

# Principios de la Termodinámica

# Termodinámica

**La termodinámica estudia todas las transformaciones físicas y químicas de la materia en todos sus estados: sólido, líquido, gaseoso y plasma**

**Está relacionada con las variaciones en la temperatura y los cambios de estado que se producen como consecuencia de la transferencia de energía entre un sistema y su entorno**

# Temperatura: nociones intuitivas y cualitativas

Asociamos el concepto de temperatura con cómo de “calientes” o “fríos” están los objetos cuando los tocamos

Nuestro sentido del tacto nos proporciona una indicación cualitativa de la temperatura...

... aunque poco fiable. La piel es sensible al ritmo de transferencia de energía (potencia) mas que a la temperatura del objeto.

Necesitamos un método fiable y reproducible que defina lo relativamente “fríos” o “calientes” que están los objetos y que esté relacionado exclusivamente con la temperatura del objeto

# **Temperatura: concepto de contacto térmico y equilibrio térmico**

**Al poner en contacto dos objetos con temperaturas iniciales diferentes acaban alcanzando una temperatura intermedia común**

**Supongamos dos objetos colocados en un recipiente de material aislante, de manera que formen un sistema aislado**

**Si los objetos están a temperatura diferente, intercambiarán energía entre sí (por ejemplo en forma de calor o de radiación electromagnética)**

**Dos objetos que pueden intercambiar energía entre sí debido a la diferencia de temperatura de este modo se dicen que están en contacto térmico**

**En algún momento, la temperatura de los dos objetos será la misma (uno se calentará y el otro se enfriará)**

**El equilibrio térmico es la situación en la que los dos objetos en contacto térmico dejan de intercambiar energía**

# Temperatura: definición

Consideremos dos objetos A y B que no están en contacto térmico, y un tercer objeto C que será nuestro termómetro (un instrumento calibrado para medir la temperatura de un objeto)

Queremos determinar si A y B estarían en equilibrio térmico si se pusieran en contacto térmico



Si las dos lecturas proporcionadas por el termómetro son iguales, entonces A y B se encuentran en equilibrio térmico. Si A y B se ponen en contacto térmico, no habrá transferencia de energía

En primer lugar ponemos el termómetro en contacto térmico con A y anotamos el valor medido

Luego, ponemos el termómetro en contacto térmico con B y anotamos el valor medido

# Ley cero de la termodinámica

**Si dos objetos A y B, considerados por separado, están en equilibrio térmico con un tercer objeto C, entonces A y B estarán en equilibrio térmico entre sí**

**La importancia de este principio es que nos permite definir el concepto de temperatura**

**Podemos definir la temperatura como la propiedad que determina si un objeto está en equilibrio térmico con otros objetos**

**Dos objetos están en equilibrio térmico si están a la misma temperatura**

# Termómetros

Los termómetros son instrumentos utilizados para medir la temperatura de un objeto o de un sistema con el cuál se encuentran en equilibrio térmico

Todos los termómetros hacen uso de alguna propiedad física **(propiedad termométrica)** que refleja una variación con la temperatura, la cual puede ser calibrada para medir la temperatura

El volumen de un líquido

La longitud de un sólido

La presión de un gas a volumen constante

El volumen de un gas a presión constante

La resistencia eléctrica de un conductor

El color de un objeto caliente

# Termómetros que utilizan el volumen de un líquido

Los termómetros de uso común contienen un líquido que se expande en un tubo capilar de vidrio al aumentar su temperatura.

En este caso, la propiedad física que varía es el volumen del líquido.

Si la sección transversal del tubo capilar es constante, la variación del volumen del líquido es lineal con respecto a su longitud a lo largo del tubo. Podemos establecer que la temperatura está relacionada con la longitud de la columna del líquido

El termómetro se puede calibrar poniéndolo en contacto térmico con entornos en los que la temperatura permanezca constante y marcando la parte superior de la columna sobre el termómetro.

Una vez que hemos marcado nuestro termómetro los extremos de la columna de líquido para los entornos de referencia elegidos, necesitamos una escala numerada asociada a las diferentes temperaturas

## Escala Celsius

### Cero grados Celsius ( $0^{\circ}$ C)

Mezcla hielo-agua en equilibrio térmico a presión atmosférica

(punto de fusión o congelación del agua)

### Cien grados Celsius ( $100^{\circ}$ C)

Mezcla agua-vapor de agua en equilibrio térmico a presión atmosférica

(punto de vaporización o ebullición del agua)

# Termómetros que utilizan el volumen de un líquido

Estos termómetros suelen dar problemas cuando se necesitan medidas muy precisas

Un termómetro de mercurio y un termómetro de alcohol calibrados en los puntos de fusión y evaporación del agua solo coinciden en los puntos de calibración

Esto se debe a las distintas propiedades de expansión térmica del mercurio y del alcohol.

Las diferencias son especialmente significativas cuando las temperaturas medidas están lejos de los puntos de calibración.

