

CALIBRACION DE LAS TERMOPILAS. INFORMACIÓN IMPORTANTE

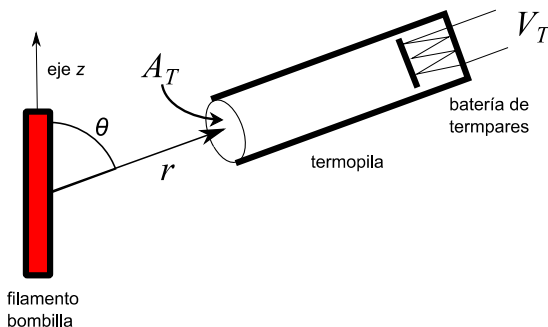
Datos de interés para la práctica del cuerpo negro, y muy especialmente para el montaje del horno- Para el de la bombilla también, pero gran parte de lo dicho aquí se puede obtener con los datos propios medidos por cada alumno.

Se trata de obtener la relación correcta entre la intensidad de radiación detectada por una termopila y el voltaje indicado por ella. De entrada en el guión de prácticas dice que son 0.16 V por cada W de potencia recibida. En la página web de PHYWE dan la relación muy poco concreta entre voltaje e intensidad de radiación como que varía entre 20 y 40 μV por cada W/m^2 de intensidad. Para las termopilas del laboratorio de prácticas hay que decir que la del montaje de la bombilla indica un voltaje al menos el triple que la del horno, las dos enfrentadas a una misma fuente de radiación, en este caso la bombilla.

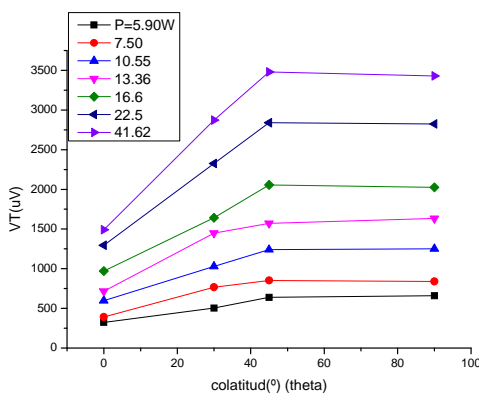
La calibración se ha efectuado en dos pasos, primero se ha determinado 1), la direccionalidad de la radiación de la bombilla y 2) luego se ha usado para obtener la potencia total emitida (según el voltaje indicado por la termopila) y compararla con la potencia eléctrica consumida.

Direccionalidad de la radiación de la bombilla

Se ha usado la bombilla halógena de 12 V. Se trata de medir la intensidad de radiación emitida en distintas direcciones para poder obtener la potencia total emitida. La distancia ha sido siempre $r = 20 \text{ cm}$.



Véase la figura. Se ha medido el voltaje indicado por la termopila para distintas direcciones, representadas por el ángulo polar θ . Se ha supuesto que la intensidad es independiente del ángulo acimutal ϕ . Como era de esperar, la intensidad detectada es menor en la dirección polar ($\theta = 0$), que en la ecuatorial. Las medidas se han realizado para distintas potencias eléctricas suministradas al filamento, obteniendo la gráfica adjunta.



Es decir, que si I_0 es la intensidad polar e I_1 la ecuatorial, para cualquier otra dirección se cumple:

Si $0 < \theta < \pi/4$, $I(\theta) = I_0 + \theta(I_1 - I_0)4/\pi$

Si $\pi/4 < \theta < \pi/2$, $I(\theta) = I_1 = cte$

Y aproximadamente (ver gráfica)

$$I_0 = 0.46 * I_1,$$

aunque varía ligeramente con la potencia total emitida por la bombilla.

La potencia total emitida se obtendrá integrando sobre la superficie de una esfera de radio r:

$$P_m = r^2 \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\pi} I(\theta) \sin\theta d\theta = 4\pi r^2 \int_0^{\pi/2} I(\theta) \sin\theta d\theta =$$

$$4\pi r^2 \left(I_1 \int_{\pi/4}^{\pi/2} \sin\theta d\theta + I_0 \int_0^{\pi/4} \sin\theta d\theta + \frac{4}{\pi} (I_1 - I_0) \int_0^{\pi/4} \theta \sin\theta d\theta \right) =$$

$$4\pi r^2 \left\{ \frac{I_1}{\sqrt{2}} + I_0 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right) + \frac{4}{\pi} (I_1 - I_0) \left[-\frac{\pi}{4} \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{2}} \right] \right\} = 4\pi r^2 (0.900 * I_1 + 0.100 * I_0)$$

En realidad normalmente sólo medimos I_1 , pero según los datos de la figura anterior se puede suponer $I_0 = 0.46 I_1$ y por tanto la potencia total, conociendo la intensidad ecuatorial es

$$P_m = 4\pi r^2 0.95 * I_1$$

Es decir, un poco menor que si la radiación se distribuyera isotrópicamente.

