



**DEMO 119**

**Radiómetro de Crookes**



<b>Autor/a de la ficha</b>	Enric Valor i Micó, María Jesús Hernández, Chantal Ferrer Roca
<b>Palabras clave</b>	Radiación electromagnética, absorción, temperatura, teoría cinética, arrastre térmico, conversión de energía
<b>Objetivo</b>	- Mostrar la conversión de energía electromagnética en energía mecánica - Ejemplificar la evolución y confrontación de diferentes teorías que tratan de explicar una observación experimental
<b>Material</b>	- Radiómetro de Crookes - Bombilla halógena con regulador de intensidad
<b>Tiempo de Montaje</b>	Nulo

**Descripción**

*DESCRIPCIÓN DEL APARATO*

El **radiómetro de Crookes** o **molinillo de luz** (*light-mill*) es un dispositivo inventado en 1873 por el científico inglés Sir William Crookes. Consiste en un bulbo de vidrio de unos pocos centímetros de diámetro en el que se ha hecho un vacío parcial hasta una presión de unos 0,05 mm Hg, que contiene cuatro placas o aspas cuadradas equidistantes entre sí sujetas a una campanilla de vidrio invertida que pivota sobre un eje vertical (con el fin de minimizar la fricción). Las placas están pintadas de blanco por un lado y de negro por el otro (ver foto superior).

Al ser expuesto el conjunto a una fuente luminosa visible o infrarroja, el molinillo comienza a girar en el sentido en que se encuentran las aspas blancas con una velocidad de rotación que es proporcional a la intensidad de la fuente luminosa, de modo que el aparato permite hacer una estimación cualitativa de la radiación electromagnética incidente. Además, constituye un ejemplo directo de conversión de energía electromagnética en energía mecánica.

*PROCEDIMIENTO*

Al sacar el radiómetro de la caja, empezará a girar levemente por la luz ambiente (natural o artificial) del aula. Si se tapa la luz incidente con un folio o con las manos, se observa cómo las aspas se detienen. Por otro lado, cuando se ilumina el radiómetro con la luz de la bombilla se observa que se pone en movimiento adquiriendo una velocidad apreciable, rotando en el sentido de las caras blancas, como si las superficies negras fueran empujadas por la luz. Si se modifica la intensidad de la luz, se observa un cambio en la velocidad de rotación del molinillo, siendo ésta proporcional a la intensidad incidente.

*TEORÍAS SOBRE EL COMPORTAMIENTO OBSERVADO*

La explicación de la rotación de este dispositivo ha sido históricamente el motivo de mucha controversia científica, sucediéndose diferentes teorías para explicar el fenómeno.

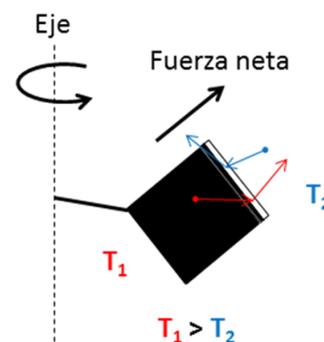
La primera explicación que dio el mismo Crookes, es que la rotación de las aspas era producida por la presión de la radiación incidente sobre las superficies negras, explicación que fue inicialmente aceptada por James C. Maxwell. Este modelo tiene, sin embargo, un problema: la luz incidente sobre las superficies negras debiera ser absorbida, mientras que la luz que incide sobre las superficies blancas debe ser principalmente reflejada. El resultado es que la presión de radiación debiera ser mayor sobre las superficies blancas que sobre las oscuras, de modo que el dispositivo debiera rotar en sentido contrario al realmente observado.

Otra explicación se basaba en el hecho de que las caras oscuras absorben más radiación que las superficies claras al ser iluminadas, cosa que produciría un mayor calentamiento del gas enrarecido cercano a las caras negras aumentando su

presión y generando una mayor fuerza sobre ellas que empujaría el rotor. Maxwell consideró que el calentamiento simplemente produciría una expansión del gas pero no un aumento local de la presión, con lo que ésta se mantendría homogénea en todo el recipiente. Una variación de este modelo consiste en considerar que las moléculas de gas cercanas a las superficies negras adquieren mayor velocidad que las cercanas a las blancas, de modo que al impactar sobre las caras oscuras con mayor velocidad transfieren un mayor impulso generando una fuerza neta que hace girar las aspas. Sin embargo, aunque las moléculas impactan con mayor impulso en la cara oscura también son más eficientes para reducir el número de impactos medio sobre dicha superficie, con lo que ambos efectos se compensan y no se produce ninguna fuerza neta.