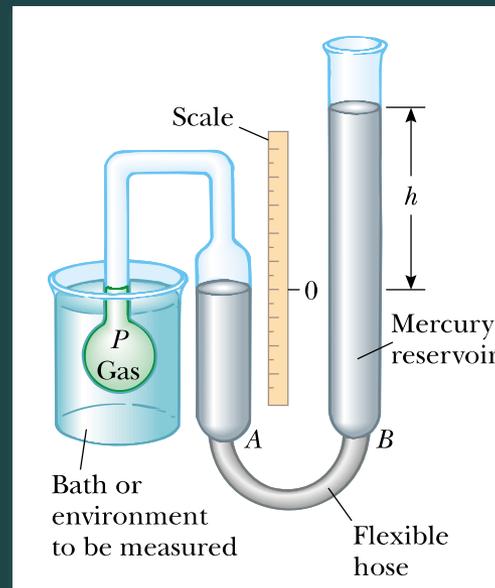
# Termómetros de gas a volumen constante

Las medidas proporcionadas por estos termómetros concuerdan muy bien incluso lejos de los puntos de calibración

En un **termómetro de gas a volumen constante** se mantiene constante el volumen del gas y su **presión** se utiliza como **propiedad termométrica**

La lectura es prácticamente independiente de la sustancia utilizada en el termómetro

El bulbo de gas se pone en contacto térmico con una mezcla de hielo-agua en equilibrio térmico a presión atmosférica



Metemos o sacamos mercurio de la reserva de manera que el **volumen de gas confinado sea siempre el mismo**

(que la columna en A permanezca en el punto de la escala marcado por el cero)

La altura  $h$  (diferencia entre los niveles de la reserva y de la columna A) indica la presión en el bulbo a  $0^\circ \text{C}$

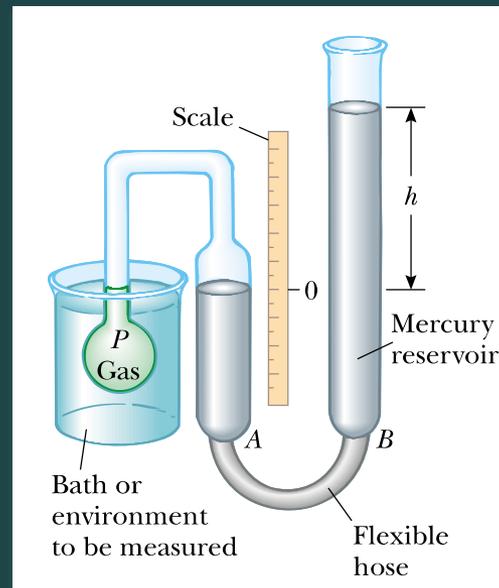
# Termómetros de gas a volumen constante

Las medidas proporcionadas por estos termómetros concuerdan muy bien incluso lejos de los puntos de calibración

En un **termómetro de gas a volumen constante** se mantiene constante el volumen del gas y su **presión** se utiliza como **propiedad termométrica**

La lectura es prácticamente independiente de la sustancia utilizada en el termómetro

El bulbo de gas se pone en contacto térmico con una mezcla de agua-vapor de agua en equilibrio térmico a presión atmosférica



Metemos o sacamos mercurio de la reserva de manera que el **volumen de gas confinado sea siempre el mismo**

(que la columna en A permanezca en el punto de la escala marcado por el cero)

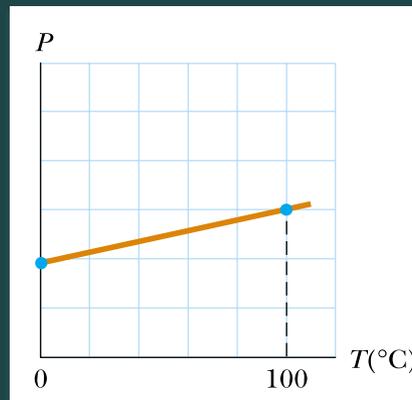
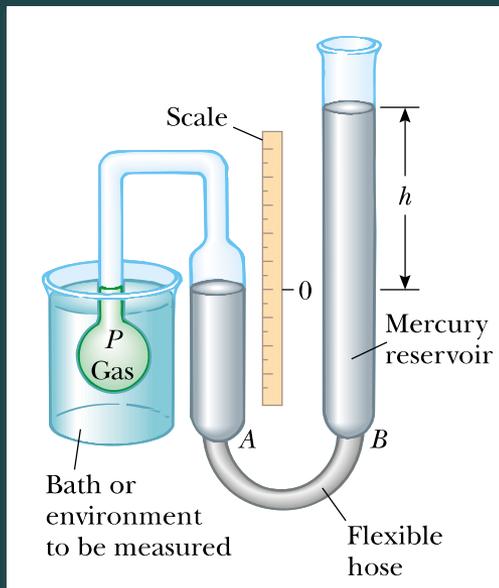
La altura  $h$  (diferencia entre los niveles de la reserva y de la columna A) indica la presión en el bulbo a  $100^\circ \text{C}$

# Termómetros de gas a volumen constante

Las medidas proporcionadas por estos termómetros concuerdan muy bien incluso lejos de los puntos de calibración

En un **termómetro de gas a volumen constante** se mantiene constante el volumen del gas y su **presión** se utiliza como **propiedad termométrica**

La lectura es prácticamente independiente de la sustancia utilizada en el termómetro



