



Ley cero de la termodinámica

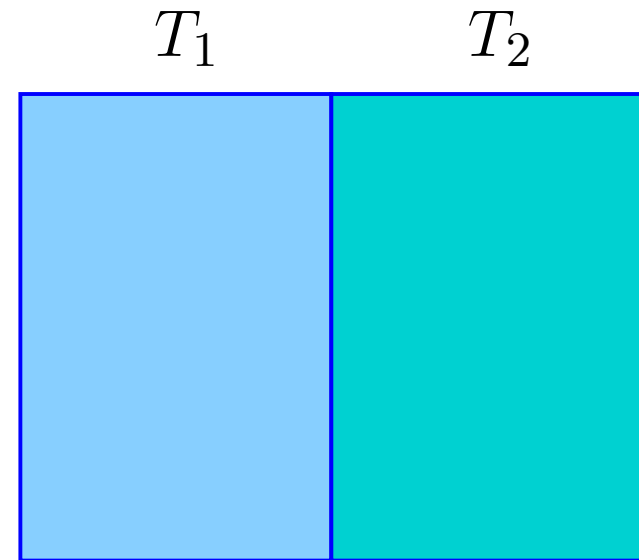
Prof. Jesús Hernández Trujillo
Facultad de Química, UNAM



Temperatura



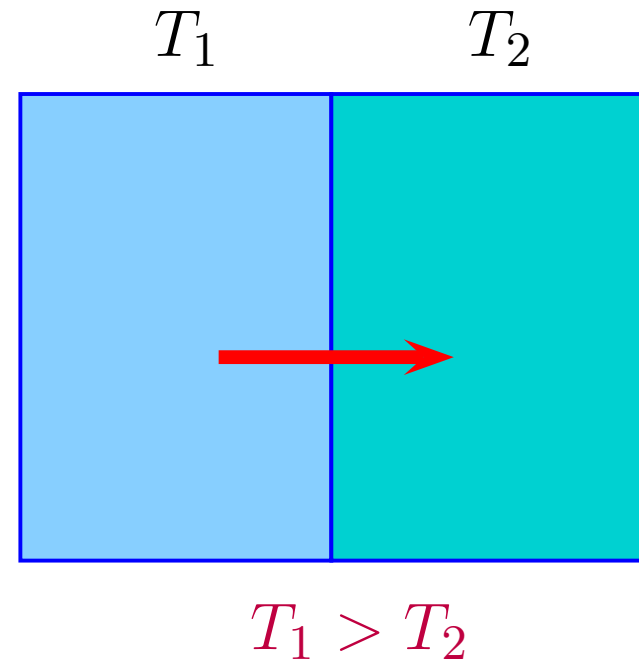
- Dos sistemas en contacto con una pared diatermica:



Temperatura



- Dos sistemas en contacto con una pared diatermica:
- La temperatura es la propiedad que indica la dirección de flujo de energía entre los sistemas

