

Profesorado en Física, Licenciatura en Física y Astronomía

## Física General II

### Guía N°3: Termometría y Dilatación Térmica

**Problema 1:** Históricamente se ha definido de manera empírica la temperatura  $\theta$  a partir de una magnitud termométrica  $x$  experimentalmente accesible (por ejemplo, la altura de una columna de mercurio dentro de un capilar). Esta definición se ha efectuado en general de dos maneras diferentes:

i) A partir de dos puntos fijos  $(x_1, x_2)$ , a los cuales se les asignan arbitrariamente determinados valores en la escala termométrica que se está definiendo  $(\theta_1, \theta_2)$ . Luego, se establece “a priori” una relación lineal entre la magnitud termométrica medida y la temperatura  $(\theta = Ax + B)$ , utilizando los puntos  $(x_1, \theta_1)$  y  $(x_2, \theta_2)$ .

ii) A partir de un único punto fijo  $(x_0, \theta_0)$  y estableciendo “a priori” que se verifica la siguiente relación:  $x/x_0 = \theta/\theta_0$ .

Por ejemplo, cuando se considera la presión  $p$  de un gas (en condiciones próximas a las ideales) a volumen constante como variable termométrica  $x$ , *experimentalmente* se encuentra que la escala de temperatura  $\theta$  definida según (ii) utilizando el punto triple del agua, es tal que, independientemente del gas usado, luego las lecturas coinciden en todos los termómetros en otros puntos fijos.

a) Determinar los valores de las constantes  $A$ ,  $B$  y  $\theta_i$  cuando ambas definiciones se aplican en la construcción de una escala termométrica en particular.

b) Utilizando la siguiente tabla, escribir las conversiones entre todos los posibles pares de escalas.

	°C	°F	°Ra	K
T de fusión del hielo	0	32	492	273
T de evaporación del agua	100	212	672	373

**Problema 2:** Una termocupla o termopar consiste en la unión de dos alambres de metales diferentes como ser hierro y cobre o cobre y constantán. Al calentar el punto de unión o soldadura se produce una fuerza electromotriz o fem (o diferencia de potencial eléctrico). Se observa experimentalmente que dicha fem cambia al cambiar la temperatura de la unión. La fem generada depende de la particular combinación de metales que forman la unión, y para su medición se requiere de un instrumento denominado voltímetro. Una medición burda de la temperatura puede lograrse conectando los extremos libres de los alambres de diferentes metales directamente al instrumento

de medición. Sin embargo, la medición es más confiable cuando se construye una doble unión, por ejemplo cobre-constantán-cobre, y se conectan al instrumento los extremos de cobre, mientras que una de las uniones se introduce en un baño de hielo fundente (punta fría o de referencia). Cuando una termocupla se mantiene con su punta de referencia a la temperatura de fusión del hielo y la punta de medición a la temperatura  $T$  (medida en la escala Celsius) se observa que la fem  $E$  (expresada en voltios V) es una función cuadrática de la temperatura:

$$E = \alpha T + \beta T^2, \quad \text{con } \alpha = 0,2 \text{ mV}/^\circ\text{C}, \quad \beta = 5 \times 10^{-4} \text{ mV}/^\circ\text{C}^2.$$

- a) Si la fem  $E$  es la propiedad termométrica que permite definir la escala de temperaturas  $\theta$  a través de una relación lineal entre  $\theta$  y  $E$ ,  $\theta = aE + b$ , y se considera que la temperatura de fusión del hielo se corresponde con  $\theta = 0$  y la temperatura de ebullición del agua con  $\theta = 100$ ; determinar los valores de  $a$  y  $b$ .
- b) Calcular los valores de  $\theta$  cuando la temperatura medida en la escala Celsius es  $-100^\circ\text{C}$ ,  $0^\circ\text{C}$ ,  $100^\circ\text{C}$ ,  $200^\circ\text{C}$ ,  $300^\circ\text{C}$ ,  $400^\circ\text{C}$  y  $500^\circ\text{C}$ .
- c) Graficar los puntos del item anterior e interpolar entre ellos con una línea continua.