Se representan en una gráfica los valores de presión y temperatura

La línea que conecta los dos puntos sirve de curva de calibración para temperaturas desconocidas (experimentalmente se ha demostrado que una relación lineal entre presión y temperatura es una buena aproximación)

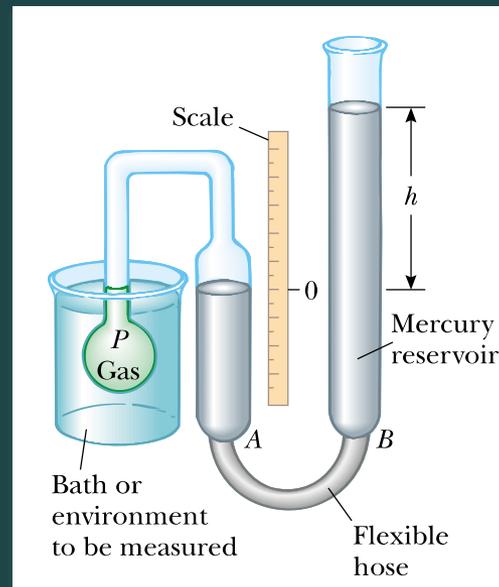
# Termómetros de gas a volumen constante

Las medidas proporcionadas por estos termómetros concuerdan muy bien incluso lejos de los puntos de calibración

En un **termómetro de gas a volumen constante** se mantiene constante el volumen del gas y su **presión** se utiliza como **propiedad termométrica**

La lectura es prácticamente independiente de la sustancia utilizada en el termómetro

El bulbo de gas se pone en contacto térmico con una sustancia de temperatura desconocida



Metemos o sacamos mercurio de la reserva de manera que el **volumen de gas confinado sea siempre el mismo**

(que la columna en A permanezca en el punto de la escala marcado por el cero)

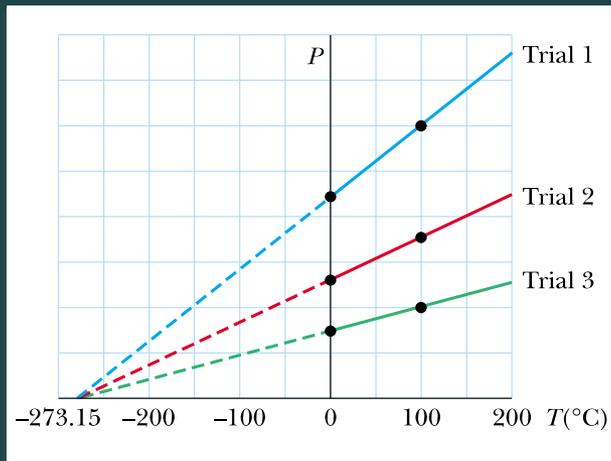
La altura  $h$  (diferencia entre los niveles de la reserva y de la columna A) indica la presión del gas, y conocida la presión conocemos la temperatura)

# Termómetros de gas a volumen constante

Las medidas proporcionadas por estos termómetros concuerdan muy bien incluso lejos de los puntos de calibración

En un **termómetro de gas a volumen constante** se mantiene constante el volumen del gas y su **presión** se utiliza como **propiedad termométrica**

También se pueden utilizar medidas de temperatura utilizando presiones iniciales diferentes a  $0^\circ\text{C}$

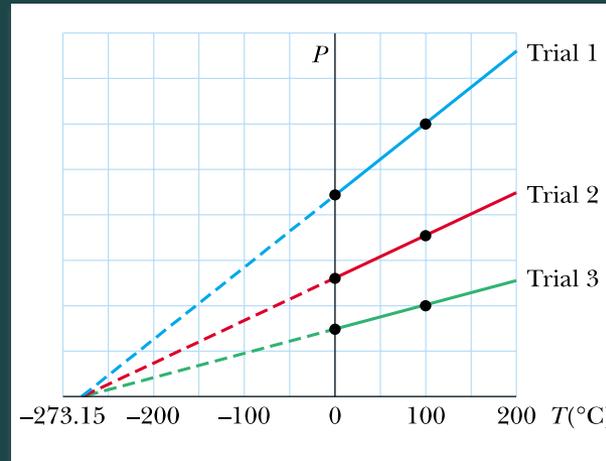


Si la presión inicial es baja obtendremos una curva diferente como curva de calibración para cada presión inicial

Si las curvas se alargan hasta la zona de temperatura negativas...

En todos los casos, independientemente del tipo de gas utilizado o del valor de la presión inicial, la presión es cero cuando la temperatura es de  $-273,15^\circ\text{C}$

# El cero absoluto de temperaturas



En todos los casos, independientemente del tipo de gas utilizado o del valor de la presión inicial, la presión es cero cuando la temperatura es de  $-273,15^{\circ}\text{C}$

Dado que la presión más baja posible es  $P = 0$  (vacío perfecto) esta temperatura debe representar un límite inferior para los procesos físicos.