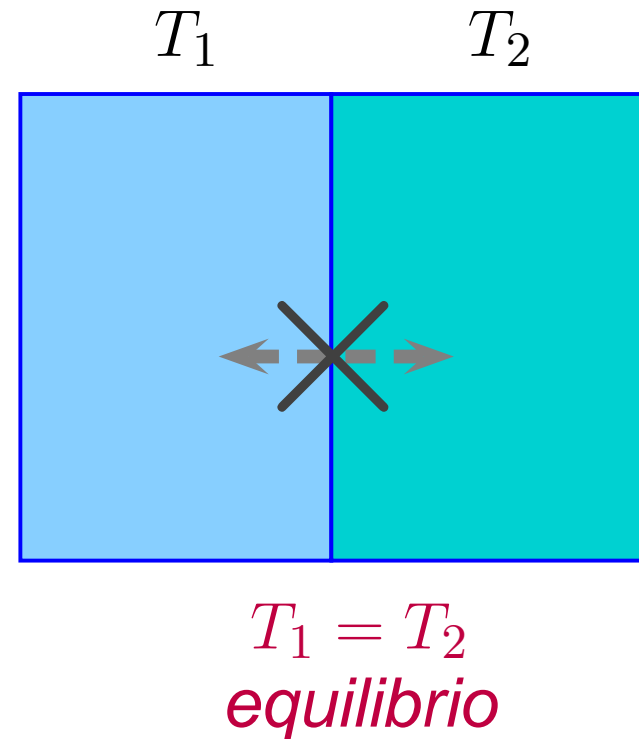




Temperatura

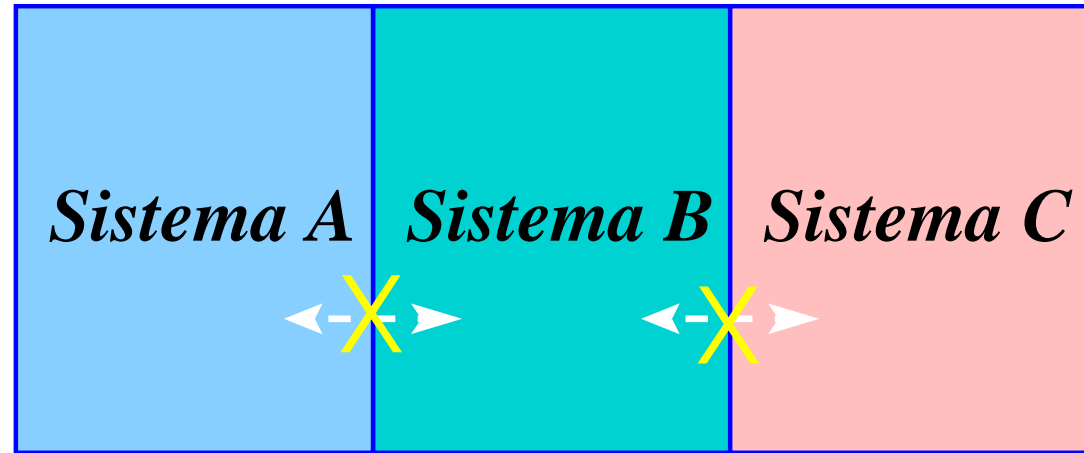


- Dos sistemas en contacto con una pared diatermica:
- La temperatura es la propiedad que indica la dirección de flujo de energía entre los sistemas
- Dos sistemas en equilibrio mediante una pared diatérmica están a la misma temperatura





observación
experimental:

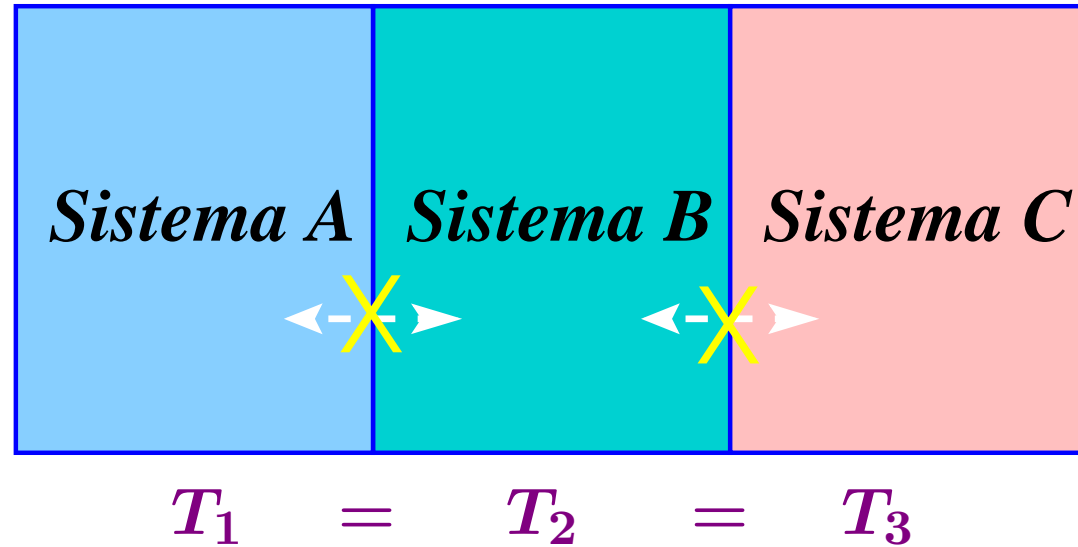


*Si A está en equilibrio
térmico con B y a su vez B
está en equilibrio térmico
con C, entonces A está en
equilibrio térmico con C*

*Ley cero de la
termodinámica*



observación
experimental:



*Si A está en equilibrio
térmico con B y a su vez B
está en equilibrio térmico
con C, entonces A está en
equilibrio térmico con C*

*Ley cero de la
termodinámica*

*La condición de equilibrio
térmico es transitiva*



La Ley cero:

- Permite definir la variable no mecánica ***temperatura***, T , y su medición



La Ley cero:

- Permite definir la variable no mecánica **temperatura**, T , y su medición
- Asegura que existe **relación funcional** entre T y las variables mecánicas del sistema:

$$T = f(\underbrace{X_1, X_2, \dots, X_N}_{\text{variables mecánicas}})$$

Relación empírica



La Ley cero:

- Permite definir la variable no mecánica **temperatura**, T , y su medición
- Asegura que existe **relación funcional** entre T y las variables mecánicas del sistema:

$$T = f(\underbrace{X_1, X_2, \dots, X_N}_{\text{variables mecánicas}})$$

Relación empírica

- A nivel molecular, T se relaciona con la energía cinética promedio de los átomos o moléculas del sistema (**mecánica estadística**)



La Ley cero:

- Justifica la definición y construcción de un *termómetro*



La Ley cero:

- Justifica la definición y construcción de un **termómetro**
- Un termómetro es un aparato que permite medir la temperatura en términos de las variables mecánicas del sistema

Por ejemplo:

Una columna de mercurio



- ***Termómetro:***

Sistema termodinámico en el que todas excepto una variable mecánica permanecen fijas.



- ***Termómetro:***

Sistema termodinámico en el que todas excepto una variable mecánica permanecen fijas.

- La variable mecánica que no está fija se llama ***propiedad termométrica***

Ejemplos:

- Volumen de una columna líquida
- La presión de un gas a volumen constante
- La resistencia eléctrica de un alambre de platino
- La radiación emitida por un sólido caliente



- **Termómetro:**

Sistema termodinámico en el que todas excepto una variable mecánica permanecen fijas.

- La variable mecánica que no está fija se llama **propiedad termométrica**

Ejemplos:

- Volumen de una columna líquida
 - La presión de un gas a volumen constante
 - La resistencia eléctrica de un alambre de platino
 - La radiación emitida por un sólido caliente
- A la propiedad termométrica se le permite variar con la temperatura
-



Más ejemplos:





Pasos para la construcción de un termómetro:

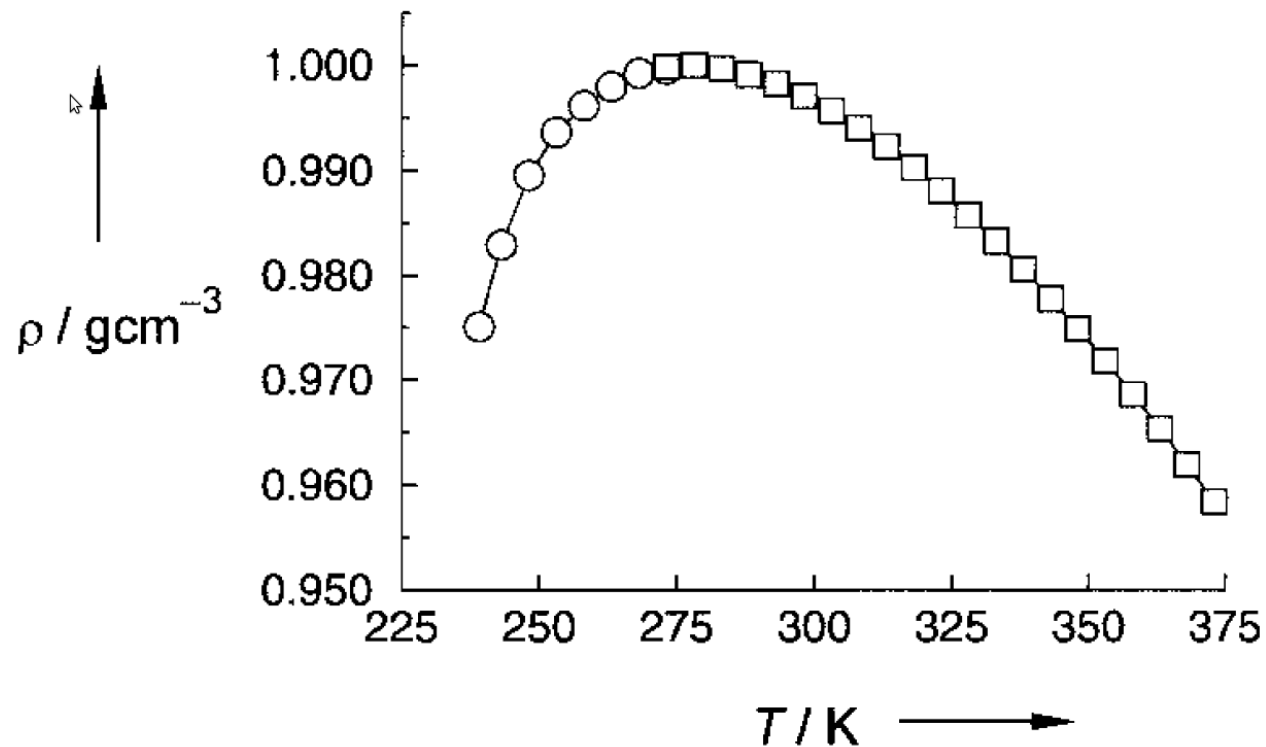
1. Selección de un sistema termodinámico de referencia
 - Es homogéneo
 - Tiene composición fija

2. Elección de una escala de temperatura (conjunto arbitrario de números y método de asignación de valores de temperatura)
 - El termómetro ha de ser tal que asigne un solo valor a cada temperatura
 - El intervalo de temperaturas se establece asignando puntos fijos



Ejemplos:

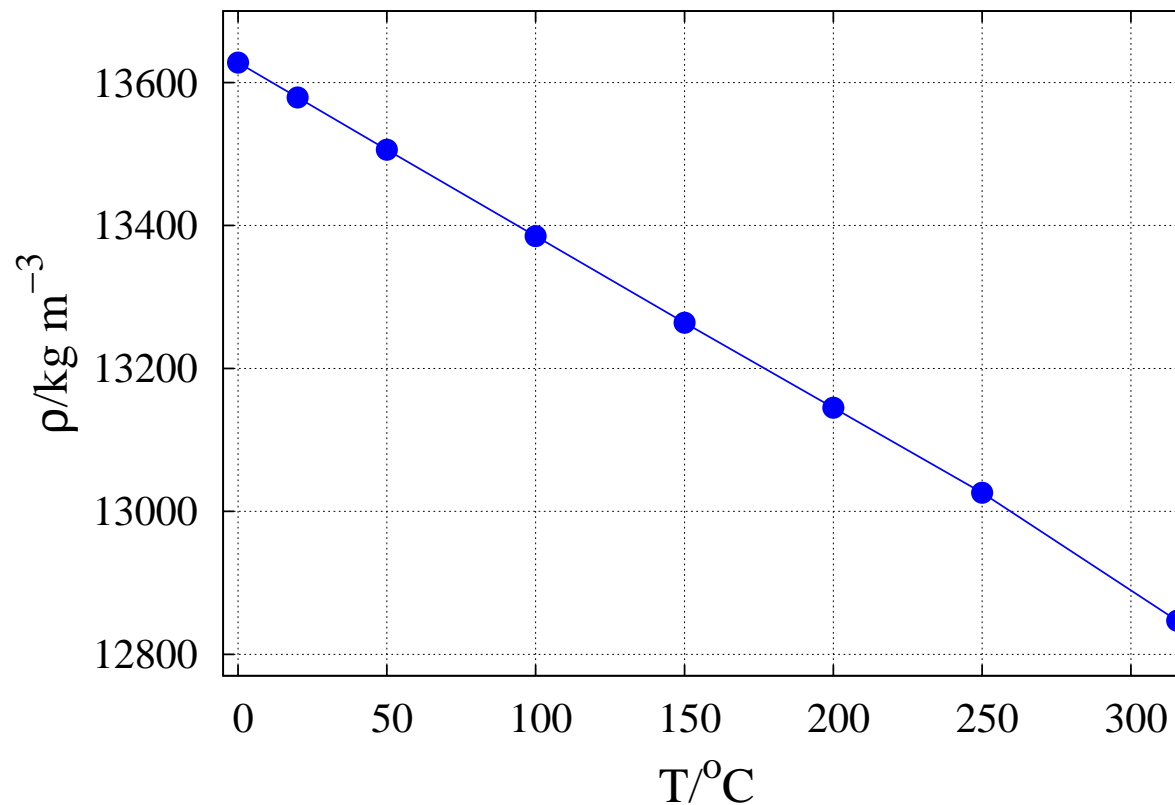
- El agua líquida no puede ser la sustancia de trabajo de un termómetro cerca de su punto de fusión a 1 atm





Ejemplos:

- El mercurio sí puede ser la sustancia de trabajo en las condiciones anteriores



fuentes: www.engineeringtoolbox.com/mercury-d_1002.html



Los valores de los puntos fijos dependen de:

- La sustancia que se use como termómetro
- La propiedad termométrica
- El diseño o construcción del termómetro



Ejemplo:

Escala de temperaturas en grados Celsius

- La temperatura θ es una función lineal del volumen de un líquido

$$\theta = k_1 V + b, \quad k_1, b \text{ constantes}$$





Ejemplo:

Escala de temperaturas en grados Celsius

- La temperatura θ es una función lineal del volumen de un líquido

$$\theta = k_1 V + b, \quad k_1, b \text{ constantes}$$

- Si el líquido se coloca en un capilar de altura h

$$\theta = k_1 (Ah) + b$$

Es decir:

$$\theta = kh + b, \quad k = k_1 A$$





● Para encontrar k y b :

$\theta = 0^{\circ}\text{C}$: punto de fusión del hielo

$\theta = 100^{\circ}\text{C}$: punto de ebullición del agua

\Rightarrow a 1 atm



-
- Para encontrar k y b :
 - $\theta = 0^{\circ}\text{C}$: punto de fusión del hielo
 - $\theta = 100^{\circ}\text{C}$: punto de ebullición del agua
 - \Rightarrow a 1 atm
 - Dividir en 100 intervalos iguales el segmento entre 0 y 100°C



- Para encontrar k y b :

