A. Paniagua
F-21

TERMODINÁMICA
MÓDULO 1

La Termodinámica se preocupa de estudiar los procesos en los cuales interviene el calor. Dicho estudio se realiza desde un punto de vista macroscópico o sea sin tener en cuenta la estructura interna de los cuerpos que intervienen en estos procesos.

Tenemos que al analizar las situaciones físicas, ordinariamente enfocamos nuestra atención en alguna porción de materia que separamos, en la imaginación, del medio ambiente externo a ella. A esa porción la llamamos el sistema. Entonces tratamos de determinar el comportamiento del sistema averiguando como interactúa con su medio ambiente.

La Termodinámica estudia el comportamiento de un sistema y su interacción con su medio ambiente por medio de cantidades observables adecuadas y que son medidas a través de operaciones de laboratorio; a estas cantidades observables se les llama **variables macroscópicas**.

Otra rama de la Física estudia los procesos relacionados con el calor desde un punto de vista microscópico o sea considerando la existencia de átomos. En este estudio se le aplican a los átomos las leyes de la mecánica considerando cantidades tales como velocidad, energía, masas, cantidad de movimiento angular, comportamiento durante los choques. Puesto que dichas leyes no se pueden aplicar a cada átomo dado el alto número de ellos se aplican entonces las leyes de la mecánica estadísticamente y se expresan la variables termodinámicas como ciertos promedio de propiedades atómicas. La rama de la Física que estudia de esta forma los procesos relacionados con el calor se denomina Mecánica Estadística. Dentro de la Mecánica Estadística existe una rama llamada Teoría Cinética que analiza los fenómenos del calor desde un punto de vista microscópico de una forma más bien física y usando técnicas de promedio matemático relativamente simples. En este curso veremos algunos aspecto de la Teoría Cinética.

TEMPERATURA

La temperatura de un cuerpo es una medida de su estado relativo de calor o frío. Para la medida de la temperatura tenemos que hacer uso de alguna propiedad física medible, que varíe con ella. Lo mismo que para la medida de una fuerza utilizamos alguna propiedad de un cuerpo que varíe con la fuerza, como por ej. la longitud de un resorte en espiral. Cualquier

instrumento utilizado para la medida de la temperatura se denomina termómetro.

Algunas de las propiedades físicas que varían con la temperatura son la longitud de una barra, el volumen de un líquido, la resistencia eléctrica de un alambre, o el color del filamento de una lámpara. A estas propiedades las llamaremos propiedades termométricas y son utilizados en la construcción de distintos tipos de termómetros.

Decimos que un cuerpo se encuentra en equilibrio térmico con otro cuerpo que es un termómetro, cuando la propiedad termométrica en que se basa la construcción del termómetro no varía.

LEY CERO DE LA TERMODINÁMICA

Si A y B se encuentran en equilibrio térmico con un tercer cuerpo C (el termómetro), entonces A y B se encuentran en equilibrio térmico entre sí.

Medición de la Temperatura

Cualquier propiedad termométrica se puede emplear para construir un termómetro o sea para establecer cierta escalas de temperaturas en particular. Para lo cual hay que elegir una sustancia termométrica especial y una propiedad termométrica especial de esa sustancia.

Por ejemplo:

La sustancia puede ser un líquido en un tubo capilar de vidrio y la propiedad termométrica puede ser la longitud de la columna de líquido.

La sustancia termométrica puede ser un gas en un depósito a volumen constante y la propiedad termométrica puede ser la presión del gas.

Entonces definimos la escala de temperaturas como una relación que suponemos monótonamente continua entre la propiedad termométrica escogida de nuestra sustancia y la temperatura tal como la medimos en nuestra escala particular.

Elegimos una sustancia termométrica cualquiera y representamos por X la propiedad termométrica que deseamos para establecer una escala de temperaturas.

Arbitrariamente escogemos la siguiente función lineal de la propiedad X como la temperatura T que tiene un termómetro en equilibrio térmico con un sistema.