**Problema 3:** La resistencia eléctrica de los alambres metálicos y otros conductores también depende de la temperatura. La resistencia de un termómetro de resistencia de platino en el punto de fusión del hielo es  $10,00 \Omega$  y en el punto de ebullición del agua es  $13,86 \Omega$ . La presión ejercida por el gas en un termómetro de helio a volumen constante en el punto de fusión del hielo es  $1000 \text{ mm}$  de Hg, y en el punto de ebullición del agua es  $1366 \text{ mm}$  de Hg. Cuando ambos termómetros se introducen en un recipiente que contiene un determinado líquido, la resistencia del termómetro de platino resulta  $11,59 \Omega$  y la presión del termómetro de helio es  $1149 \text{ mm}$  de Hg. Calcular la temperatura del líquido (en grados Celsius) en la escala del termómetro de resistencia de platino y en la del termómetro de gas.

**Problema 4:** Suponga que alrededor de la tierra se construye un aro de acero que se ajusta exactamente al ecuador cuando la temperatura del aro es de  $20^\circ\text{C}$ . Si el coeficiente de dilatación térmica lineal del acero es  $11 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  y se supone que el radio de la tierra en el ecuador es igual a  $6000 \text{ Km}$ , ¿cuál será la distancia entre el aro y la tierra, si la temperatura del aro se incrementa en  $1^\circ\text{C}$  (sin modificar la temperatura de la tierra)?

**Problema 5:** Un cable de acero de  $130 \text{ cm}$  de largo y  $1,1 \text{ mm}$  de diámetro es calentado a una temperatura de  $830^\circ\text{C}$ . Manteniéndolo a dicha temperatura, se lo fija sin tensar entre dos soportes rígidos. Calcular la tensión a la que estará sometido el cable cuando la temperatura del mismo desciende a  $20^\circ\text{C}$ . Recordar que la tensión  $T$  que soporta un cable de longitud  $L$  y sección transversal  $A$ , cuando es estirado una longitud  $\Delta L$ , está dada por  $T = E A \Delta L / L$ , donde  $E = 200 \times 10^9 \text{ N/m}^2$  es el módulo de Young del acero.

**Problema 6:** Un reloj de péndulo de acero funciona precisamente a una determinada temperatura.

- a) ¿Cuál es la máxima variación de temperatura admisible si el reloj no debe adelantar ni retrasar más de 1 segundo al día? ¿Depende la respuesta del período del péndulo?
- b) Un aumento de temperatura, ¿ocasionará un adelanto o un atraso del reloj?

**Problema 7:** Para evitar que se desfase la hora de un reloj de péndulo, debe mantenerse la longitud del péndulo cuando la temperatura del mismo varía, al menos dentro de un cierto rango. Para lograr esto se construye el péndulo uniendo dos barras de materiales diferentes cuyas dimensiones a una dada temperatura son  $L_A$  y  $L_B$ , respectivamente. Estos materiales tienen la particularidad de que el coeficiente de dilatación lineal del material A es positivo ( $\alpha_A > 0$ ) y el coeficiente de dilatación lineal del material B es negativo ( $\alpha_B < 0$ ). Determinar la relación que debe existir entre  $L_A$  y  $L_B$  para que pueda lograrse el objetivo.

**Problema 8:** Se tiene que a  $20^\circ\text{C}$  las longitudes de una barra de cobre y otra de acero son  $L_c$  y  $L_a$  respectivamente. Cuando las barras se calientan o enfrían se observa que la diferencia  $\Delta_L$  entre sus longitudes se mantiene igual a 10 cm, independientemente de la temperatura.

- a) Mediante un razonamiento indicar cuál de las barras tiene mayor longitud.
- b) Determinar analíticamente las longitudes de las barras  $L_c$  y  $L_a$  a  $20^\circ\text{C}$ .

Datos:  $\alpha_c = 17 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  ,  $\alpha_a = 11 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

**Problema 9:** Una esfera de porcelana descansa sobre un aro de cobre cuando la temperatura es  $10^\circ\text{C}$ . A esta temperatura el radio interior del aro es  $R_a = 20 \text{ cm}$  y el radio de la esfera es  $R_e = 20,05 \text{ cm}$ . Si el coeficiente de dilatación lineal del cobre es  $\lambda_{\text{Cu}} = 1,65 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  y el de la porcelana es  $\lambda_{\text{porc}} = 0,3 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , determinar a qué temperatura deben llevarse ambos objetos para que la esfera pueda deslizar *justo* a través del aro.