$\theta = 0^{\circ}\text{C}$: punto de fusión del hielo

$\theta = 100^{\circ}\text{C}$: punto de ebullición del agua

⇒ a 1 atm

- Dividir en 100 intervalos iguales el segmento entre 0 y 100°C

- Otra opción: Grados Farenheit

$\theta_F = 32^{\circ}\text{F}$: punto de fusión del hielo

$\theta_F = 212^{\circ}\text{F}$: punto de ebullición del agua

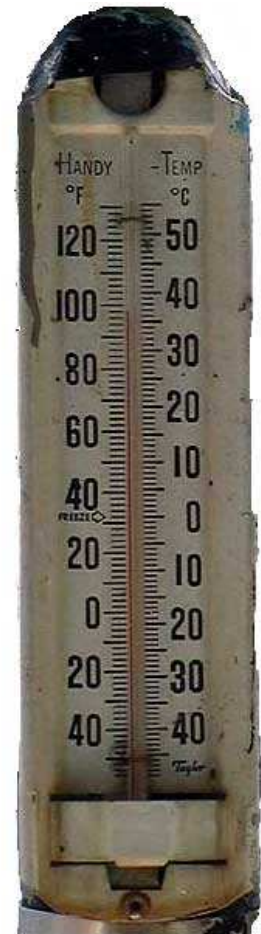
⇒ a 1 atm



- Para encontrar k y b :
 - $\theta = 0^{\circ}\text{C}$: punto de fusión del hielo
 - $\theta = 100^{\circ}\text{C}$: punto de ebullición del agua

\Rightarrow a 1 atm
- Dividir en 100 intervalos iguales el segmento entre 0 y 100°C
- Otra opción: Grados Farenheit
 - $\theta_F = 32^{\circ}\text{F}$: punto de fusión del hielo
 - $\theta_F = 212^{\circ}\text{F}$: punto de ebullición del agua

\Rightarrow a 1 atm
- Dividir en 180 intervalos iguales el segmento entre 32 y 212°C





Ejercicio:

En base a la información anterior, obtén la expresión para realizar la conversión de grados Celsius, θ , a Farenheit, θ_F



Ejercicio:

En base a la información anterior, obtén la expresión para realizar la conversión de grados Celsius, θ , a Farenheit, θ_F

Lectura recomendada:

“Fahrenheit and Celsius, A story”,
E. R. Jones, Jr., *The Physics Teacher*, **vol. 18**,
páginas 594–595 (1980)



Termómetro del gas ideal

Consideraciones:

- Diferentes líquidos se expanden de diferente manera y no siempre uniformemente



Termómetro del gas ideal

Consideraciones:

- Diferentes líquidos se expanden de diferente manera y no siempre uniformemente
- Diferentes materiales muestran diferentes valores de temperatura en sus puntos fijos



Termómetro del gas ideal

Consideraciones:

- Diferentes líquidos se expanden de diferente manera y no siempre uniformemente
- Diferentes materiales muestran diferentes valores de temperatura en sus puntos fijos

Por otro lado:

- La presión de un gas puede usarse para construir un termómetro virtualmente independiente de la naturaleza del gas



Ley de Charles:

$$V = m\theta + b$$

donde

V : volumen

m : pendiente

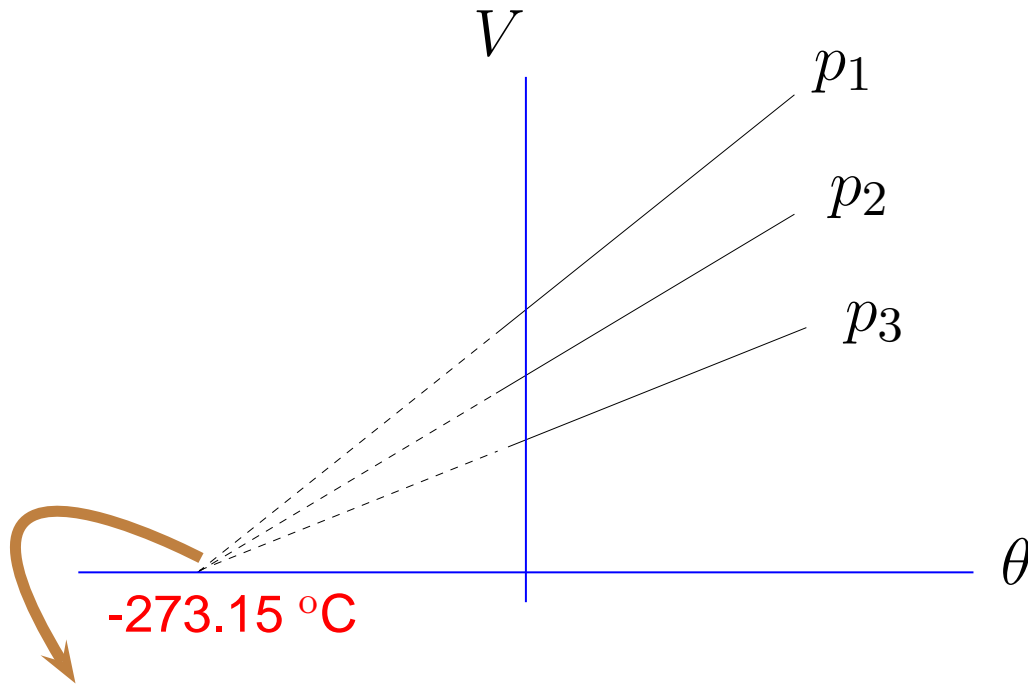
θ : $T/ ^\circ\text{C}$

b : ordenada

***Se cumple a
presiones bajas***



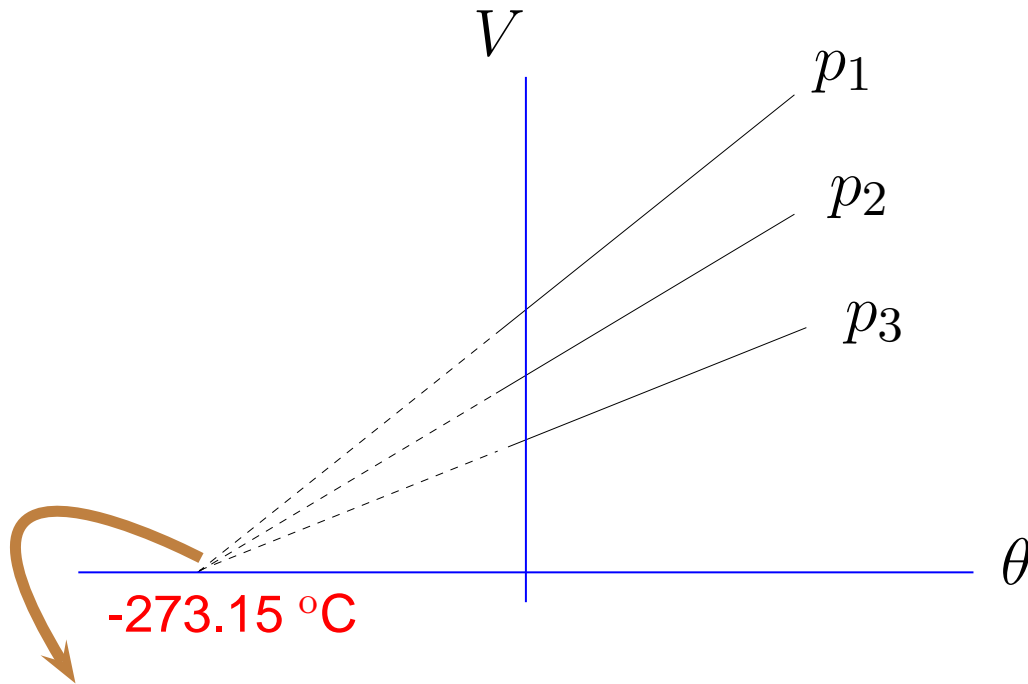
Extrapolación de las curvas V vs θ a diferentes presiones



