

Termodinámica - Clase 3

Graeme Candlish

Instituto de Física y Astronomía, UV
graeme.candlish@ifa.uv.cl

Conceptos en esta clase

Energía interna

Calor

La primera ley de la termodinámica

Capacidad calorífica

Relaciones entre C_P y C_V

Resumen

Conceptos en esta clase

- Energía interna
- Calor
- La primera ley de la termodinámica
- Capacidad calorífica

Conceptos en esta clase

Energía interna

Calor

La primera ley de la termodinámica

Capacidad calorífica

Relaciones entre C_P y C_V

Resumen

Nueva variable termodinámica: energía interna

¿Tiene alguna energía un vaso de agua descansando sobre una mesa?

En una escala macroscópica no hay energía aparente en el vaso de agua.

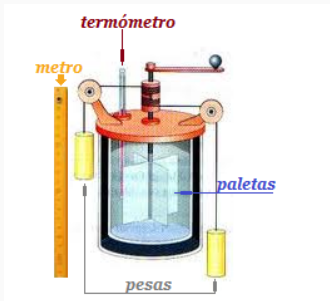


La energía cinética microscópica es parte de la energía interna.



Las fuerzas moleculares atractivas están asociadas con la energía potencial.

Energía interna en la termodinámica clásica



James Prescott Joule,
físico inglés
(1818-1889), de una
familia dedicada a la
fabricación de
cervezas.

Se puede calcular el trabajo hecho por la gravedad en mover los pesos (trabajo mecánico):

$$|W| = 4.2 \times 10^3 [\text{J}] \quad \text{por kg por K} \quad (1)$$

⇒ equivalente mecánico del calor

Energía interna en la termodinámica clásica



Se puede calcular el trabajo hecho por la corriente eléctrica (trabajo eléctrico):

$$|W| = 4.2 \times 10^3 [\text{J}] \quad \text{por kg por K} \quad (2)$$

Energía interna en la termodinámica clásica

Si un sistema **aislado térmicamente** se cambia de un estado de equilibrio a otro, el trabajo necesario es *independiente* del proceso.

\Rightarrow existe una variable del estado U para cual $U_2 - U_1 = W_{\text{adiabático}}$.

Conceptos en esta clase

Energía interna

Calor

La primera ley de la termodinámica

Capacidad calorífica

Relaciones entre C_P y C_V

Resumen

Un sistema no aislado térmicamente

Si el sistema NO está aislado térmicamente, en general tenemos

$$W \neq U_2 - U_1$$

Generalizamos la relación entre trabajo y energía interna para incluir sistemas no aislados térmicamente:

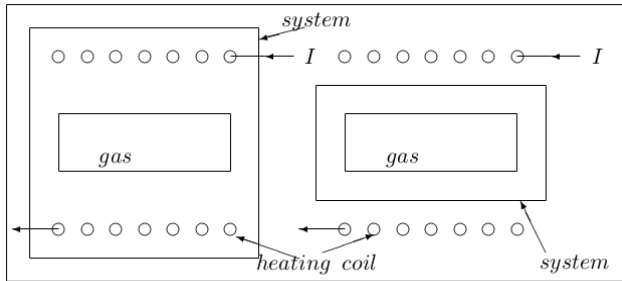
$$W + Q = U_2 - U_1$$

Q expresa la transferencia de energía que no se puede expresar en términos de trabajo. Por convención, $Q > 0$ para energía que *fluye hacia el sistema*.

La definición de calor:

El intercambio de energía entre el sistema y su entorno que no se puede identificar como trabajo (e.g. trabajo mecánico).

Equivalencia entre W y Q



- Lado izquierdo: calefactor de inmersión es parte del sistema—suministra su energía como **trabajo** (eléctrico).
- Lado derecho: calefactor es parte del *entorno*—suministra su energía como **calor**.