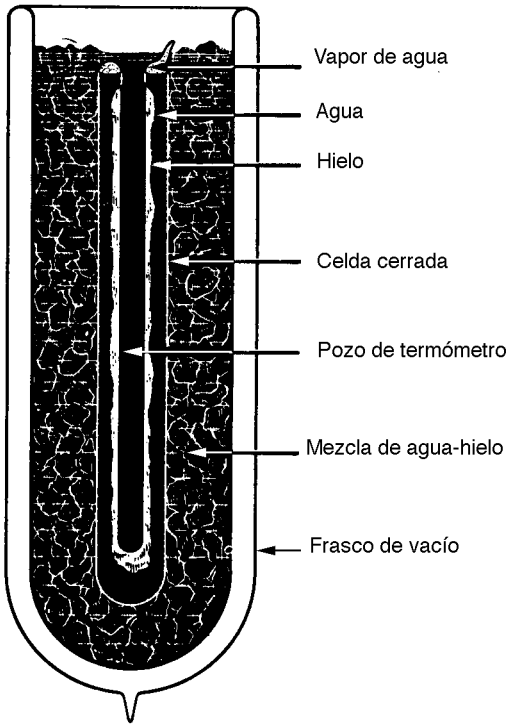
$$T(X) = aX$$

En esta expresión, a es una constante que todavía falta valuar. Escogiendo esta forma lineal para T(X) hemos establecido que diferencias iguales de temperatura, o sea, intervalos de temperatura, corresponden a cambios iguales de X. Esto significa, por ejemplo, que cada vez que la longitud de la columna de mercurio en el termómetro de mercurio-en-vidrio cambia una unidad, la temperatura varía una cantidad fija definida, cualquiera que sea la temperatura inicial. También se deduce que dos temperaturas, medidas con el mismo termómetro, están en la misma relación que sus correspondientes X, esto es,

$$\frac{T(X_1)}{T(X_2)} = \frac{X_1}{X_2}$$

Para determinar la constante a, y por consiguiente, para graduar el termómetro, especificamos un punto fijo normal, para el cual todos los termómetros deben marcar el mismo valor para la temperatura T.

Se escoge este punto fijo como aquel en el cual el hielo, el agua líquida, y el vapor de agua, coexisten en equilibrio y se llama punto triple del agua. Este estado es único y se puede lograr solamente a cierta presión definida. La presión de vapor de agua en el punto triple es 4.58 mm-Hg. La temperatura en este punto fijo patrón se ha designado arbitrariamente llamándola 273.16 grados Kelvin y se abrevia 273.16 °K .



El punto triple se indica con el subíndice *tr*

Tenemos entonces que para todos los termómetros.

$$T(X_{tr}) = 273.16^{\circ} K$$

El grado Kelvin es un intervalo de temperatura unidad.

Tenemos que cualquier temperatura se relaciona con la temperatura del punto triple como

$$\frac{T(X)}{T(X_{tr})} = \frac{X}{X_{tr}}$$

de manera que

$$T(X) = 273.16^{\circ} K \frac{X}{X_{tr}} \tag{1T}$$

Podemos aplicar la Ec. (1T) a varios termómetros.

Para un termómetro de líquido en vidrio X es L, la longitud de la columna de líquido y la temperatura está dada por la siguiente expresión

$$T(L) = 273.16^{\circ} K \frac{L}{L_{tr}}$$

Para un gas a presión constante, X es V, el volumen del gas y la temperatura está dada por la siguiente expresión

$$T(V) = 273.16^{\circ} K \frac{V}{V_{tr}} \qquad p = cte$$

Para un gas a volumen constante, X es P, la presión del gas y la temperatura está dada por la siguiente expresión

$$T(P) = 273.16^{\circ} K \frac{P}{P_{tr}} \qquad V = cte$$

Para un termómetro de resistencia de platino, X es R, la resistencia eléctrica y la temperatura está dada por la siguiente expresión

$$T(R) = 273.16^{\circ} K \frac{R}{R_{tr}}$$

y en la misma forma se procede para otras sustancias termométricas y para otras propiedades.

Ejemplo

Cierto termómetro de resistencia de platino tiene una resistencia R de 90.35 ohms cuando su bulbo se coloca en una celda de punto triple ¿Qué temperatura queda definida por la Ec.(1T) si el bulbo se coloca en un medio ambiente tal que su resistencia sea de 96.28 ohms?

Considerando que en este caso la variable termométrica es la resistencia tenemos

$$T(R) = 273.16^{\circ} K \frac{R}{R_{tr}} = (273.16°K)\left(\frac{96.28}{90.35}\right) = 291°K$$

Nótese que esta temperatura se encuentra en una escala particular, definida aplicando la Ec. (1T) a un cierto dispositivo particular, el termómetro de resistencia de platino.

Ahora se suscita la cuestión de si el valor que obtenemos para la temperatura de un sistema depende de la elección del termómetro que utilizamos para medirlo. Hemos asegurado, por definición, que todas las diferentes clases de termómetros coincidirán en el punto fijo patrón, pero, ¿qué ocurre en otros puntos?

