Aula 'Espacio Tocar la Ciencia'

J Güémez
Aula de la Ciencia
Universidad de Cantabria

Junio 22, 2011

Protocolo de Experiencias de Oscilaciones y Ondas

1 Equilibrios: estable, inestable, indiferente

Con la ayuda de un carril de Galileo se pueden ilustrar los conceptos de equilibrio estable, bola en el mínimo, inestable, bola en el máximo e indiferente bola en un plano. (Se utiliza el carril del fusil de Gauss).

Cuando se da una situación en la que la suma de las fuerzas F_k aplicadas sobre un cuerpo es nula $\sum_k F_k = 0$, hay que recurrir a pertubar el sistema para ver si se encuentra en situación de equilibrio estable o inestable.

Utilizar el Buzo de Descartes grande para ilustrar el concepto de equilibrio estable (tubos flotantes) y equilibrio inestable (tubo intermedio).

2 Péndulos

- *Péndulo matemático.* Una bola de plomo colgada de un hilo de pescar. Calcular y medir el período de un péndulo matemático.

  $$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\,.$$

  (Demostrar que la ecuación es dimensionalmente correcta)

- Demostrar que dos péndulos de igual longitud pero con diferentes masas tienen (aproximadamente) el mismo período.

- *Péndulo físico.* (Conectado a un ordenador). Calcular y medir el período de un péndulo físico:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{mL^2/3}{m(L/2)g}} = 2\pi\sqrt{\frac{2L}{3g}}\,.$$

  (Demostrar que es dimensionalmente correcta). Tiene un período menor que el de un péndulo matemático de la misma longitud.

  Péndulo PASCO –barra más dos pesas– conectado a un ordenador: con las dos masas colocadas al extremo de la barra de 34 cm, se comporta como un péndulo matemático, de período 1,2 s. Debe haber 12 s en 10 períodos medidos en la pantalla. Con únicamente la barra, se comporta como péndulo físico, con período de 1 s aproximadamente. Debe haber 10 s para 10 períodos.

- *El tentetieso como un péndulo físico.*

  - Estudiar los dos períodos del tentetieso águila. Para la primera oscilación, la distancia al eje de giro es de unos $l_1 = 6,5$ cm. La distancia entre el punto de apoyo y el centro de gravedad se estima en $d = 1$ cm. Para la oscilación más rápida, la distancia al eje se estima en unos $l_2 = 2,5$ cm.
    Con estos datos

$$T_1 = 2\pi\left(\frac{ml_1^2}{mgd}\right)^{1/2} \approx 1,2 \text{ s}\,.$$

    Para 10 períodos se esperan unos 12 s. Para la oscilación rápida,

$$T_2 = 2\pi\left(\frac{ml_2^2}{mgd}\right)^{1/2} \approx 0,5 \text{ s}\,.$$

- *Péndulo de gravedad variable* (Conectado a un ordenador). Cálcular y medir el período de un péndulo de gravedad variable:

$$T(\alpha) = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g(\alpha)}}\,; g(\alpha) = g\cos\alpha$$

  Cuando $\alpha = 1,31$ rad (75 °), $\cos\alpha = 0,25$ y el período debe ser el doble de cuando el péndulo se encuentra en vertical.

- *Péndulo de torsión.* Para un péndulo de torsión –un muelle unido a una plataforma–, el ángulo es proporcional al torque aplicado.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{k_{\mathrm{T}}}}; \theta = k_{\mathrm{T}}\tau\,.$$

- *Tubo oscilante en fluido.* Tubo lastrado con plomos que oscila en cubeta con agua. Oscilaciones amortiguadas.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{A\rho g}{m}}\,,$$

  donde A es la sección del tubo, ρ es la densidad del líquido y m la masa del conjunto tubo más plomos. (Probar que la ecuación es dimensionalmente correcta)

- Péndulos resonantes.

  - *Péndulos resonantes débilmente acoplados.* Tres péndulos matemáticos cuelgan de la misma barra. Dos tienen la misma longitud y el tercero no. Cuando oscila uno de los del par, ambos terminan por oscilar.
  - *Péndulo de Wilbeforce.* Péndulo de muelle y péndulo de torsión. Acoplamiento entre los modos de oscilación y los modos de torsión.

3 Ley de Hooke

- *Péndulo de resorte.* Con muelles verticales. Se mide la constante elástica de un muelle con la ayuda de un dinamómetro (de $F = 2$ N) y de una regla (de $L = 1$ m). Se mide la longitud del muelle en ausencia de fuerzas y con la ayuda del dinamómetro y la regla se obtienen fuerza y elongación y de ahí la constante k del muelle. Esta constante se utiliza luego en diferentes experimentos.

  Si se coloca un peso mg, y se hace oscilar, el período de oscilación viene dado por

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}\,.$$

  (Demostrar que esta ecuación es dimensionalmente correcta).

  El fabricante de los muelles proporciona los valores de $k_{\mathrm{R}} = 10$ N m^{-1} para el muelle rojo, $k_{\mathrm{A}} = 20$ N m^{-1} para el muelle azul, $k_{\mathrm{V}} =$

40 N m^{-1} para el muelle rojo. Puesto que el soporte tiene $h = 0,5$ m de altura, se debe utilizar el verde. Con los datos proporcionados, con una peso de $m = 1$ kg el período de oscilación es de $T = 1$ s. Se esperan 10 s para la medida de 10 períodos.

