COL·LECCIÓ DE DEMOSTRACIONS DE FISICA

DEMO 93 | **Globos conectados y ley de Laplace**

Autor/a de la ficha	Juan Carlos Jiménez
Palabras clave	Tensión superficial, presión, ley de Laplace
Objetivo	Observar la mayor presión existente en un globo de menor radio en comparación con la menor presión que existe en un globo de mayor radio
Material	Dos globos. Conducto de plástico. Pinzas.
Tiempo de Montaje	1 minuto

Descripción

Tensión superficial y ley de Laplace

Cuando la superficie de un líquido no es plana (por tanto tiene una cierta curvatura), existe una fuerza resultante dirigida hacia la parte cóncava de la curvatura. Esta fuerza es mayor cuanto mayor sea la curvatura, y da lugar a una presión adicional (fuerza por unidad de superficie) en la zona cóncava. Esta sobrepresión se debe exclusivamente a la curvatura de la superficie, y por tanto a la existencia de la tensión superficial. Según la ley de Laplace, la presión en el interior de una superficie esférica es siempre mayor que en el exterior, y esta diferencia de presión (ΔP) aumenta cuando disminuye el radio de la superficie (para una superficie plana, al ser su radio infinito, esta diferencia de presión es nula):

$$\Delta P = P_{\text{int}} - P_{ext} = \frac{n\sigma}{R} \quad (1)$$

donde σ es la tensión superficial (N/m), R es el radio de curvatura (m) y n toma distintos valores dependiendo del sistema a estudiar: $n=2$ para una interfase (por ejemplo una gota de agua en aire) y $n=4$ para dos interfases (por ejemplo una pompa de jabón en aire). La ecuación anterior también se aplica a cilindros (por ejemplo vasos sanguíneos, tuberías, etc.) considerando $n=1$, y también puede generalizarse a otros sistemas con distinto radio.

Fuerzas elásticas: presión en el interior de un globo

Debido a la tensión superficial, la capa superficial de un líquido se comporta de forma parecida a una superficie elástica. Sin embargo, cuando actúan fuerzas elásticas como es el caso de un globo, el mecanismo físico involucrado es distinto y por tanto no puede aplicarse la ley de Laplace tal y como aparece expresada en la Ec. 1. De hecho, los materiales formados por goma (como un globo) tampoco se deforman según la ley de Hooke. Se puede demostrar que a partir de la ecuación de Guth-James la presión en el interior de un globo viene dada por (Merrit & Weinhaus, 1978[*]):

$$\Delta P = P_{\text{int}} - P_{ext} = \frac{C}{R_0^2}\left[\frac{1}{R} - \frac{R_0^6}{R^7}\right] \quad (2)$$

siendo C una constante dependiente de la temperatura, R_0 el radio del globo desinflado y R el radio del globo en un cierto instante. Se puede observar como para $R=R_0$ obtenemos $\Delta P=0$, y por tanto $P_{\text{int}}=P_{\text{ext}}$. Cuando inflamos el globo, se cumple que $R>R_0$ y por tanto $\Delta P>1$, siendo la presión en el interior del globo mayor que la presión en el exterior.

[*]Merritt, D. R., & Weinhaus, F., 1978, “The pressure curve for a rubber balloon”, *Am. J. Phys.* 46, 976-977.

Realización de la demostración

Para realizar la demostración, basta con inflar los dos globos alcanzando un tamaño final (radio) distinto. Se conectan los dos globos mediante el tubo, y se deja fluir el aire desde un globo a otro (se pueden utilizar las pinzas para que los globos no se desinflen durante el montaje, y luego quitarlas para dejar fluir el aire). La intuición puede hacernos pensar que el aire fluirá desde el globo más grande al globo más pequeño, alcanzando una especie de equilibrio final en el que los dos globos acaban con el mismo volumen. Sin embargo lo que ocurre realmente es que en el estado de equilibrio lo que igualan son las presiones. Como la presión en el interior del globo pequeño es mayor que la presión en el interior del globo grande, el aire fluye desde el globo más pequeño al de mayor radio. Este hecho se deduce fácilmente a partir de la ley de Laplace, ya que su dependencia con el radio es 1/R (Ec. 1). Sin embargo, en el caso del globo, la dependencia con R es algo más compleja (Ec. 2). De hecho, la Ec. 2 tiene un máximo en $R=1.38R_0$, indicando que la presión en el interior del globo más pequeño sólo será mayor que la del globo de mayor radio a partir de este límite. Además, para valores de R elevados, $\Delta P \approx 0$ (tanto en la Ec. 1 como en la Ec. 2), por lo que puede darse el caso de que dos globos de distinto tamaño se mantengan en equilibrio sin flujo de aire de uno a otro.

Comentarios y sugerencias

-Conviene insistir en la diferencia entre la tensión superficial que actúa por ejemplo en una pompa de jabón y las fuerzas elásticas que actúan en el caso de un globo inflado. Por lo tanto, en los globos NO existe la tensión superficial que aparece en los fluidos (y no puede aplicarse la ley de Laplace de la Ec. 1), aunque pueden utilizarse como analogía de dos pompas de jabón conectadas entre sí.

-Conviene preguntar antes a los alumnos qué esperan que suceda al dejar fluir el aire de un globo a otro.

-Esta demostración está relacionada con la Demo 63 (Pompas de jabón y ley de Laplace)

Advertencias

-Utilizad las pinzas para cerrar los globos mientras se colocan en el tubo. Hay que asegurarse que el aire realmente fluye de un globo a otro, y no existen pérdidas al exterior.

-Por motivos de higiene, conviene retirar los globos utilizados.