Definimos esta temperatura como el cero absoluto de temperaturas

# Escala Kelvin de temperaturas

En la escala Kelvin de Temperaturas se define el cero absoluto de temperaturas como punto cero (0 K)

El valor de un grado en la escala Kelvin se ha elegido para que sea igual al valor de un grado en la escala Celsius

$$T_C = T - 273,15$$

Temperatura expresada  
en escala Celsius

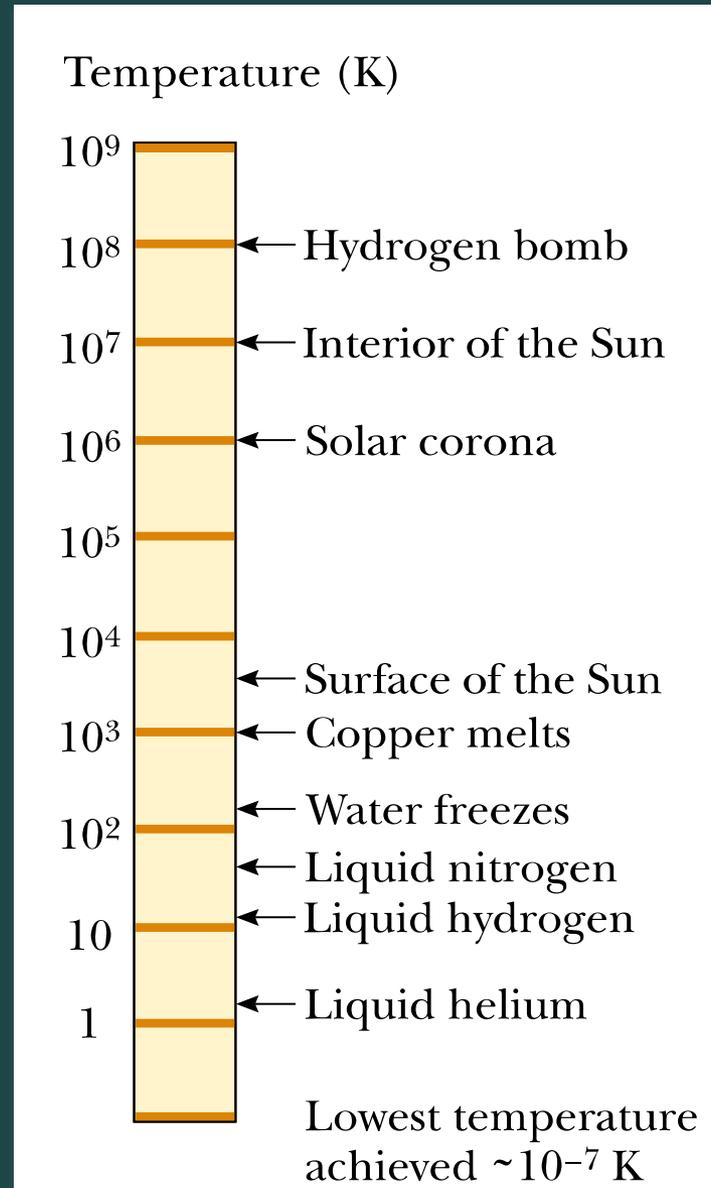
Temperatura expresada  
en escala Kelvin  
(también denominada  
absoluta)

La única diferencia entre estas dos escalas es un desplazamiento del cero de la escala

El cero en la escala Celsius depende de una sustancia particular (agua) en un planeta particular (Tierra)

El cero en la escala absoluta es universal

# Escala Kelvin de temperaturas



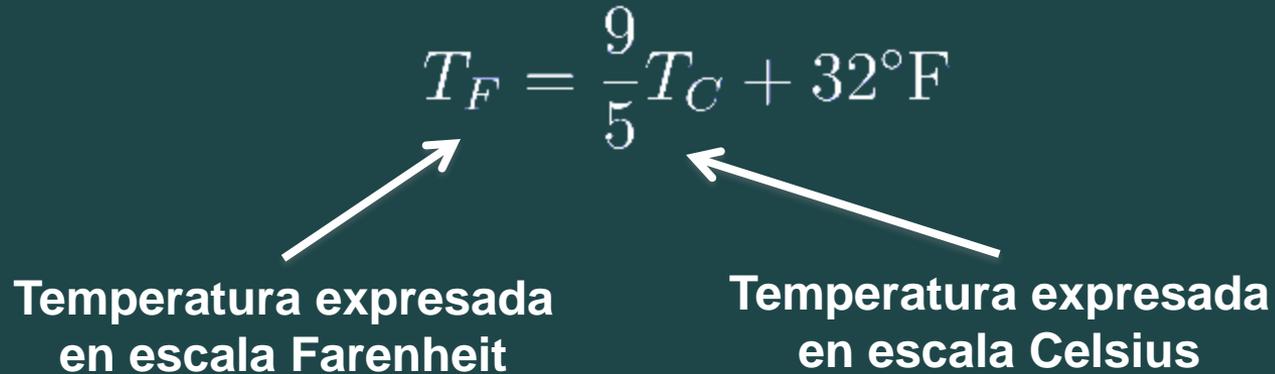
# Escala Farenheit de temperaturas

En la escala Farenheit:

- punto de fusión del hielo:  $32^{\circ}\text{F}$
- punto de ebullición del agua:  $212^{\circ}\text{F}$

