diagramas de corpo livre do bloco e da polia, durante o movimento. Defina as coordenadas que usará no equacionamento do problema.
- Escreva as equações de movimento para a translação e a rotação.
- Encontre a relação entre as acelerações do bloco e da polia.
- Resolva as equações de movimento e encontre uma expressão para a aceleração angular dos discos.
- Determine o momento de inércia da polia.
- Determine, usando os dados do sistema filmado, o valor numérico da aceleração angular do disco de acordo com este modelo, α_m . Anote claramente as unidades desse resultado.