Conceptos en esta clase

Energía interna

Calor

La primera ley de la termodinámica

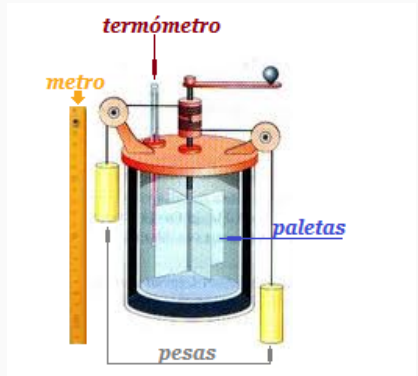
Capacidad calorífica

Relaciones entre C_P y C_V

Resumen

Consecuencia del experimento de Joule

Por su experimento, Joule demostró que trabajo y calor son equivalentes: se puede convertir trabajo en calor. Antes pensaron que “calor” fue otra sustancia. Este resultado fue una parte importante en la aceptación de la **conservación de energía**.



La primera ley

La primera ley: conservación de energía

$$W + Q = U_2 - U_1$$

En su forma infinitesimal:

$$dU = \delta W + \delta Q$$

Para un fluido compresible en un proceso reversible:

$$dU = -PdV + \delta Q$$

Calor tiene una diferencial **inexacta**!

Conceptos en esta clase

Energía interna

Calor

La primera ley de la termodinámica

Capacidad calorífica

Relaciones entre C_P y C_V

Resumen

Capacidad calorífica (o térmica) media

Definición:

$$\bar{C} = \frac{\text{Calor suministrado}}{\text{Aumento de temperatura}} = \frac{Q}{\Delta T}$$



Capacidad calorífica

En el límite de $\Delta T \rightarrow 0$:

$$C = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \left(\frac{Q}{\Delta T} \right) = \frac{dQ}{dT}$$

Ojo: este NO es la derivada del calor con respecto a la temperatura! No se puede expresar Q como función de T porque no es una variable termodinámica!



Capacidad calorífica específica

- Capacidad calorífica específica: $c = C/M$, donde M es la masa total del sistema.
- Capacidad calorífica molar: $c = C/n$, donde n es el número de moles.

Capacidad calorífica a volúmen y a presión constante

$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V \quad C_P = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_P$$

donde $H = U + PV$ es la **entalpía**.

- $H = U + PV$, otra variable termodinámica.
- Corresponde al calor intercambiado entre el sistema y su entorno durante un proceso isobárico.
- Tiene unidades de energía (J).
- Interpretación física: cuando n moles de gas a volumen V a presión P y temperatura T está llevado a su estado actual del cero absoluto, hay que suministrar energía igual a su energía interna U más PV , donde PV es el trabajo hecho contra la presión ambiental.

Conceptos en esta clase

Energía interna

Calor

La primera ley de la termodinámica

Capacidad calorífica

Relaciones entre C_P y C_V

Resumen

Para un gas ideal

$$C_P = C_V + nR \quad \textbf{(gas ideal)}$$

Para un gas ideal C_V y C_P son constantes (veremos por qué más tarde).

$$C_P - C_V = \left(P + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T \right) \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$$

Notar que

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = V\beta$$

donde β es el coeficiente de dilatación térmica. Típicamente $\beta > 0$, así que típicamente $C_P > C_V$.

Conceptos en esta clase

Energía interna

Calor

La primera ley de la termodinámica

Capacidad calorífica

Relaciones entre C_P y C_V

Resumen

- **Calor** es cualquier intercambio de energía que no se puede identificar como trabajo.
- Por el experimento de Joule sabemos que hay una equivalencia entre trabajo y calor (se puede convertir el trabajo en calor).
- La **primera ley** expresa conservación de energía: trabajo más calor es igual al cambio en energía interna.
- La **capacidad calorífica media** es $\bar{C} = Q/\Delta T$, y la infinitesimal es $C = dQ/dT$ (este no es una derivada!)
- Las capacidades caloríficas para procesos isocóricos y isobáricos son: $C_V = (\partial U/\partial T)_T$ y $C_P = (\partial H/\partial T)_P$.
- Para un **gas ideal**: $C_P = C_V + nR$.
- Para cualquier fluido:
$$C_P = C_V + (P + (\partial U/\partial V)_T)(\partial V/\partial T)_P.$$