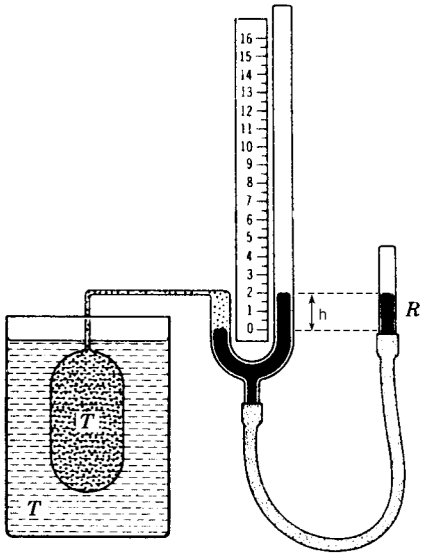
Podemos imaginar una serie de pruebas, en las cuales se mide la temperatura de un sistema dado, simultáneamente con muchos termómetros diversos. Los resultados de estas pruebas muestran que todos los termómetros dan lecturas diferentes. Aún cuando se empleen diferentes termómetros de una misma especie, tales como termómetros de gas de volumen constante con diversas clases de gases, obtenemos diferentes mediciones de la temperatura para un sistema dado en un estado determinado.

Por consiguiente, para obtener una escala de temperatura definida, debemos escoger cierta clase de termómetro como patrón.

La mínima variación en lecturas se encuentra entre diferentes termómetros de gas a volumen constante, lo que sugiere que escojamos un gas como sustancia termométrica patrón .

Termómetro de gas a volumen constante

La fig. muestra un termómetro de gas a volumen constante. Este termómetro tiene un bulbo que contiene gas y el cual se introduce en el medio ambiente cuya temperatura se desea medir. Mientras el mercurio en el tubo manométrico de la izquierda se conserva en la misma posición en la escala (cero), el volumen del gas confinado será constante. El menisco siempre se puede llevar a la posición cero elevando o bajando el depósito R.



Entonces la temperatura esta dada por

$$T(P) = 273.16^{\circ} K \frac{P}{P_{tr}} \qquad V = cte$$

P presión del gas.

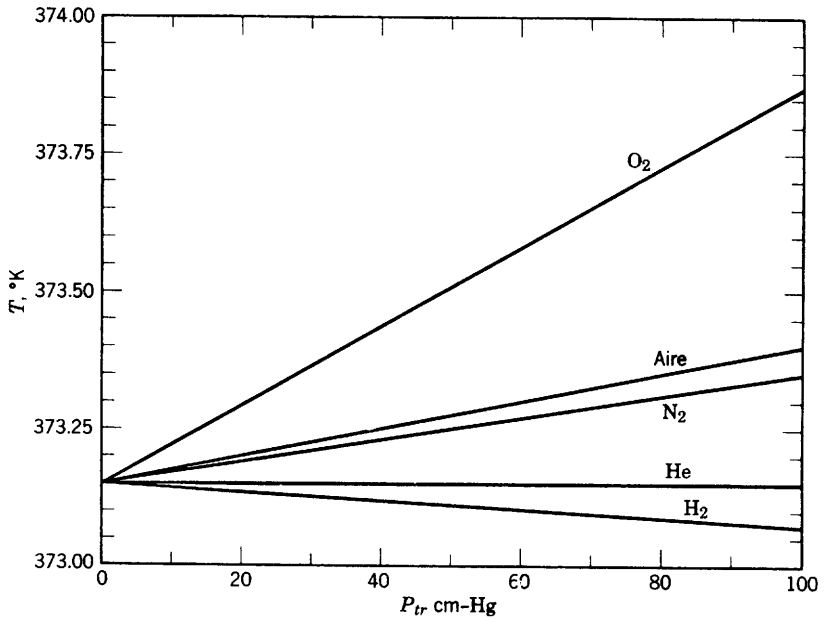
P_{tr} presión en el punto triple

P_{at} presión atmosférica

Tenemos que la presión del gas esta dada por

$$P = P_{at} + \rho g h$$

Escala de temperaturas de un gas ideal



En la gráfica se pueden ver las lecturas de un termómetro de gas a volumen constante para la temperatura T del punto de condensación del vapor en función de la presión en el punto triple del agua P_{tr}, al usar diferentes gases. Conforme la cantidad de gas en el termómetro se va reduciendo, su presión P_{tr}, en el punto triple, va disminuyendo. Nótese que para cierto valor de P_{tr} difieren los valores de T dados por los diferentes termómetros de gas. Sin embargo, conforme la presión se va reduciendo, las lecturas de temperatura de los termómetros de gas de volumen constante hechos con diferentes gases se van acercando al mismo valor. Por

