Ley de Stefan-Boltzmann

Balance energético en un filamento de tungsteno.

La potencia eléctrica que se suministra a un filamento se puede calcular como:

$$W_{Elec} = V I$$

donde V es el voltaje en bornes del filamento e I la corriente que lo atraviesa. Esta potencia entregada al filamento es usada en calentar el mismo. Luego de algunos instantes de iniciado el proceso de entregar energía, el sistema alcanzará una determinada temperatura T de equilibrio. En esas condiciones, la potencia eléctrica ya no es usada en calentar el filamento sino que es totalmente disipada hacia el medio ambiente en forma de calor. La conducción de calor hacia el exterior se realiza por:

- conducción,
- convección y
- radiación.

O sea:

$$W_{Cal} = W_{Rad} + W_{Cond} + W_{Conv}$$

El filamento se comporta como un cuerpo negro (o gris) y, entonces, la potencia disipada por radiación W_{Rad} verifica la ley de Stefan-Boltzman:

$$W_{Rad} = A_s (T^\alpha - T_{amb}^\alpha)$$

donde T_{amb} es la temperatura ambiente, T es la temperatura del filamento y $\alpha > 1$ es un exponente conocido que se desea determinar.

Mientras tanto, W_{Cond} y W_{Conv} dependen linealmente de la diferencia de temperatura entre el filamento y el ambiente:

$$W_{Cond} + W_{Conv} = hA(T - T_{amb})$$

En estas ecuaciones A_s y hA , pueden considerarse simplemente como factores de proporcionalidad.

Como consecuencia tendremos que, en equilibrio:

$$W_{Elec} = VI = A_s (T^\alpha - T_{amb}^\alpha) + hA(T - T_{amb})$$

A bajas temperaturas¹, dominan los efectos convectivos y conductivos (en el gas noble dentro del bulbo y a través del vidrio y base de la lamparita).

Por otro lado, a altas temperaturas² el término de radiación pasa a ser dominante. Esto podemos verlo cualitativamente ya que a muy altas temperaturas el filamento se torna incandescente, o sea, emite energía por radiación. En este caso dominará entonces el término de radiación y podemos decir que:

$$W_{Elec} = VI \cong A_s T^\alpha \quad \text{para } T \gg T_{amb}$$

¹ - Llamamos bajas temperaturas aquellas en que $T \sim T_{amb}$, o sea, la diferencia $T - T_{amb} \ll T_{amb} = 300 \text{ K}$.

² - Esto es ahora, $T \gg T_{amb} = 300 \text{ K}$.

Laboratorio de Física - Instituto de Profesores Artigas - DFPD

En la región intermedia tendremos un comportamiento intermedio. Pero lo importante de esta discusión es que podemos distinguir dos regímenes de funcionamiento diferentes que dependen de la temperatura a la que se encuentra el filamento, la que a su vez, depende de la potencia eléctrica aplicada.

Tarea: Se desea determinar cuál es el exponente α de la Ley de Stefan-Boltzmann y la constante de proporcionalidad A_s , comparando ambas con las deducidas teóricamente, en una lamparita de tungsteno, modelada como cuerpo gris.

Para ello, se cuenta con la siguiente tabla de resistividades del tungsteno en función de la temperatura:

T (K)	rho (microhm cm)
300	5,65
400	8,06
500	10,56
600	13,23
700	16,09
800	19
900	21,94
1000	24,93
1100	27,94
1200	30,98
1300	34,08
1400	37,19
1500	40,36
1600	43,55
1700	46,78
1800	50,05
1900	53,53

T (K)	rho (microhm cm)
2000	56,67
2100	60,06
2200	63,48
2300	66,91
2400	70,39
2500	73,91
2600	77,49
2700	81,04
2800	84,7
2900	88,33
3000	92,04
3100	95,76
3200	99,54
3300	103,3
3400	107,2
3500	111,1
3600	115
3655	117,1

Bibliografía:

Práctica "Medidas Voltamperimétrica, Laboratorio 2, Facultad de Ingeniería:

<http://www.fing.edu.uy/if/cursos/lab2/Practical/Voltamp2007.pdf>

The Physics Fact Book, Edited by Glenn Elert -- Written by his students:

<http://hypertextbook.com/facts/2004/DeannaStewart.shtml>