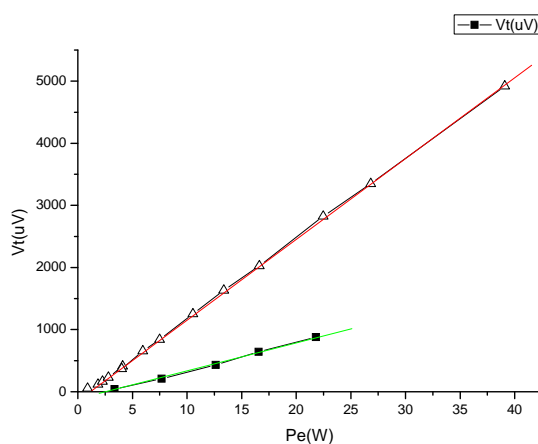
Comparación con la potencia eléctrica consumida

Esta parte se puede realizar con los datos tomados por cada alumno. Vamos a tomar las medidas en la dirección ecuatorial. Lo que queremos es ver si la indicación en voltaje de la termopila es proporcional a la intensidad de radiación recibida, es decir si se cumple:

$$I_1 = A * V_T$$

y queremos determinar la constante A en μV por cada W/m^2 de intensidad de radiación.

En principio se podría pensar que toda la potencia eléctrica consumida por la bombilla es emitida en forma de radiación, pero no lo es así totalmente, ya que una pequeña parte de ella se pierde a la atmósfera por conducción o convección y nunca llega a la termopila. Además la termopila no es sensible a todo el espectro de frecuencias, por lo que otra pequeña parte de la radiación no es detectada.



Podemos representar en una gráfica la señal indicada por la termopila (un voltaje en mV) en función de la potencia consumida por la bombilla (igual a voltaje por intensidad de corriente en ella). Los datos se ajustan bastante bien a una recta que no pasa por el origen, indicando que parte de la potencia consumida no es un poco mayor que la detectada por la termopila (sean cuales sean las unidades con

que se mide), pero el voltaje es muy para la termopila del montaje de la bombilla (triángulos huecos) que para la del horno (cuadrados negros llenos).

Aceptando, como nueva aproximación razonable, que la pendiente de la recta corresponde realmente a la potencia radiada (es decir que la potencia no detectada es constante) tenemos:

a) Para la termopila del montaje de la bombilla:

Pendiente $m = V_T/P_m = 130.35 \mu\text{V}/\text{W}$. Por otro lado la potencia radiada en W es

$P_m = 4\pi r^2 0.95 * I_1$, luego tenemos $m = V_T / P_m = V_T / (4\pi r^2 * 0.95 * I_1)$ o sea

$$I_1 = \frac{V_T}{m(\mu\text{V}/\text{W})4\pi * 0.95 * 0.2^2 \text{ m}^2} = \frac{V_T}{62.25(\mu\text{V}\text{m}^2/\text{W})}$$

b) El mismo cálculo, para la termopila del horno da $m = 45.41 \mu\text{V}/\text{W}$, por tanto la relación entre el voltaje indicado y la intensidad de radiación recibida es

$$I_1 = \frac{V_T}{m(\mu\text{V}/\text{W})4\pi * 0.95 * 0.2^2 \text{ m}^2} = \frac{V_T}{21.68(\mu\text{V}\text{m}^2/\text{W})}$$

Comentarios:

1) En la página Web de PHYWE indica que ese tipo de termopilas dan un voltaje entre 20 y 40 μV por cada W/m^2 de intensidad de radiación recibida. Ese dato es muy impreciso y como vemos la termopila del horno se aproxima al límite inferior de $20 \mu\text{V}\text{m}^2/\text{W}$ mientras que termopila de la bombilla pasa de $60 \mu\text{V}\text{m}^2/\text{W}$.

2) En el guión de prácticas se supone que las dos termopilas son iguales y que la relación entre la potencia recibida y el voltaje indicado es $0.16 \text{ V}/\text{W}$. En realidad ya se ve que son muy diferentes.

La relación con la intensidad total recibida es pues:

a) Termopila de la bombilla: $P_R = I_1 * A_T$, siendo A_T el área de la boca de la termopila de 2.5 cm de diámetro. Es decir $A_T = \pi * 1.25^2 * 10^{-4} \text{ m}^2 = 4.91 * 10^{-4} \text{ m}^2$

$P_R = 4.91 * 10^{-4} \text{ m}^2 * V_T / (62.25 * 10^{-6} \text{ V}\text{m}^2/\text{W}) = V_T * 7.89 \text{ W}/\text{V}$ o bien :

$$V_T = 0.127(\text{V}/\text{W}) P_R$$

b) Termopila del horno:

El mismo cálculo da

$P_R = 4.91 * 10^{-4} \text{ m}^2 * V_T / (21.68 * 10^{-6} \text{ V}\text{m}^2/\text{W}) = V_T * 22.65 \text{ W}/\text{V}$ o bien :

$$V_T = 0.0442(\text{V}/\text{W}) P_R$$