**comportamiento independiente
de la naturaleza del gas**



Extrapolación de las curvas V vs θ a diferentes presiones



comportamiento independiente
de la naturaleza del gas

Nueva escala de temperatura (grados Kelvin):

$$T = cV$$

Por ejemplo:

$$T = 0 \text{ cuando } V = 0$$



Falta definir otro punto fijo

Sea $T_{tr} = 273.16$ K en el punto triple del agua:

$$c = \frac{T_{tr}}{V_{tr}} = \frac{273.16\text{K}}{V_{tr}}$$

Por lo tanto:

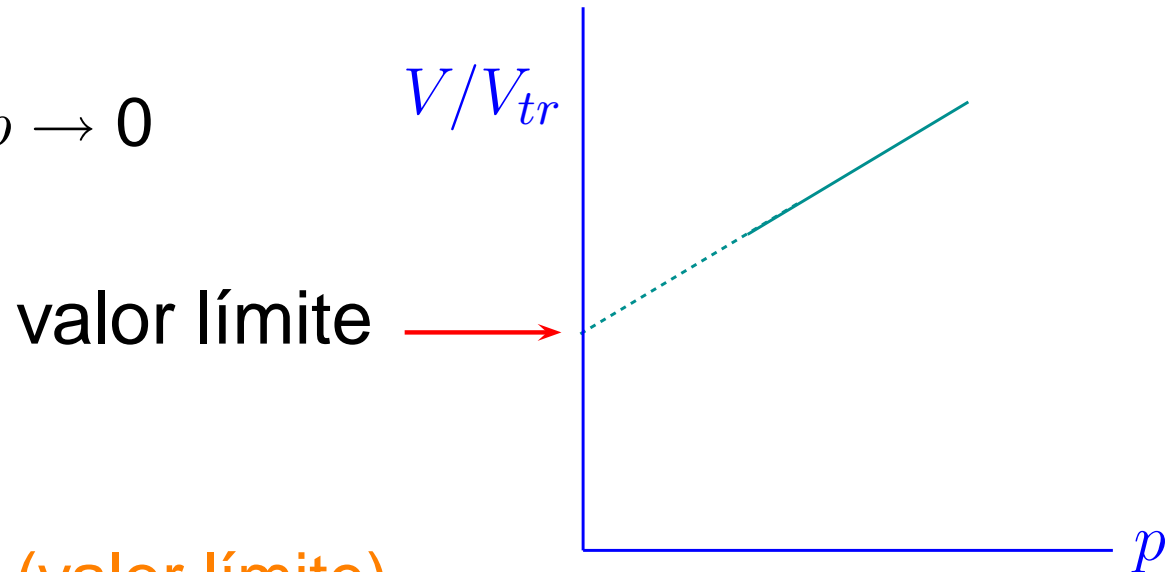
$$T = 273.16 \text{ K} \lim_{p \rightarrow 0} \frac{V}{V_{tr}}$$



Para medir la temperatura de un sistema:

- Se mide el volumen de un gas ideal en equilibrio térmico con
 1. el sistema a diferentes presiones
 2. agua en el punto triple

- Se extrapola a $p \rightarrow 0$



$$T = (273.16 \text{ K}) \times (\text{valor límite})$$



Relación con grados Celsius:

$$T = \theta_C + 273.15$$



Relación con grados Celsius:

$$T = \theta_C + 273.15$$

- El termómetro del gas ideal no se usa en la práctica
- Con él se pueden determinar los puntos fijos de otras sustancias en un amplio rango de temperaturas



Algunos valores de temperatura de punto fijo:

Ebullición de He	4.22 K
Ebullición de N ₂	77.34 K
Fusión de Hg	234.29 K
Fusión de H ₂ O	273.15 K
Punto triple de H ₂ O	273.6 K (exactamente)
Ebullición de H ₂ O	373.15 K
Fusión de S	717.75 K
Fusión de Au	1336.15 K



-
- Escala internacional de temperatura (1990):
extrapolación entre estos valores usando un
termómetro de platino

 - ***La escala del gas ideal es la escala
termodinámica de temperaturas***