**Problema 10:** Un frasco de vidrio cuyo volumen es exactamente  $1000 \text{ cm}^3$  a  $0^\circ\text{C}$  está lleno completamente con mercurio en equilibrio a dicha temperatura. Conociendo que el coeficiente de dilatación volumétrica del mercurio es  $18 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  y el del vidrio  $1,2 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , determine qué cantidad mercurio se derrama o falta para llenar el frasco cuando se eleva conjuntamente a  $100^\circ\text{C}$  la temperatura del frasco y del mercurio.

**Problema 11:** En general los líquidos aumentan de volumen al incrementarse su temperatura y su coeficiente de expansión volumétrica es casi 10 veces más grande que el de los sólidos. El agua es una excepción a esta regla ya que cuando su temperatura aumenta de  $0^\circ\text{C}$  a  $4^\circ\text{C}$  ésta se contrae, es decir que su densidad aumenta. Por encima de  $4^\circ\text{C}$  el agua se expande conforme aumenta la temperatura. Explicar cómo este comportamiento determina que en los inviernos de las regiones frías el agua en los lagos empieza a congelarse por la superficie.

**Problema 12:** Considerar un termómetro de mercurio en vidrio. Suponer que a  $0^\circ\text{C}$  todo el mercurio está contenido en el bulbo de vidrio de volumen  $V_0$  y lo llena exactamente. Calcular la longitud de la columna de mercurio en el capilar, si la temperatura es positiva,  $t^\circ\text{C}$ , siendo  $\lambda$  el coeficiente de dilatación lineal del vidrio y  $\gamma$  el coeficiente de dilatación volumétrico del mercurio. Despreciar la variación con la temperatura de la sección transversal del capilar de vidrio que se asume igual a  $A_0$ .

**Problema 13:** Se practica un orificio circular de 1 cm de diámetro en una lámina de latón que se encuentra a  $20^\circ\text{C}$ . Si el coeficiente de dilatación lineal del latón es  $\alpha = 1,9 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , ¿cuál es el diámetro del orificio cuando la temperatura de la lámina se aumenta hasta  $200^\circ\text{C}$ ?

**Problema 14:** Un par bimetálico consiste en dos tiras de diferentes metales roblonadas entre sí a una dada temperatura  $T_0$  de referencia, de forma que sus extremos coinciden. Al calentar el par, el vínculo impuesto por el contacto lleva a las láminas a curvarse. Este fenómeno se lo utiliza para la construcción de termostatos: Se aprovecha la curvatura de la lámina para accionar un interruptor eléctrico o bien una válvula.

Suponer que el par se construye con dos metales cuyos coeficientes de dilatación lineal son  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  ( $\alpha_1 > \alpha_2$ ) y sus espesores son  $d_1$  y  $d_2$ , respectivamente. Calcular el radio de curvatura del par cuando la temperatura del mismo se incrementa en  $\Delta T$  respecto de la temperatura  $T_0$ .

**Problema 15:** El coeficiente de dilatación lineal suele depender ligeramente de la temperatura. Por ejemplo, para el cobre (Cu) y el aluminio (Al) se obtiene experimentalmente:  $\alpha(t) = a + bt$ , donde  $t$  es la temperatura en la escala Celsius y

$$\begin{aligned} a_{\text{Cu}} &= 16 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}, & b_{\text{Cu}} &= 0,005 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-2} \\ a_{\text{Al}} &= 24 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}, & b_{\text{Al}} &= 0,01 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-2} \end{aligned}$$

Suponer que se utiliza al cobre y al aluminio como sustancias termométricas para la construcción de sendos termómetros correspondientes a la escala Celsius. Al comparar las temperaturas medidas con estos termómetros y la medida con un termómetro de gas ideal, indicar

- a) ¿en qué puntos coinciden las lecturas de los termómetros?
- b) ¿las lecturas de los termómetros de cobre y aluminio son mayores o menores que la del termómetro ideal en el rango  $(0 - 100)^\circ\text{C}$ ?
- c) ¿en qué rangos de temperatura el termómetro de aluminio indica temperaturas mayores que el de cobre?