- Dos muelles horizontales en carril sin rozamiento. El período de oscilación del carrito, masa 500 g, es de

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2k}}\,.$$

  La constante del muelle se estima considerando una longitud en reposo de $l_0 = 5,5$ cm, y que se estira hasta los $l = 34,5$ cm bajo la acción de una fuerza de 2 N, medida con el dinamómetro de 2 N. Se tiene entonces una $k \approx 7$ N m^{-1}. Con este dato, para un carrito de $m = 500$ g se espera un período de oscilación de $T = 1,2$ s y un tiempo de unos 6 s para 5 oscilaciones.

- *Resonancia.* Si el carrito con los dos muelles se fuerza con una fuerza sinusoidal, si la frecuencia de la fuerza es la del carrito, entonces entra en resonancia. Se puede amortiguar con un imán de neodimio, utilizando la Ley de Lenz.

4 Ondas estacionarias transversales

La cuerda [longitud $L = 3$ m, peso, $F = 1,3$ N] tiene una densidad de $\rho_{\mathrm{L}} = 5{\times}10^{-3}$ kg m^{-1}, y se le aplica una fuerza de $F = 2$ N (Esta fuerza puede cambiar). La velocidad de propagación de las ondas es entonces:

$$v = \left(\frac{F}{\rho_{\mathrm{L}}}\right)^{1/2} \approx 20\ \mathrm{m\,s^{-1}}\,.$$

Demostrar que la ecuación es dimensionalmente correcta. Para una distancia $L = 1,2$ m, la frecuencia del primer armónico se espera que se encuentre en

$$\nu_1 = \frac{v}{2L} \approx 8\ \mathrm{Hz}\,.$$

Los siguientes armónicos se encuentran a múltiplos de esta frecuencia.

Se utiliza luz estroboscópica. Se puede utilizar el disco de Newton en movimiento para ver el efecto de la luz estroboscópica.

5 Ondas estacionarias longitudinales

5.1 Ondas en muelles

La velocidad de propagación de las ondas longitudinales en un muelle es:

$$v = \left(\frac{B}{\rho_{\mathrm{L}}}\right)^{1/2} .$$

El coeficiciente B es

$$B = L\left(\frac{\partial F}{\partial L}\right)_T ,$$

o variación relativa de la longitud del muelle bajo tensión (inverso). Tanto la densidad lineal como B se deben medir para el muelle extendido (se pesa el muelle y se divide por la longitud estirado; se estira unos 10 cm y se mide la fuerza necesaria). (Mostrar que la ecuación es dimensionalmente correcta).

La longitud del muelle es la mitad de la longitud de onda del primer armónico. $L = \lambda/2$. Con $v = \nu\lambda$,

$$\nu = \frac{v}{2L} .$$

Para el muelle, se tiene una frecuencia del primer armónico de 3 Hz. A 6 Hz se ve bastante bien el primer nodo central y a 9 Hz se ve bastante bien los dos nodos intermedios.

5.2 Ondas sonoras

La velocidad de propagación del sonido:

$$v_{\mathrm{S}} = \left(\frac{K}{\rho}\right)^{1/2} ,$$

donde

$$K = V\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_S ,$$

En condiciones adiabáticas para un gas ideal $PV^\gamma = \mathrm{C}^{te}$ con $\gamma = 1,4$.

$$v_{\mathrm{S}} = \left(\frac{\gamma P}{\rho}\right)^{1/2} .$$

Densidad del aire $\rho = 1$ kg m^{-3}, $P = 10^5$ Pa,

$$v = \left(\frac{\gamma P}{\rho}\right)^{1/2} \approx 340 \text{ ms}^{-1}\,.$$

Experimento con Helio

Resonancia en diapasones. Resonancia acústica.

6 Cubeta de ondas

Producción de ondas. Mediante una lámina oscilante se producen las perturbaciones en la superficie del agua.

Propagación de ondas. Las ondas se propagan como ondas transversales bidimensionales.

Fenómenos de interferencia. Se producen dos perturbaciones de la misma frecuencia en la superficie del agua. Aquellos puntos a los que llegan dos ondas en fase positiva tienen más altura de agua y una curvatura negativa. Al llegar la luz procedente de arriba, se concentra y el punto se observa como brillante. Aquellos puntos a los que llegan dos ondas en fase negativa tienen menos altura de agua y una curvatura positiva. Al llegar la luz procedente de arriba, se dispersa y el punto se observa como oscuro. Aquellos puntos a los que llegan dos ondas en anti-fase tienen la misma altura de agua y son planas. Al llegar la luz procedente de arriba, no se concentra y el punto se observa como intermedio.

7 Ondas luminosas

Interferencias. Se pueden producir haciendo incidir un rayo láser sobre un espejo, lanzando gotitas de alcohol para visualizar la trayectoria del rayo y viendo que las gotitas depositadas sobre el espejo producen fenómenos de interferencia.

Interferencias.

Una rendija. Cuando un rayo de luz atraviesa una rendija, se produce un patrón de interferencias. Justo detrás de la rendija hay un punto de luz, pero a sus lados hay oscuridad, seguida de puntos más débiles de luz, oscuridad, etc.

Doble rendija. Cuando un rayo de luz atraviesa una doble rendija, en la mancha luminosa que se observaba en el caso de la rendija simple, se observan eb su interior sonas de luz y oscuridad. Lo mismo sucede en los restantes puntos de luz anteriores.