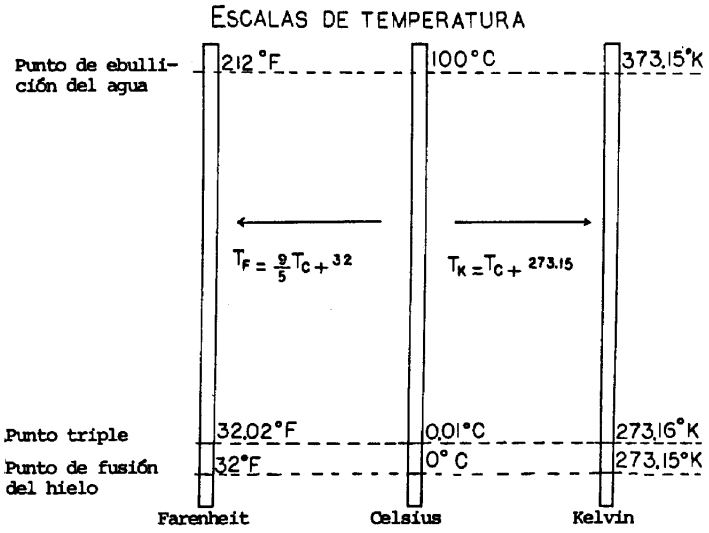
consiguiente, el valor extrapolado de las temperaturas depende solamente de las propiedades generales de los gases y no de ningún gas en especial. Así pues, definimos una escala de temperaturas de gas ideal mediante la relación

$$T(P) = 273.16^{\circ} K \lim_{P_{tr} \to 0} \frac{P}{P_{tr}} \qquad V = cte$$

El Helio da casi la misma temperatura para todas las presiones (la curva es casi horizontal), de manera que en toda la extensión de presiones que se muestra, su comportamiento es el que más se asemeja al de un gas ideal.

Las escalas de temperaturas Celsius, Fahrenheit y Kelvin

Dos escalas de temperatura que se emplean comúnmente son la Celsius y la Fahrenheit. Estas escalas se definen a partir de la escala Kelvin, que es la escala de temperatura fundamental en la ciencia.



En los trabajos científicos internacionales, las temperaturas se expresan en la escala Celsius. En los países anglosajones se utiliza la escala Fahrenheit, excepto en Inglaterra misma, que adoptó la escala Celsius para usos comerciales y civiles en 1964. La escala Fahrenheit no se usa en trabajos científicos.

Para definir cada escala, se eligen dos temperaturas de referencia llamadas puntos fijos y se asignan valores arbitrarios a dichas temperaturas, fijando así la posición del punto cero y el valor de la unidad de temperatura.

Una de las temperaturas de referencia, el punto de fusión del hielo, es la temperatura de una mezcla de agua saturada de aire y hielo, a la presión de una atmósfera. La otra temperatura de referencia es el punto de ebullición del agua, a la presión de una atmósfera. En la escala centígrada, el punto de fusión del hielo corresponde al cero de la escala y el punto de ebullición del agua a la división 100. En la escala Fahrenheit, estas temperaturas corresponden a 32 y 212, respectivamente y en la escala Kelvin a 273.15 y 373.15.

La temperatura en la escala Kelvin y Celsius se relacionan, entonces como

$$T = T_C + 273.15 \qquad (2T)$$

La temperatura en la escala Fahrenheit y Celsius se relacionan, entonces como

$$T_F = {}^{9}\!/_{5}\, T_C + 32 \qquad (3T)$$

DILATACION

Dilatación lineal

Con pocas excepciones, las dimensiones de todos los cuerpos aumentan cuando se eleva la temperatura del cuerpo. Si un trozo de material dado tiene forma de barra o de cable sólo interesa ordinariamente su variación de longitud con los cambios de temperatura (la variación de su sección transversal es muy pequeña y puede despreciarse). Si una barra tiene longitud L_0, a cierta temperatura de referencia T_0, y que pasa a ser L a una temperatura más alta T, la diferencia $L - L_0 = \Delta L$ es el aumento de longitud que experimenta la barra al calentarse. Se encuentra experimentalmente que el aumento de longitud ΔL, es proporcional a la longitud inicial L_0, y prácticamente proporcional también al aumento de temperatura ΔT esto es:

$$\Delta L \approx L_o \Delta T \qquad \text{o bien} \qquad \Delta L = \alpha\, L_o \Delta T, \qquad (4T)$$

siendo α una constante de proporcionalidad, distinta para cada sustancia, y que se denomina ***coeficiente de dilatación lineal.***

