

Guía Práctica Unidades 5A-5B

1. Introducción

En la Unidad 5A-5B estudiaremos las oscilaciones de un péndulo físico, tanto cuando está en ausencia de roce como cuando el roce es importante. El objetivo fundamental es iniciar el estudio de movimientos periódicos, en particular el Movimiento Armónico Simple (MAS) y el Movimiento Armónico Amortiguado. Buscamos que sean capaces de identificar la amplitud, fase, frecuencia angular y constante de fase de un MAS y la constante de atenuación de un movimiento amortiguado. En particular se busca que apliquen estos conceptos al movimiento de un péndulo físico.

Primero estudiaremos la posible variación del período de un péndulo físico con la amplitud y largo. Para ello utilizaremos en efecto un péndulo físico compuesto por una barra homogénea de longitud $2L = 0,6m$, y una barra del mismo material pero largo L cruzada a la primera (esta última la denominaremos cruceta). Es decir, tenemos una especie de T sujeta cerca de su extremo por un eje fijo en torno al cual el sistema podrá girar libremente. El sistema es idéntico al usado en la unidad 4B. Como segunda parte se estudiará el movimiento de oscilaciones amortiguadas del péndulo físico cuando hay roce en el eje de rotación.

Para llevar a cabo este experimento, utilizaremos de nuevo una cámara web para filmar el movimiento del péndulo. Utilizando ImageJ buscamos que ustedes midan la evolución temporal del ángulo ϕ que forma el péndulo con respecto a la vertical.

A estas alturas del semestre nos parece importante recalcar algunos conceptos básicos sobre la medición de cantidades experimentales:

1. Cuando uno mide una cantidad física una gran cantidad de veces, utilizamos el valor medio (promedio) de todas las medidas como un buen estimador de la cantidad física que realmente queremos medir, de este modo evitamos que nuestras mediciones estén dominadas por errores experimentales. Por otro lado, una buena medida del error aleatorio de nuestra medición está dado por la desviación estándar de las mediciones (σ).
2. Antes de realizar cualquier tipo de medida, es importante conocer el/los instrumentos que vamos a utilizar y estimar el error probable de las medidas realizadas. Por ejemplo, si utilizamos una regla graduada, muchas veces la incerteza de una medición de longitud es similar al intervalo entre las marcas más pequeñas (a menudo 1 mm). Al utilizar un reloj analógico con segundero el error de cualquier medición es probablemente del orden de 1s. Al utilizar aparatos más complejos no es tan sencillo estimar a priori el error de cualquier medida, sin embargo esto siempre es posible de hacer durante el proceso de medición. ¿Con qué precisión pueden medir un ángulo con imageJ? ¿Con qué precisión pueden medir una coordenada? Las respuestas a estas preguntas dependen de la forma de realizar las mediciones, incluida luminosidad de la sala, la meticulosidad de los alumnos, y el montaje

experimental. Es muy importante que ustedes entiendan y cuantifiquen la precisión con la cual pueden realizar una medición.

3. Para comparar resultados experimentales con resultados teóricos esperados, podemos simplemente dibujar los datos medidos y calculados en el mismo gráfico. Por otro lado, podemos determinar uno o más parámetros de una curva teórica de modo que se aproxime lo mejor posible a los datos medidos (ajuste de parámetros). En cualquier caso la posible conclusión de si la curva teórica es o no una buena aproximación de las medidas experimentales, dependerá de la comparación entre la diferencia entre teoría y observaciones comparada con la estimación del error de las observaciones. En este caso, el error puede estar dominado por errores aleatorios (σ) o por errores sistemáticos que incluyen elementos tales como aparatos defectuosos o el haber despreciado un fenómeno físico que era relevante para las mediciones (por ejemplo ¿es importante el roce?).

2. Objetivos

- Caracterizar el movimiento periódico de un péndulo físico, en particular la dependencia del período con la amplitud y con el largo.
- Caracterizar el movimiento periódico amortiguado de un péndulo físico, en particular obteniendo la constante de atenuación del movimiento.
- Identificar errores aleatorios y sistemáticos en las mediciones.

3. Materiales

- Prototipo de barra soporte universal.
- Regla de 0.6 m de longitud con rodamiento cerca de un extremo.
- Regla de 0.3 m de longitud (cruceta para formar la T).
- Cámara web y software de visualización.
- Regla y/o transportador.

El montaje experimental es muy sencillo, sólo deberán cambiar la posición de la cruceta para realizar las distintas mediciones. Noten que al variar la posición de la cruceta, varía tanto la posición del centro de masa de la T como su momento de inercia (en este caso en torno al eje de rotación del extremo superior).

4. Experiencias

1. Preliminares

Al inicio de cada experimento es necesario verificar el funcionamiento correcto de los elementos a usar. Hoy deberán medir repetidas veces el período de un péndulo. El objetivo

de esta parte es simplemente probar el equipo y estimar el error con el cual pueden medir dicho período.