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32^{\circ}\text{F}$$

Temperatura expresada  
en escala Farenheit



Temperatura expresada  
en escala Celsius

# Diferentes escalas de temperatura

De las tres escalas de temperatura discutidas, solo la escala Kelvin está basada en un valor cero de la temperatura real

Las escalas Celsius y Farenheit están basadas en un cero de temperaturas arbitrario

Si en una ecuación encontramos un valor de la temperatura  $T$  o un cociente de temperaturas, **debemos convertir todas las temperaturas a Kelvin**

Si la ecuación contiene una diferencia en temperaturas  $\Delta T$  podemos utilizar tanto la escala Celsius como la escala Kelvin

# Dilatación térmica de sólidos y líquidos

En la mayoría de las sustancias, cuando la temperatura aumenta, el volumen aumenta.

A este fenómeno se le conoce como dilatación térmica

Aplicaciones: necesidad de incluir juntas de expansión térmica en edificios, vías de ferrocarril, etc.



# Dilatación térmica de sólidos y líquidos: coeficiente de dilatación lineal

Si la dilatación térmica de un objeto es suficientemente pequeña comparada con las dimensiones iniciales del objeto y si la variación de temperaturas es suficientemente pequeña, entonces podemos aplicar la siguiente aproximación:

El cambio que se produce en cualquiera de sus dimensiones es directamente proporcional a la primera potencia en la variación de la temperatura

$$L_f - L_i = \alpha L_i (T_f - T_i)$$

Longitud final

Longitud inicial a lo largo de cualquier dimensión

Temperatura final

Temperatura inicial

**Coeficiente medio de dilatación lineal para un material dado**  
(Unidades de  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )

$$\Delta L = \alpha L_i \Delta T$$

# Dilatación térmica de sólidos y líquidos: coeficiente de dilatación lineal

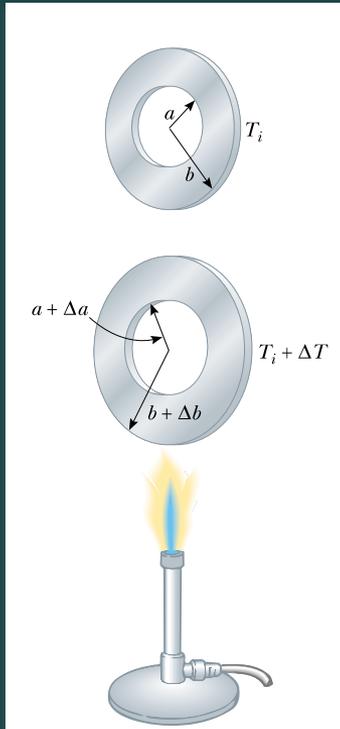
**TABLA 16.1** Coeficientes de dilatación para algunos materiales a temperatura ambiente

Material	Coeficiente de dilatación lineal $\alpha$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) $^{-1}$	Material	Coeficiente de dilatación volumétrica $\beta$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) $^{-1}$
Aluminio	$24 \times 10^{-6}$	Alcohol, etilo	$1,12 \times 10^{-4}$
Latón y bronce	$19 \times 10^{-6}$	Benceno	$1,24 \times 10^{-4}$
Cobre	$17 \times 10^{-6}$	Acetona	$1,5 \times 10^{-4}$
Vidrio (ordinario)	$9 \times 10^{-6}$	Glicerina	$4,85 \times 10^{-4}$
Vidrio (pyrex)	$3,2 \times 10^{-6}$	Mercurio	$1,82 \times 10^{-4}$
Plomo	$29 \times 10^{-6}$	Trementina	$9,0 \times 10^{-4}$
Acero	$11 \times 10^{-6}$	Gasolina	$9,6 \times 10^{-4}$
Invar (aleación de Fe-Ni)	$0,9 \times 10^{-6}$	Aire a $0^{\circ}\text{C}$	$3,67 \times 10^{-3}$
Hormigón	$12 \times 10^{-6}$	Helio a $0^{\circ}\text{C}$	$3,665 \times 10^{-3}$

Para la mayoría de las sustancias es positivo, aunque no siempre es así (por ejemplo, la calcita  $\text{CaCO}_3$  se dilata en una dimensión y se contrae según otra cuando la temperatura aumenta)

# Dilatación térmica de sólidos y líquidos: analogía con la ampliación de una fotografía

Cuando una sustancia se calienta, por ejemplo una arandela, todas las dimensiones del mismo aumentan (también el radio interior de la arandela)



Un agujero de una pieza de un determinado material se dilata de la misma forma que lo haría una pieza sólida de ese mismo material y que tuviera la misma forma que el agujero

Dado que las dimensiones lineales de los objetos varían con la temperatura, el volumen y el área superficial también varían

# Dilatación térmica de sólidos y líquidos: coeficiente medio de dilatación volumétrica

Sea un cubo cuyo lado tiene una longitud inicial  $L_i$  y, por lo tanto, un volumen inicial  $V_i = L_i^3$