De la Ec. (4T) puede despejarse el valor de α y escribir:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_o}\frac{1}{\Delta T} \qquad (5T)$$

El coeficiente de dilatación lineal de una sustancia puede definirse, por consiguiente, como la variación relativa de longitud al elevar un grado la temperatura.

Puesto que L_0 y ΔL están expresadas en la misma unidad, las dimensiones de α son grados recíprocos (Centígrados o Fahrenheit). Así el coeficiente de dilatación lineal del cobre es:

$$\alpha = 17x10^{-6}(°C)^{-1}$$

Otra relación útil se obtiene reemplazando $L - L_0 = \Delta L$ en (4T)

$$L = L_o(1 + \alpha\Delta T) \qquad (6T)$$

Dilatación superficial

Cuando se calienta una lámina de material, aumenta tanto su longitud como su ancho. Consideremos una lámina rectangular cuya longitud y ancho a la temperatura T_0 son a_0 y b_0, respectivamente. Cuando se calienta a la temperatura T, estas dimensiones se convierten en a y b que están relacionadas por

$$a = a_o(1 + \alpha\Delta T) \qquad b = b_o(1 + \alpha\Delta T)$$

El área inicial de la lámina es $A_o = a_o b_o$ y su área, después de calentada, es

$$A = ab = a_o b_o(1 + \alpha\Delta T)^2 = A_o(1 + 2\alpha\Delta T + (\alpha\Delta T)^2)$$

Pero, dado que α tiene un valor numérico pequeño, α^2 será extraordinariamente pequeño y el término $(\alpha\Delta t)^2$ puede despreciarse. Por tanto,

$$A = A_o(1 + 2\alpha\Delta T)$$

Si definimos ahora un coeficiente de dilatación superficial γ tal que

$$\gamma = 2\alpha$$

Tenemos entonces que

$$A = A_o(1 + \gamma\Delta T) \qquad (7T)$$

Aunque este resultado se ha deducido para el caso especial de una lámina rectangular, sigue cumpliéndose también para el caso de una lámina de forma cualquiera.

Dilatación cúbica

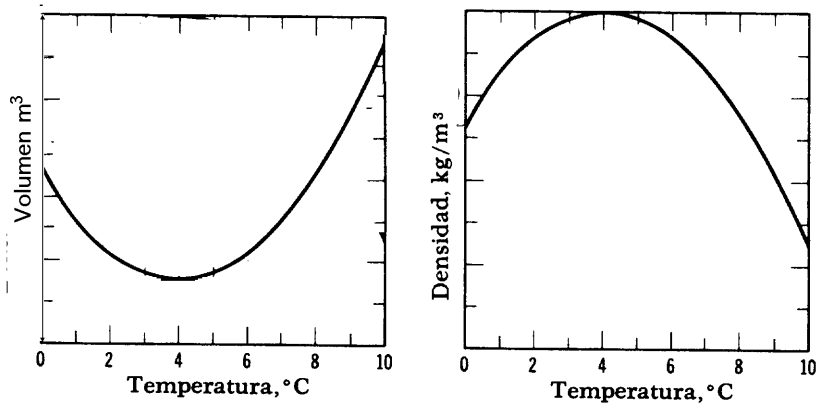
Considerando un bloque macizo de sustancia que tenga la forma de un paralelepípedo recto rectangular de dimensiones a_0, b_0 y c_0, a T_0, es fácil demostrar por un razonamiento análogo que