Una tercera teoría sugería que el calentamiento producido por la luz vaporizaba gases disueltos en el recubrimiento negro de las caras oscuras, que al fugarse de la superficie propulsaban las aspas y las hacían girar. Sin embargo, si se provoca un vacío suficientemente alto dentro del recipiente del radiómetro, el fenómeno deja de observarse. Esto indica que el fenómeno no es producido por la vaporización de ningún gas disuelto en las aspas, sino que está ligado al gas enrarecido que queda dentro del bulbo después de hacer el vacío parcial. Razones similares hacen descartar la teoría de que las aspas son propulsadas por electrones emitidos mediante el efecto fotoeléctrico.

La explicación que se considera correcta actualmente se basa en el fenómeno conocido como “**arrastre térmico**”, que tiene lugar en los bordes de las aspas y no en su superficie (ver figura 1). La radiación incidente calienta en mayor medida las caras negras que las blancas, pues las primeras tienen una absorptividad mucho mayor que las segundas. Esto hace que el gas cercano a las superficies oscuras tenga mayor temperatura, con lo cual las moléculas procedentes de esta zona tienen mayor velocidad que las que llegan del lado cercano a las superficies blancas. Por ello, las moléculas procedentes del lado más caliente impactan tangencialmente sobre los bordes de las aspas a mayor velocidad moviéndose hacia el lado más frío, lo cual imparte un impulso mayor que las moléculas que proceden de éste último lado y que se desplazan en sentido contrario (las cuales, además, son menos eficientes en reducir los impactos procedentes de la cara oscura). Por ello, el movimiento de las aspas es debido a las fuerzas tangenciales producidas por los impactos de las moléculas sobre los bordes de las mismas, las cuales generan una fuerza neta en el sentido en que disminuye la temperatura. Esta fuerza neta provoca que las aspas se alejen del gas caliente y se dirijan al gas más frío, explicándose de este modo la rotación observada en el aparato. Esta explicación se debe a Osborne Reynolds y James C. Maxwell.



**Figura 1.** - Esquema del fenómeno del arrastre térmico. Se trata de un efecto de borde, en el que las moléculas procedentes del lado de las caras oscuras impactan con mayor velocidad que las procedentes en sentido contrario desde el lado de las caras blancas, transfiriendo un momento neto que hace girar las aspas en el sentido indicado en el dibujo.

**NOTA HISTÓRICA**

William Crookes descubrió el fenómeno del radiómetro por casualidad mientras trabajaba en la medida del peso atómico del talio, elemento que él mismo había descubierto utilizando un espectroscopio. Para realizar sus medidas utilizaba una balanza de precisión situada en una cámara de vacío parcial, en la que introducía muestras de talio tanto calientes como frías. En sus experimentos observó que las muestras calientes parecían pesar menos que las muestras frías. Este fenómeno no podía atribuirse a la existencia de corrientes convectivas en el aire residual presente, que él consideraba insuficiente para producir tal efecto. Tras esta observación, construyó una balanza de cuyos brazos pendían dos pequeñas esferas de un material ligero, introducida en recipientes de vacío parcial. Cuando acercaba un objeto caliente a la parte inferior del recipiente cerca de una de las esferas, ésta se elevaba, mientras que si se acercaba por la parte superior, la esfera caía. A partir de este momento, realizó diferentes diseños entre los cuales se encuentra el radiómetro de esta demostración.

<p><b>Comentarios y sugerencias</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Probar la demo antes de ir a clase para familiarizarse.</li> <li>- Hay que asegurarse de que el molinillo está correctamente colocado sobre su soporte con un contacto mínimo, en caso contrario la fricción evita que se produzca el fenómeno. Puede ser necesario agitar levemente el radiómetro para colocar correctamente el molinillo.</li> <li>- Se sugiere comenzar con la máxima intensidad de la bombilla hasta alcanzar la máxima velocidad de giro posible, y posteriormente reducirla para comprobar cómo se reduce paralelamente la velocidad.</li> </ul>
<p><b>Bibliografía</b></p>	<p>Heckenberg, N. (1996). Crooke’s radiometer and otheoscope. <i>Bull. of the Scientific Instrument Society</i>, vol. 50, 40-42.</p> <p>Wess, J. (2010). Crooke’s radiometers: a train of thought manifest. <i>Notes and Records of the Roy. Soc.</i>, v. 64, 457-470.</p> <p>Woodruff, A.E. (1968). The radiometer and how it does not work. <i>The Physics Teacher</i>, vol. 6, 358-363.</p>