Cuando la temperatura aumenta, la longitud de cada lado aumenta

$$L_f = L_i + \alpha L_i \Delta T$$

El nuevo volumen  $V_f = L_f^3$  es

$$\begin{aligned} L_f^3 &= (L_i + \alpha L_i \Delta T)^3 \\ &= L_i^3 + 3\alpha L_i^3 \Delta T + 3\alpha^2 L_i^3 (\Delta T)^2 + \alpha^3 L_i^3 (\Delta T)^3 \end{aligned}$$

Como  $\alpha \Delta T \ll 1$  podemos despreciar los dos últimos sumandos

$$V_f = L_f^3 = L_i^3 + 3\alpha L_i^3 \Delta T = V_i + 3\alpha V_i \Delta T$$

$$\Delta V = V_f - V_i = \beta V_i \Delta T$$

$\beta = 3\alpha$  es el coeficiente medio de dilatación volumétrica

Fórmula válida independientemente de la forma con tal de que  $\alpha$  sea la misma en todas direcciones

# Dilatación térmica de sólidos y líquidos: coeficiente medio de dilatación superficial

De forma análoga se puede demostrar que el incremento del área de un objeto debido a la temperatura viene dado por

$$\Delta A = \gamma A_i \Delta T$$

$\gamma = 2\alpha$  es el coeficiente medio de dilatación superficial

# Descripción macroscópica de un gas ideal

En un gas las fuerzas interatómicas son muy débiles  
(incluso pueden considerarse como inexistentes en una buena aproximación)

En un gas, no hay una separación de equilibrio para los átomos, y por lo tanto,  
no podemos definir el “volumen” a una temperatura dada

Como consecuencia, no podemos utilizar las expresiones anteriores, puesto  
que no podemos definir el volumen en el comienzo del proceso

Si introducimos un gas en un recipiente, este se expande de manera uniforme  
hasta ocupar todo el recipiente

Por lo tanto, el gas no tiene ni un volumen ni una presión fijas:

- volumen: el del recipiente que lo contiene
- presión: depende del tamaño del recipiente

**Objetivo: estudiar las propiedades de un gas a presión  $P$  y temperatura  $T$  ,  
confinado en un recipiente de volumen  $V$   
(ecuación de estado)**

# Descripción macroscópica de un gas ideal: definición de gas ideal

## Modelo de gas ideal:

Un gas ideal es un conjunto de átomos o moléculas que se mueven aleatoriamente, sin ejercer fuerzas entre sí y que ocupan una parte despreciable del volumen del recipiente que los contiene

Aproximación muy buena en el caso de considerar gases con baja densidad

Experimentalmente, la ecuación de estado de un gas a una presión baja (en la cual la aproximación de gas ideal funciona bien), es relativamente sencilla

# Descripción macroscópica de un gas ideal: definición de mol

Podemos expresar la cantidad de gas que hay en un volumen determinado en función del número de moles

Un mol de una sustancia es la cantidad de sustancia que contiene un número de Avogadro de partículas constituyentes

$$N_A = 6.022 \times 10^{23}$$

El número de moles de una sustancia  $n$  está relacionado con su masa  $m$  a través de la expresión

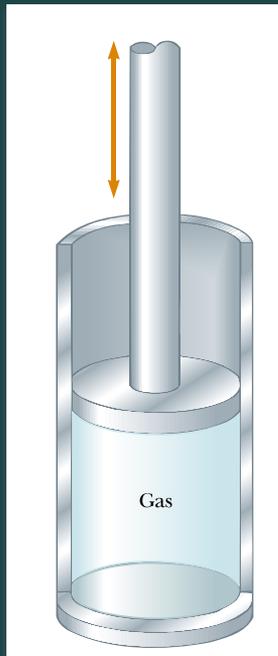
$$n = \frac{m}{M}$$

donde  $M$  es la masa molar de la sustancia.

La masa molar de cada elemento químico es la masa atómica, expresada en gramos/mol

# Descripción macroscópica de un gas ideal: ecuación de estado de un gas ideal

Supongamos un gas ideal confinado en un recipiente cilíndrico cuyo volumen puede variarse por medio de un émbolo móvil



Información experimental:

**Ley de Boyle:** cuando el gas se mantiene a temperatura constante, la presión es inversamente proporcional al volumen

**Ley de Charles y Gay-Lussac:** cuando el gas se mantiene a presión constante, el volumen es directamente proporcional a la temperatura

Estas dos leyes se resumen en la **ecuación de estado de un gas ideal**

$$PV = nRT$$

# Descripción macroscópica de un gas ideal: ecuación de estado de un gas ideal

Ecuación de estado de un gas ideal

$$PV = nRT$$

Número de moles

Temperatura absoluta (K)

Constante universal de los gases

$$R = 8.315 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \quad (\text{SI})$$

$$R = 0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm/mol} \cdot \text{K}$$

El volumen que ocupa un mol de cualquier gas (supuesto ideal) a presión atmosférica y a una temperatura de  $0^\circ \text{C}$  (273 K) es de 22.4 L