$$V = V_o(1 + 3\alpha\Delta T) = V_o(1 + \beta\Delta T) \qquad (8T)$$

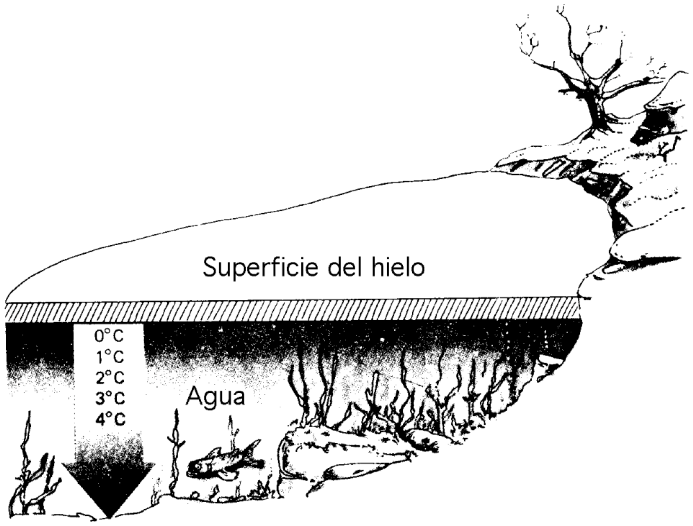
siendo V el volumen a la temperatura T, V_0 el volumen a la temperatura T_0 y $\beta = 3\alpha$ el coeficiente de dilatación cúbica de la sustancia. Esta ecuación se verifica independientemente de la forma del cuerpo.

Dilatación anómala del agua

Es típico que los líquidos se dilaten al elevarse la temperatura, siendo la dilatación volumétrica aproximadamente 10 veces mayor que la de los sólidos. Sin embargo, el líquido más común, el agua, no se comporta como los otros líquidos.



El agua, en el intervalo de temperaturas comprendido entre 0°C y 4°C, disminuye el volumen al aumentar la temperatura, comportamiento contrario al de la mayor parte de las sustancias.



El comportamiento anómalo del agua es la razón por la cual los lagos comienzan a congelarse por su superficie.

Problemas

Nota: En estos problemas se hará uso de algunos desarrollos en serie de Taylor, los cuales se puede consultar en el *Tomo I Resnick pag. 891 "Desarrollo de algunas series"* . Estos desarrollos son válidos para

$-1 < x < 1$

Serie de Taylor

$$f(x_o + x) = f(x_o) + f'(x_o)x + f''(x_o)\frac{x^2}{2!} + f'''(x_o)\frac{x^3}{3!} + \ldots\ldots$$

$$\frac{1}{1+x} = 1 - x + x^2 - x^3 + \ldots\ldots$$

$$\sqrt{1+x} = 1 + \frac{x}{2} - \frac{x^2}{8} + \frac{x^3}{16} - \ldots\ldots$$

$$\frac{1}{\sqrt{1+x}} = 1 - \frac{x}{2} + \frac{3x^2}{8} - \frac{5x^3}{16} + \ldots\ldots$$

$$(x+y)^n = x^n + \frac{n}{1!}x^{n-1}y + \frac{n(n-1)}{2!}x^{n-2}y^2 + \ldots\ldots \qquad (x^2 > y^2)$$

1) Problema H-21-20, N 22

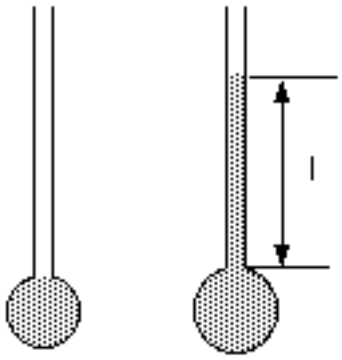
Considere un termómetro de mercurio en vidrio. Suponiendo que la sección transversal del tubo capilar es constante y tiene un valor A_0, designe por V_0 el volumen del bulbo de mercurio a $0.00°C$. Si a esta temperatura el mercurio llena exactamente el bulbo, demostrar que la longitud de la columna de mercurio en el tubo capilar a una temperatura de $t°C$ es de

$$l = \frac{V_0}{A_0}(\beta - 3\alpha)t$$

esto es, proporcional a la temperatura, siendo β el coeficiente de dilatación volumétrica del mercurio y α el coeficiente de dilatación lineal del vidrio.

Solución

Puesto que tanto el mercurio como el vidrio del bulbo se dilatan al variar la temperatura, tenemos que el volumen de mercurio que ascenderá por el capilar está dado por:



$$\Delta V_m = V_{fm} - V_{fb} \qquad \text{(1-P1)}$$

donde V_{fm} es el volumen final del mercurio

V_{fb} es el volumen final del bulbo

La altura que subirá el mercurio por el capilar, considerando que la sección transversal del tubo capilar es constante $A = A_0$, está dada por

$$l = \frac{\Delta V_m}{A} = \frac{\Delta V_m}{A_0} = \frac{V_{fm} - V_{fb}}{A_0} \qquad \text{(2-P1)}$$

Tenemos para el mercurio que

$$V_{fm} = V_{im}(1 + \beta_m \Delta T) \qquad \text{(3-P1)}$$

Donde β_m es el coeficiente de dilatación volumétrica del mecurio.