Recomendamos comenzar con la T en su configuración más extendida (distancia del centro de masa al eje de rotación.)

En esta experiencia y la siguiente se busca que el roce en el eje afecte poco el movimiento. Para eso deje levemente suelto el perno que afirma el eje y les recomendamos no grabar videos de más de dos o tres períodos de duración.

Para medir el período del péndulo, ustedes grabarán videos con al menos una oscilación completa del péndulo. Para cada configuración experimental la idea es grabar uno o más videos y medir el período cuantas veces sea necesario, llegando idealmente a un error menor a un 10 % en la determinación del período.

Las mediciones serán muy rápidas, ya que simplemente deberán examinar visualmente los videos cuadro a cuadro para encontrar el número de cuadros que corresponde al período. Recuerden que el período corresponde al intervalo de tiempo entre dos fases idénticas del movimiento. La cámara graba 30 cuadros por segundo. En un video ustedes pueden medir el período más de una vez, pero fijándose de que cada medida sea independiente de las demás. Por ejemplo, si filmamos un video durante una fase completa del movimiento ($\Delta t = P$ ó $\Delta\theta = 2\pi$) pueden medir los intervalos de tiempo entre fase $0 - \pi/2$; $\pi/2 - \pi$; $\pi - 3\pi/2$, y $3\pi/2 - 2\pi$. De ese modo obtienen cuatro medidas independientes de $P/4$ de donde pueden obtener un buen valor de P .

Para culminar esta primera experiencia, elijan un ángulo inicial relativamente pequeño (puede ser del orden de $\pi/3$ ó $\pi/6$ rad) y suelten la T desde el reposo grabando su movimiento dos o tres veces. Indique cuantas veces midió el período, el valor medio medido y su desviación standard. No olvide indicar las unidades de todas las cantidades. ¿Cómo se compara el error que ustedes obtienen con el intervalo entre cuadros que graba la cámara?

2. Experiencia 1: Período en función de la posición de la cruceta

Monte la cruceta de la T en **tres posiciones diferentes** de modo de variar la posición de su centro de masa. Recuerden que también cambia el momento de inercia con cada configuración. Elija un ángulo pequeño de la serie medida en la experiencia anterior. Partiendo siempre desde el mismo ángulo inicial con el péndulo en reposo, grabe 3 videos con 2 – 3 oscilaciones cada uno y mida el período. Grafique en Matlab el período medido en función o del largo efectivo del péndulo físico (posición de su centro de masa) junto a su error con el comando errorbar. Adjunte en el mismo gráfico la curva teórica esperada para el péndulo físico que se determina usando la aproximación de pequeñas oscilaciones. Adjunte al informe una copia impresa del gráfico bien rotulado con unidades en a ambos ejes.

3. Experiencia 2: Oscilaciones amortiguadas de la cruceta

Se busca medir el efecto del roce en el movimiento amortiguado. **Para aumentar el efecto del roce, apriete firmemente la tuerca que sujeta al eje de la T.** Apriete de manera que al cabo de unas 6-8 oscilaciones la amplitud de la oscilación haya disminuido a la mitad de la amplitud inicial.

Elija una configuración para la T; puede utilizar cualquiera de las posiciones de la cruceta de la experiencia 2. Soltando desde un ángulo donde valga la aproximación de pequeñas oscilaciones grabe un video de no más de 10 s.

Mida, usando ImageJ el ángulo ϕ que forma el péndulo con la vertical en función del tiempo. Escoja un número de cuadros suficiente de manera que cuando se grafique ϕ versus t se aprecie el movimiento oscilatorio amortiguado con suficiente detalle.

4. Análisis y ajuste del comportamiento teórico

Como se vio en clases, el movimiento oscilatorio amortiguado está descrito por la ecuación

$$\phi = A \exp\left(-\frac{t}{2\tau}\right) \cos(\Omega(t - t_o)).$$

donde

$$\Omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Escriba un programa MatLab que grafique simultaneamente los datos medidos y la curva teórica para valores dados de los parámetros A , T , t_o y τ . El objetivo es que busque los valores de estos parámetros que mejor ajustan los datos medidos.

Para encontrar estas constantes se sugiere:

- mantener fijas (A, τ) y ajustar (T, t_o) ;
- parta considerando poca atenuación con un τ grande ($\tau \sim 50$ s), y una amplitud $\sim 30^\circ$.
- ejecute su programa Matlab probando la mejor combinación (T, t_o) que reproduzca la posición de los tres primeros nodos.
- Una vez logrado el ajuste de los nodos, proceda a ajustar τ y A de modo que la curva teórica pase entre los datos.

Una vez obtenidas las constantes (A, τ, T, t_o) , verifique la consistencia entre ellas utilizando la relación

$$\Omega^2 = \omega_o^2 - \frac{1}{4\tau^2},$$

discutida en el *Material Teórico* de esta unidad. En particular, se espera que con los valores obtenidos de ω y τ , infiera la frecuencia natural y la longitud del péndulo. Comente críticamente sus resultados.