# Descripción macroscópica de un gas ideal: ecuación de estado de un gas ideal

Ecuación de estado de un gas ideal

$$PV = nRT$$

Podemos expresar la ley en función del número total de moléculas  $N$

$$PV = nRT = \frac{N}{N_A}RT$$

$$PV = Nk_B T$$

donde  $k_B$  es la constante de Boltzmann

$$k_B = \frac{R}{N_A} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

# Concepto de energía interna

La energía interna es la energía asociada a los componentes microscópicos de un sistema (átomos y moléculas) cuando se observan desde un sistema de referencia que está en reposo con respecto al sistema. Incluye las energías cinéticas y potencial asociada a los movimientos aleatorios de traslación, de rotación, y vibración de los átomos o moléculas que forman el sistema, así como la energía potencial intermolecular

# Concepto de calor

**El calor es un mecanismo por el que la energía se transfiere entre un sistema y su entorno como consecuencia de una diferencia de temperatura entre ellos. También es la cantidad de energía  $Q$  transferida a través de ese mecanismo**

**No tiene sentido utilizar el término calor a menos que haya habido una transferencia de energía como consecuencia de una diferencia de temperatura**

# Unidades de calor

El calor es es una medida de transferencia de energía y, por lo tanto, su unidad en el SI debería de ser el Julio

Sin embargo, antes de que los científicos descubrieran la relación entre los procesos mecánicos y termodinámicos, el calor se definía en función de las variaciones de temperatura que se producían en un objeto

El caloría (cal) es el calor necesario para elevar la temperatura de un gramo de agua de  $14.5^{\circ}\text{C}$  a  $15.5^{\circ}\text{C}$

$$1 \text{ cal} \equiv 4.186 \text{ J}$$

Esta definición de caloría (que no hace referencia alguna al agua, sino a una equivalencia entre caloría y Julio, se la conoce como **equivalente mecánico del calor**

# Definición de calor específico

La cantidad de energía necesaria para elevar un grado la temperatura de un kilogramo de una sustancia cualquiera depende de la sustancia en cuestión

Supongamos que se transfiere una cantidad de energía  $Q$  a una masa  $m$  de una determinada sustancia, cambiando como consecuencia su temperatura en  $\Delta T$

**El calor específico  $c$  de la sustancia se define como**

$$c \equiv \frac{Q}{m\Delta T}$$

Las unidades del calor específico son en el SI (J/kg $\cdot$ ° C)

Podemos expresar la cantidad de energía transferida  $Q$  entre un sistema de masa  $m$  y su entorno en función de la variación de temperatura resultante  $\Delta T$

$$Q = mc\Delta T$$

# Definición de calor específico: criterio de signos

Cuando la temperatura aumenta,  $Q$  y  $\Delta T$  se consideran positivos, lo que corresponde a una energía que entra en el sistema

Cuando la temperatura disminuye,  $Q$  y  $\Delta T$  se consideran negativos, lo que corresponde a una energía que sale del sistema

# Valores de calor específico para diferentes sustancias

**TABLA 17.1** Calores específicos de algunas sustancias a 25 °C y presión atmosférica

Sustancia	Calor específico, $c$	
	J/kg·°C	cal/g·°C
<b>Elementos sólidos</b>		
Aluminio	900	0,215
Berilio	1830	0,436
Cadmio	230	0,055
Cobre	387	0,0924
Germanio	322	0,077
Oro	129	0,0308
Hierro	448	0,107
Plomo	128	0,0305
Silicio	703	0,168
Plata	234	0,056
<b>Otros sólidos</b>		
Latón	380	0,092
Madera	1700	0,41
Vidrio	837	0,200
Hielo (-5,0°C)	2090	0,50
Mármol	860	0,21
<b>Líquidos</b>		
Alcohol (etílico)	2400	0,58
Mercurio	140	0,033
Agua (15,0°C)	4186	1,00

Experimentalmente, los valores de calor específico medidos dependen de las condiciones del experimento.

En general, las medidas hechas en condiciones de presión constante son diferentes a las medidas realizadas en condiciones de volumen constante.

En sólidos y líquidos, las diferencias suelen ser menores a unos pocos por-ciento

# Como medir el calor específico: calorimetría

Técnica para medir el calor específico de un líquido o un sólido:

1. Aumentar la temperatura de la sustancia hasta un determinado valor
2. Introducir la sustancia en un recipiente que contenga agua de masa conocida y a una temperatura conocida
3. Medir la temperatura de la combinación cuando se alcanza el equilibrio

Si se supone que el recipiente está bien aislado (de manera que no pierda energía en forma de calor ni por ningún otro medio), podemos utilizar el modelo de sistema aislado. A este recipiente se denomina **calorímetro**

Principio de conservación de la energía para este sistema aislado: la energía en forma de calor que transfiere la sustancia más caliente (de calor específico desconocido) es igual a la energía que absorbe el agua

$$Q_{\text{frio}} = -Q_{\text{caliente}}$$

# Como medir el calor específico: calorimetría

Técnica para medir el calor específico de un líquido o un sólido:

Principio de conservación de la energía para este sistema aislado:  
la energía en forma de calor que transfiere la sustancia más caliente (de calor específico desconocido) es igual a la energía que absorbe el agua

$$Q_{\text{frio}} = -Q_{\text{caliente}}$$

**Sustancia cuyo calor específico desconocemos**

**Agua**

$c_x$  Calor específico

$c_a$  Calor específico

$m_x$  Masa

$m_a$  Masa

$T_x$  Temperatura inicial

$T_a$  Temperatura inicial

$T$  Temperatura final de equilibrio después de haber combinado sustancia y agua

$$m_a c_a (T - T_a) = -m_x c_x (T - T_x)$$

# Como medir el calor específico: calorimetría

Técnica para medir el calor específico de un líquido o un sólido:

$$m_a c_a (T - T_a) = -m_x c_x (T - T_x)$$

$$c_x = \frac{m_a c_a (T - T_a)}{m_x (T_x - T)}$$

**Sustituyendo los valores conocidos en la parte derecha de la ecuación, podemos calcular el calor específico de la sustancia**

**(En este proceso suponemos que la masa de agua es grande, y podemos utilizar un modelo simplificado en el que ignoramos la energía transferida al recipiente)**

# Calor latente y cambios de fase

Las sustancias sufren normalmente una variación de temperatura cuando se transfiere energía entre la sustancia y el entorno

**Sin embargo, hay situaciones en las cuales la transferencia de energía no provoca una variación en la temperatura**

Esto puede ocurrir cuando las características físicas de la sustancia cambian entre un posible estado y otro (es decir, cuando sufren un **cambio de fase**)

**Cambios de fase comunes:**

- **Fusión: de sólido a líquido**
- **Vaporización: de líquido a gas**
- **Cambios de estructura cristalina dentro de un sólido**

**Todos estos cambios implican un cambio en la energía interna, pero no una variación de temperatura**

**La energía que se transmite a la sustancia durante la fusión o la vaporización se traduce en un aumento de la energía potencial intermolecular a medida que se rompen enlaces, más que en un movimiento aleatorio de las partículas**

# Calor latente y cambios de fase

Sustancias diferentes responden de manera diferente a la adición o substracción de energía, debido a que su composición molecular interna es diferente

Además, la cantidad de energía transferida durante un cambio de fase depende de la cantidad de sustancia involucrada

Si se requiere una cantidad  $Q$  de energía transferida para producir un cambio de fase en una masa  $m$  de sustancia, la relación

$$L \equiv \frac{Q}{m}$$

Caracteriza una importante propiedad térmica de la sustancia: **el calor latente**

El valor de  $L$  para una sustancia depende de la naturaleza del cambio de fase, así como de las propiedades de la sustancia

# Calor latente y cambios de fase

A partir de la definición de calor latente, y de nuevo tomando el calor como nuestro mecanismo de transferencia de energía, podemos decir que la transferencia de energía necesaria para que se produzca un cambio de fase en una masa  $m$  de sustancia es

$$Q = \pm mL$$

El signo de la ecuación anterior debe escogerse de acuerdo con la dirección en la que fluya la energía:

- positiva: si se está introduciendo energía en el sistema (por ejemplo, en la fusión de un bloque de hielo para convertirse en agua)
- negativa: si se está extrayendo energía del sistema (por ejemplo, en la congelación de agua líquida para convertirse en hielo)

# Calor latente de fusión y calor latente de vaporización

El **calor latente de fusión**  $L_f$  es el término que se utiliza cuando el cambio de fase en cuestión se refiere a una fusión o a una solidificación (es decir, **una transición de fase de líquido a sólido**)

Es la energía necesaria para romper todos los enlaces intermoleculares de un kilogramo de una sustancia, de forma que pueda pasar de fase sólida a líquida

El **calor latente de vaporización**  $L_v$  es el término que se utiliza cuando el cambio de fase en cuestión se refiere a una vaporización o condensación (es decir, **una transición de fase de líquido a gas**)

Es la energía que hay que suministrar a un kilogramo de una sustancia en fase líquida para romper todos los enlaces del líquido de modo que se convierta en gas

Los calores latentes varían significativamente de una sustancia a otra

# Valores del calor latente para varias sustancias

**TABLA 17.2****Calores latentes de fusión y vaporización**

Sustancia	Punto de fusión (°C)	Calor latente de fusión (J/kg)	Punto de ebullición (°C)	Calor latente de vaporización (J/kg)
Helio	-269,65	$5,23 \times 10^3$	-268,93	$2,09 \times 10^4$
Nitrógeno	-209,97	$2,55 \times 10^4$	-195,81	$2,01 \times 10^5$
Oxígeno	-218,79	$1,38 \times 10^4$	-182,97	$2,13 \times 10^5$
Alcohol etílico	-114	$1,04 \times 10^5$	78	$8,54 \times 10^5$
Agua	0,00	$3,33 \times 10^5$	100,00	$2,26 \times 10^6$
Azufre	119	$3,81 \times 10^4$	444,60	$3,26 \times 10^5$
Plomo	327,3	$2,45 \times 10^4$	1750	$8,70 \times 10^5$
Aluminio	660	$3,97 \times 10^5$	2450	$1,14 \times 10^7$
Plata	960,80	$8,82 \times 10^4$	2193	$2,33 \times 10^6$
Oro	1063,00	$6,44 \times 10^4$	2660	$1,58 \times 10^6$
Cobre	1083	$1,34 \times 10^5$	1187	$5,06 \times 10^6$

# Valores del calor latente para varias sustancias