Para el bulbo no podemos aplicar dilatación volumétrica, puesto que el bulbo está formado por una superficie de vidrio. Trabajamos entonces con la dilatación superficial del vidrio que forma el bulbo.

$$A_{fb} = A_{ib}(1 + 2\alpha_{\mathrm{v}}\Delta T) \tag{4-P1}$$

Donde α_{v} es el coeficiente de dilatación superficial del vidrio, de esta expresión obtenemos

$$r_{fb} = r_{ib}(1 + 2\alpha_{\mathrm{v}}\Delta T)^{1/2} \quad V_{fb} = V_{ib}(1 + 2\alpha_{\mathrm{v}}\Delta T)^{3/2} \tag{5-P1}$$

Aproximando la ecuación (5-P1) y despreciando términos de segundo orden de α tenemos

$$V_{fb} = V_{ib}(1 + 3\alpha_{\mathrm{v}}\Delta T) \tag{6-P1}$$

Reemplazando (6-P1) y (3-P1) en la expresión (2-P1), considerando que $V_{im} = V_{ib} = V_0$ y que la temperatura inicial es 0.00 $°C$ tenemos

$$l = \frac{V_0}{A_0}(\beta_m - 3\alpha_{\mathrm{v}})t$$

2) Problema H-21-21, N 19

La densidad es la masa por unidad de volumen. Si el volumen V depende de la temperatura, también lo hará la densidad ρ. Demostrar que el cambio $\Delta\rho$ de densidad correspondiente a un cambio ΔT en la temperatura esta dado por

$$\Delta\rho = -\beta\rho\Delta T$$

Explicar la causa del signo negativo.

Solución

Considerando que

ρ es la densidad inicial

ρ' es la densidad después de un cambio ΔT de temperatura

Tenemos que

$$\Delta\rho = \rho' - \rho \tag{1-P2}$$

donde

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{y} \qquad \rho' = \frac{m}{V'} \tag{2-P2}$$

Donde V' es el nuevo volumen correspondiente a un cambio ΔT en la temperatura.

La variación del volumen podemos obtenerla a partir de la expresión (8T)

$$V' = V(1 + \beta \Delta T)$$

reemplazando V', ρ y ρ' en (1-P2) y además despreciando los términos de segundo orden tenemos que

$$\Delta\rho = -\beta\rho\Delta T \tag{3-P2}$$

Para analizar la causa del signo negativo de la expresión (3-P2), escribamos dicha expresión de la siguiente forma:

$$\rho' - \rho = -\beta\rho(T' - T) \tag{4-P2}$$

a) A partir de la expresión (4-P2) podemos ver que si

$$T' > T \Rightarrow \rho' - \rho < 0 \quad \therefore \quad \rho' < \rho$$

O sea que si la temperatura crece la densidad disminuye.

b) De igual forma tenemos que si

$$T' < T \Rightarrow \rho' - \rho > 0 \quad \therefore \quad \rho' > \rho$$

O sea que si la temperatura disminuye, la densidad aumenta.

3) Problema H-21-22, N 25

a) Demostrar que el cambio de Momento de Inercia I con respecto a la temperatura de un objeto sólido está dada por

$$\Delta I = 2\alpha I \Delta T$$

b) Demostrar que el cambio de período t de un péndulo físico al variar la temperatura está dado por

$$\Delta t = \frac{1}{2}\alpha t \Delta T$$

Solución parte a)

Tenemos que el Momento de Inercia I esta dado por la siguiente expresión

$$I = \int r^2 dm \qquad \text{(1-P3)}$$

Consideraremos dos situaciones físicas del objeto sólido, una inicial en la cual dicho objeto tiene un momento de inercia $I = I_i$ y otra situación después de un cambio de temperatura ΔT en la cual dicho objeto tiene un momento de inercia I_f.

Por lo tanto

$$\Delta I = I_f - I_i \qquad \text{(2-P3)}$$

Tenemos que

$$I_i = \int r_i^2 dm_i \qquad \text{(3-P3)} \qquad\qquad I_f = \int r_f^2 dm_f \qquad \text{(4-P3)}$$

Utilizando la expresión de dilatación lineal tenemos que

$$r_f = r_i (1 + \alpha \Delta T) \qquad \text{(5-P3)}$$

Reemplazando esta expresión en (4-P3), despreciando los términos de segundo orden y considerando que la masa permanece constante ante el cambio de temperatura ΔT tenemos que

$$I_f = I_i (1 + 2\alpha \Delta T) \qquad \text{(6-P3)}$$

Reemplazando esta expresión en (2-P3) y considerando que $I_i = I$ tenemos finalmente que

$$\Delta I = 2\alpha I \Delta T)$$

Solución parte b)

Tenemos que el período de un péndulo físico esta dado por

$$t = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Por lo tanto

$$t_i = 2\pi\sqrt{\frac{l_i}{g}} \qquad\qquad t_f = 2\pi\sqrt{\frac{l_f}{g}}$$

Donde

t_i es el período inicial del péndulo

t_f es el período después de un incremento de temperatura ΔT

Tenemos entonces que

$$\Delta t = t_f - t_i = \frac{2\pi}{\sqrt{g}}\left(\sqrt{l_f} - \sqrt{l_i}\right) \qquad \text{(7-P3)}$$

Reemplazando $l_f = l_i(1 + \alpha\Delta T)$ en (7-P3) tenemos

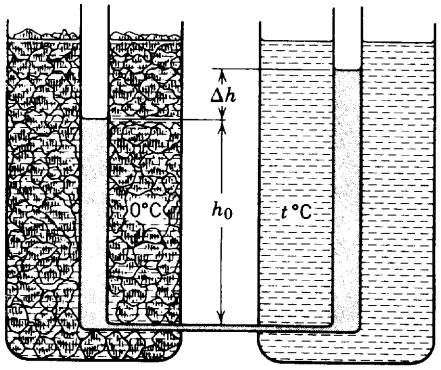
$$\Delta t = 2\pi\sqrt{\frac{l_i}{g}}\left(\sqrt{1 + \alpha\Delta T} - 1\right)$$

desarrollando en serie y despreciando los términos de segundo orden de α tenemos $\Delta t = \frac{1}{2}\alpha\, t_i\, \Delta T$

Considerando $t_i = t$ tenemos finalmente

$$\Delta t = \frac{1}{2}\alpha\, t\, \Delta T$$

4) Problema H-21-25, N 29



Dos tubos verticales de vidrio, llenos con un líquido, están unidos por sus extremos inferiores mediante un tubo capilar horizontal. Un tubo se encuentra rodeado por un baño que contiene hielo y agua en equilibrio ($0.0°C$) el otro está rodeado por baño de agua caliente. La diferencia de altura de los líquidos en las columnas es Δh y h_0 es la altura de la columna a $0.0°C$.

Demostrar como este aparato, mostrado en la figura, primeramente usado en 1816 por Dulong y Petit, se puede utilizar para medir el verdadero coeficiente de dilatación volumétrica β de un líquido (y no la dilatación diferencial entre el vidrio y líquido). Determinar β si $t = 16.0°\ C$, $h_0 = 126\ cm$ y $\Delta h = 1.50\ cm$

Solución

Considerando ΔV la diferencia de volumen del líquido en los capilares y A el área transversal del tubo a la temperatura de $t°C$

Tenemos entonces que

$$\Delta h = \frac{\Delta V}{A} \qquad \text{(1-P4)}$$

Considerando A_0 el área transversal del tubo a la temperatura de $0°C$ tenemos que

$$A = A_0(1 + 2\alpha\Delta T) \qquad \text{(2-P4)}$$

y por la expresión de dilatación volumétrica (8T) tenemos

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T \qquad \text{(3-P4)}$$

Puesto que $\Delta T = t°C - 0°C = t°C$ tenemos entonces que

$$\Delta T = t \qquad \text{(4-P4)}$$

reemplazando las expresiones (2-P4), (3-P4) y (4-P4) en (1-P4) y considerando solamente los términos de primer orden tenemos

$$\beta = \frac{\Delta h}{h_0 t}$$

Reemplazando en esta expresión los valores numéricos correspondientes se tiene

$$\beta = 7.44 \times 10^{-4}\ \frac{1}{°C}$$

Bibliografía

Sears F. W	Fundamentos de Física	Tomo I
Feynman R. P.	Física	Volumen I
Halliday D. y Resnick R. -	Física	Parte I
Tipler P. A.	Física	Tomo I
Serway R. A. y Beichner R. J.	Física	Tomo I
Wilson J. D.	Física	
Hewitt P. G.	Conceptos de Física	
Máximo A. y Alvarenga B.	Física General.	
Tippens P. E.	Física. Conceptos y Aplicaciones	